TUGAS AKHIR

ANALISIS KAPASITAS DUKUNG DAN PENURUNAN PONDASI TIANG BOR TERHADAP VARIASI DIMENSI MENGGUNAKAN PROGRAM PLAXIS 2D (*ANALYSIS OF BEARING CAPACITY AND SETTLEMENT OF BORED PILE FOUNDATIONS WITH DIMENSION VARIATIONS USING PLAXIS 2D*)

(Studi Kasus: Proyek Gedung Laboratorium Universitas Tidar Magelang)

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

Randi Rangkite
17511077

PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2024

TUGAS AKHIR

ANALISIS KAPASITAS DUKUNG DAN PENURUNAN PONDASI TIANG BOR TERHADAP VARIASI DIMENSI MENGGUNAKAN PROGRAM PLAXIS 2D (*ANALYSIS OF BEARING CAPACITY AND SETTLEMENT OF BORED PILE FOUNDATIONS WITH DIMENSION VARIATIONS USING PLAXIS 2D*)

(Studi Kasus: Proyek Gedung Laboratorium Universitas Tidar Magelang)

Disusun Oleh

Randi Rangkite
17511077

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

Diuji pada tanggal
Oleh Dewan Penguji

Pembimbing	Penguji I	Penguji II
Dr. Hanindya K Artati, S.T., M.T.	M. Rifqi Abdurrozak, S.T., M.Eng.	Anisa Nur Amalina, S.T., M.Eng.
NIK: 045110407	NIK: 135111101	NIK: 215111305

Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng)
NIK: 095110101

Dipindai dengan CamScanner

PERNYATAAN BESAS PLAGIASI

Dengan tulus saya sebagai penulis menyampaikan bahwa laporan tugas akhir yang saya tulis untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Sipil ini adalah hasil daripada karya saya sendiri. Bagian-bagian yang diambil dari karya orang lain telah disajikan dengan jelas sesuai dengan etika penulisan karya ilmiah serta norma dan aturan yang berlaku. Apabila terbukti bahwa laporan tugas akhir ini terdapat plagiarisme, saya siap menerima sanksi yang berlaku.

Yogyakarta, iuli 2024

Yan taan



kite

(17511077)

Dipindai dengan CamScanner

KATA PENGANTAR

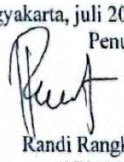
Segala puji dan syukur penulis haturkan kepada Allah Ta'ala atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini. Penyusunan laporan ini merupakan salah satu persyaratan akademik untuk meraih gelar sarjana strata satu di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Dalam tahap penyusunan Laporan Tugas Akhir ini, penulis menerima banyak masukan dari berbagai pihak dalam bentuk arahan, bimbingan, serta kritik dan saran yang sangat membantu demi tercapainya hasil yang baik. Oleh karena itu, pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Dr. Hanindya Kusuma Artati, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing.
2. Bapak Muhammad Rifqi Abdurrajak, S.T., M.Eng. selaku Penguji I.
3. Ibu Anisa Nur Amalina, S.T., M.Eng. selaku Penguji II.
4. Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng) Selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil dan Perencanaan.
5. Kedua orang tua penulis yang selalu memberikan dukungan dan doa.
6. Teman-teman penulis yang telah memberikan dukungan, kritik, dan saran.

Penulis berharap agar Laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembacanya, meskipun masih jauh dari sempurna dan terdapat kekurangan.

Yogyakarta, juli 2024
Penulis



Randi Rangkite
(17511077)

Dipindai dengan CamScanner

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR i
TUGAS AKHIR **Error! Bookmark not defined.**
PERNYATAAN BESAS PLAGIASI **Error! Bookmark not defined.**
KATA PENGANTAR **Error! Bookmark not defined.**
DAFTAR ISI v
DAFTAR TABEL viii
DAFTAR GAMBAR x
DAFTAR LAMPIRAN xii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN xiii
ABSTRAK xiv
ABSTRACT xv
BAB I 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Tujuan Penelitian 2
1.4 Manfaat Penelitian 3
1.5 Batasan Penelitian 3
BAB II 5
2.1 Umum 5
2.2 Penelitian terdahulu terkait pondasi tiang bor 5
2.2.1 Kapasitas Dukung pada Pondasi Tiang Bor 5
2.2.2 Penurunan Pondasi Tiang Bor 6
2.2.3 Analisis Daya Dukung dan Penurunan Pondasi dengan Plaxis 2D 7
2.3 Perbandingan Penelitian 8
BAB III 11
3.1 Tanah 11
3.2 Penyelidikan Tanah 11
3.3 Pondasi Tiang Bor 11
3.4 Kapasitas Daya Dukung Pondasi Tiang Bor 13
3.4.1 Kapasitas Dukung Tiang Berdasarkan

Data Laboratorium 13
3.4.2 kapasitas dukung tiang bor Metode Meyerhof (Data Uji N-SPT) 15
3.4.3 Daya Dukung Tiang Bor Metode Reese & Wright (data uji N-SPT) 16
3.4.4 Kapasitas Dukung Tiang Bor izin 19
3.5 Kapasitas Dukung Pondasi Tiang Bor Kelompok 20
3.5.1 Perhitungan Jumlah Tiang pakai (n) 21
3.5.2 Penentuan Jarak Antar Tiang (S) 22
3.5.3 Penentuan Efisiensi Tiang Bor Kelompok 23
3.5.4 Kapasitas Daya Dukung Tiang Bor Kelompok 23
3.5.5 Analisis Pembagian Beban pada Setiap Tiang Bor 24
3.6 Penurunan yang terjadi pada Pondasi Tiang Bor 25
3.6.1 Penurunan yang dialami oleh Tiang Bor Tunggal 25
3.6.2 Penurunan Total yang dialami Tiang Bor Kelompok 26
3.7 Proses Pembebanan pada Pondasi Tiang Bor 26
3.8 Analisis Menggunakan Program PLAXIS 2D 34
BAB IV 37
4.1 Metode Penelitian 37
4.2 Data Penelitian 37
4.3 Tahapan Analisis 37
4.4 Bagan Alir 38
BAB V 42
5.1 Data Proyek 42
5.1.1 Data Umum 42
5.1.2 Spesifikasi Material 43
5.1.3 Gambar Rencana Konstruksi 43
5.1.4 Detail Data Struktur Bangunan Gedung 45
5.2 Pembebanan Struktur 46
5.2.1 Aturan - Aturan Pembebanan 46
5.2.2 Kombinasi Berbagai Beban 47
5.2.3 Proses Pembebanan 48
5.3 Data Masukan dan Hasil Keluaran dari Program ETABS 55
5.4 Karakteristik Data Tanah 57

5.5 Permodelan Pondasi Tiang Bor 59
5.6 Kapasitas Dukung Tiang Bor 60
5.6.1 Kapasitas Dukung Tiang Bor Tunggal 60
5.6.2 Kapasitas Dukung Tiang Bor kelompok 74
5.6.3 Analisis Distribusi Beban ke Setiap Tiang Bor 78
5.6.4 Analisis Kekuatan Tiang Bor 80
5.6.5 Analisis Penurunan Tiang Bor 81
5.7 Analisis Fondasi Tiang dengan Program PLAXIS 2D V20 83
BAB VI 95
6.1 Pembahasan 95
6.2 Hasil Analisis Struktur Program ETABS 95
6.3 Perbandingan Kapasitas Dukung Pondasi Tiang Bor Tunggal 96
6.4 Perbandingan Kapasitas Dukung Kelompok Tiang 97
6.5 Hasil Analisis Kekuatan Tiang Bor 99
6.6 Hasil Penurunan Pondasi Tiang Bor 100
6.7 Hasil Analisis dengan Program PLAXIS 2D v20 100
6.8 Perbandingan Penurunan Pondasi Tiang Bor Secara Teoritis Dengan Program Plaxis 2D 101
6.9 Perbandingan Pondasi Tiang Bor Rencana Dengan Pondasi Tiang Existing 102
BAB VII 104
7.1 kesimpulan 104
7.2 Saran 104
DAFTAR PUSTAKA 106

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Penetapan Faktor K untuk Pondasi Tiang Bor	15
Tabel 3.2	Nilai parameter periode pendekatan *Ct* dan *x*	27
Tabel 3.3	Koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung	28
Tabel 3.4	Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Non Gedung	28
Tabel 3.5	Faktor Keutamaan (I) untuk Berbagai Kategori Bangunan	30
Tabel 3.6	Koefisien Situs Fa	32
Tabel 3.7	Koefisien Situs Fv	32
Tabel 3.8	Perkiraan Nilai Modulus Elastis Tanah	35
Tabel 3.9	Perkiraan Nilai Angka *Poisson*	35
Tabel 5.1	Jenis dan Ukuran Kolom Laboratorium	45
Tabel 5.2	Jenis dan Ukuran Balok Laboratorium	46
Tabel 5.3	Jenis dan Tebal Pelat Laboratorium	46
Tabel 5.4	Analisis Beban Mati Pada Lantai	48
Tabel 5.5	Analisis Beban Mati Pada Atap	49
Tabel 5.6	Analisis Beban Mati Pada Dinding	49
Tabel 5.7	Rekapitulasi Parameter Seismik dengan SNI-1726:2019	53
Tabel 5.8	Beabn Statik Ekivalen Perlantai dengan SNI-1726:2019	55
Tabel 5.9	Hasil Analisis Program ETABS Pada Frame 9	57
Tabel 5.10	Hasil Pengujian Laboratorium Titik BM1	58
Tabel 5.11	Hasil N' (N_{SPT} terkoreksi) Titik BM1	58
Tabel 5.14	Nilai N60(koreksi) Rata-Rata	66
Tabel 5.18	Analisis Distribusi Beban Tiap Tiang Bor	80
Tabel 5.19	Analisis Kekuatan Tiang Bor	81
Tabel 5.21	Data *input soil properties*	85
Tabel 5.22	Data *Input Pile Properties* dengan *Embeded Beam*	85
Tabel 5.23	Data *Input Pilecape*	86
Tabel 5.24	Rekapitulasi Angka Penurunan Hasil Kalkulasi PLAXIS 2D	93
Tabel 5.25	Rekapitulasi Kapasitas Dukung Dengan Program Plaxis	94

Tabel 6.1 Rekapitulasi Analisis Kapasitas Dukung Ultimit Tiang Pondasi 96
Tabel 6.2 Rekapitulasi Analisis Kapasitas Dukung Kelompok Tiang Bor 98
Tabel 6.3 Rekapitulasi Hasil Penurunan kelompok Tiang Bor 100
Tabel 6.4 Perbandingan Tiang *Existing* dengan Tiang Pondasi Rencana 103

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	koefisien tahananan ujung Nq*	14
Gambar 3.2	Grafik Tahanan Ujung (qp) pada Tanah non Kohesif	17
Gambar 3.3	Grafik Korelasi Tahanan Selimut terhadap N-SPT	19
Gambar 3.4	Ilustrasi Pondasi Tiang Bor Kelompok	21
Gambar 3.5	Penentuan Jarak Antar Tiang (S)	22
Gambar 3.6	Beban Terpusat dan Momen Tiang Bor Kelompok	24
Gambar 3.7	Peta Wilayah Percepatan Batuan Dasar Pada Perioda Pendek (Ss)	31
Gambar 3.8	Peta Wilayah Percepatan Batuan Dasar Perioda 1 Detik (S1)	31
Gambar 3.9	Kondisi Tanah Perlapisan	36
Gambar 5.1	Denah Area proyek Laboratorium universitas tidar	42
Gambar 5.2	Gambar Rencana Perletakan Kolom Beton	44
Gambar 5.3	Gambar Rencana Perletakan Balok	44
Gambar 5.4	Hasil Berat Bangunan Program ETABS	50
Gambar 5.5	Hasil Percepatan Respon Spektrum	54
Gambar 5.6	Hasil Pemodelan 3D Program ETABS	56
Gambar 5.6	Tampak Samping 3D Program ETABS	56
Gambar 5.7	Pemodelan Beban Pada Pondasi Tiang Bor	59
Gambar 5.8	Susunan Tiang Bor Diameter 0,6 m	79
Gambar 5.10	Geometri Struktur Dan Letak Muka Aiar Tanah	84
Gambar 5.11	Hasil Penyusunan Jaringan Elemen	87
Gambar 5.12	Kondisi Awal Pondasi dan Letak Muka Air Tanah	88
Gambar 5.13	Tekanan Air Pori saat Beban Aktif	88
Gambar 5.14	Penentuan Letak Titik Kurva	90
Gambar 5.15	Jaringan Terdeformasi pada Tahap Pemasangan Pondasi dan Pilecap	91
Gambar 5.16	Jaringan Elemen Terdeformasi pada Tahap Pembebanan	92
Gambar 5.17	Kurva Displacement vs Safety Factor pada PLAXIS 2D	92

Gambar 6.1 Perbandingan Kapasitas Dukung Pondasi Tiang Kelompok 99
Gambar 6.2 Penurunan Kelompok Tiang Bor Menggunakan PLAXIS 2D 101
Gambar 6.3 Perbandingan Penurunan Pondasi Kelompok Tiang Bor 102

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Peta Lokasi Proyek 109
Lampiran 2 Data Pengujian SPT 110
Lampiran 3 Data Pengujian Labroratorium 111
Lampiran 4 Tabel Hasil Perhitungan ETABS 112
Lampiran 5 Gambar Hasil Perhitungan PLAXIS 2D v20 113

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

qp : tahanan ujung tiang (kN/m^2)

Ap : luas penampang ujung tiang (m^2)

As : luas selimut tiang ($m^{2)}$

σr : tegangan referensi

σr’ : tegangan efektif (kN/m^2)

Qp : kapasitas dukung ujung tiang (kN)

Qs : daya dukung selimut tiang (kN)

Nq* : faktor daya dukung ujung

Nc’ ; Faktor daya dukung ujung

Cu : nilai kohesi (kN/m^2)

L : panjang tiang (m)

D ; diameter tiang (m)

K : koefisien tekanan tanah

ϕ : Sudut gesek dalam tanah

fs : gesekan selimut

δ : sudut gesek antara tiang dengan tanah

α : faktor adhesi

m : jumlah tiang dalam 1 kolom

n : jumlah tiang dalam 1 baris

s : jarak antar tiang (m)

Sg : penurunan kelompok tiang (m)

Eg : efisiensi kelompok tiang

Ep : modulus elastisitas material tiang (kN/m^2)

Es : modulus elastisitas tanah (kN/m^2)

L : kedalamman lapisan (m)

SF : faktor keamanan

ABSTRAK

Perencanaan pembangunan Gedung Laboratorium Universitas Tidar Magelang dirancang dengan pondasi berjumlah 5 tiang pancang diameter 50 cm dengan panjang tiang 12 m. dalam perencanaan bangunan, aspek keamanan dan efisiensi ekonomi selalu dipertimbangkan. Setiap pondasi harus dapat mendukung beban hingga batas keamanan yang ditetapkan, termasuk beban maksimum yang mungkin terjadi. Analisis kapasitas dukung pondasi dilakukan dengan memperhitungkan data penyelidikan tanah, beban yang ditanggung, dimensi tiang, jarak antar tiang, serta data pendukung seperti kualitas mutu beton dan kedalaman pondasi tiang bor.

Metode penelitian yang digunakan penulis berupa Metode Meyerhof, Metode Reese & Wright, Metode elemen hingga (PLAXIS 2D), dan analisis pembebanan menggunakan program ETABS. Pondasi tiang bor direncanakan dengan tiga pilihan diameter, yaitu 40 cm, 60 cm, san 80 cm. tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui sejauh mana variasi dimensi mempengaruhi kapasitas dukung pondasi tiang bor dan penurunan yang terjadi pada pondasi tersebut dengan menggunakan metode statis dan metode elemen hingga yang didukung oleh software PLAXIS 2D.

Hasil analisis kapasitas dukung tiang kelompok berjumlah 4 tiang menggunakan metode Meyerhof berdasarkan data laboratorium menunjukkan bahwa diameter 40 cm, 60 cm, dan 80 cm masing-masing memiliki kapasitas sebesar 3591,306 kN, 5662,557kN, dan 8383 kN, yang semuanya lebih besar dari nilai P = 3038,482 kN. Berdasarkan data NSPT, metode Meyerhof memberikan hasil 3780,471 kN, 6792,797 kN, dan 8951,543 kN untuk diameter 40 cm, 60 cm, dan 80 cm, yang juga lebih besar dari nilai P = 3038,482 kN. Sementara itu, metode Reese & Wright menghasilkan kapasitas sebesar 3416,226 kN, 5324,158 kN, dan 7307,602 kN untuk diameter yang sama, yang semuanya melebihi nilai P = 3038,482 kN. Dengan demikian, pondasi tiang bor berjumlah 4 tiang dengan diameter 40 cm sudah cukup aman digunakan untuk pembangunan gedung laboratorium ini. Analisis penurunan pondasi kelompok tiang bor menggunakan metode teoritis dan metode elemen hingga (PLAXIS 2D) menunjukkan bahwa pada metode teoritis, penurunan untuk diameter 40 cm, 60 cm, dan 80 cm masing-masing sebesar 0,032 m, 0,023 m, dan 0,022 m, yang masih lebih kecil dari penurunan izin tiang sebesar 0,050 m. Sedangkan pada program PLAXIS 2D, penurunan untuk diameter 40 cm, 60 cm, dan 80 cm masing-masing sebesar 0,032 m, 0,030 m, dan 0,029 m, yang masih dalam batas aman dari penurunan yang diizinkan.

Kata kunci: Pondasi tiang, Kapasitas dukung, Penurunan, Diameter, PLAXIS 2D

ABSTRACT

The construction planning of the Laboratory Building at Universitas Tidar Magelang is designed with a foundation consisting of five pile foundations, each with a diameter of 50 cm and a length of 12 m. In the building's planning process, both safety and economic efficiency are carefully considered. Each foundation must be capable of supporting loads up to the established safety limits, including the maximum possible loads. The analysis of the foundation's bearing capacity takes into account soil investigation data, the loads the foundation must bear, pile dimensions, spacing between piles, as well as supporting data such as concrete quality and the depth of the bored pile foundation.

The research methodology employed by the author includes the Meyerhof Method, Reese & Wright Method, finite element analysis using PLAXIS 2D, and load analysis using the ETABS program. The bored pile foundation is designed with three diameter options: 40 cm, 60 cm, and 80 cm. The objective of this study is to determine the extent to which dimensional variations affect the bearing capacity and settlement of bored pile foundations, using both static methods and finite element methods supported by PLAXIS 2D software.

The analysis of the bearing capacity of a four-pile group using the Meyerhof method, based on laboratory data, reveals that diameters of 40 cm, 60 cm, and 80 cm have capacities of 3591.306 kN, 5662.557 kN, and 8383 kN, respectively, all exceeding the required load capacity of 3038.482 kN. Similarly, Meyerhof analysis using NSPT data yields capacities of 3780.471 kN, 6792.797 kN, and 8951.543 kN for the same diameters, also above the required capacity. The Reese & Wright method produces capacities of 3416.226 kN, 5324.158 kN, and 7307.602 kN, all surpassing the required load. Consequently, a four-pile group foundation with a 40 cm diameter is deemed safe for the construction of the laboratory building. The settlement analysis of the pile group using both theoretical methods and finite element analysis (PLAXIS 2D) shows that for the theoretical method, the settlements for diameters of 40 cm, 60 cm, and 80 cm are 0.032 m, 0.023 m, and 0.022 m, respectively, all below the allowable settlement of 0.050 m. Meanwhile, PLAXIS 2D results indicate settlements of 0.032 m, 0.030 m, and 0.029 m for the same diameters, which are within safe limits.

***Keyword**: Pile foundation, Bearing capacity, settlement, Diameter, PLAXIS 2D*

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam proses pembangunan proyek konstruksi diperlukan desain struktur yang kuat, aman, dan nyaman. Bangunan juga harus mampu menahan semua beban yang bekerja. Suatu konstruksi akan didukung oleh tanah yang memiliki peranan penting dalam konstruksi. Jenis dan sifat tanah akan menentukan jenis pondasi, menentukan kedalaman dan dimensi, serta daya dukungnya. Pondasi adalah bagian terpenting dari suatu bangunan. Ketika pondasi tidak dapat menerima beban atau menjadi memiliki daya dukung yang kecil, maka akan terjadi penurunan yang besar sehingga akan berbahaya bagi konstruksi diatasnya. Pilihan jenis dan tipe serta menentukan dimensi pondasi merupakan bagian yang paling penting dan wajib disesuaikan dengan kondisi tanah pada proyek serta berdasarkan beberapa faktor, yaitu teknis, ekonomi dan lingkungan.

Pada umumnya pondasi tiang pancang merupakan elemen struktur yang menyalurkan beban dari bangunan atas ke tanah baik secara vertikal maupun horizontal, karena pondasi memegang peranan penting dalam bangunan, maka diperlukan pertimbangan desain dan teknis dalam pemilihan tipe dan bentuk, penentuan kedalaman dan dimensi serta daya dukung dan perancangan struktur.

Perencanaan pondasi merupakan aspek penting dalam merencanakan suatu bangunan konstruksi. Desain pondasi dimulai dengan menentukan beban efektif yang akan bekerja pada struktur atas. Selanjutnya, daya dukung pondasi ditentukan dengan mengetahui karakteristik tanah tempat pondasi akan dibangun. Penyelidikan tanah juga penting untuk mengetahui sifat-sifat tanah tersebut. Penyelidikan tanah dapat dilakukan di lapangan atau di laboratorium menggunakan sampel tanah yang telah diambil sebelumnya. Berdasarkan hasil penyelidikan tanah, jenis, kedalaman, dan dimensi pondasi yang akan digunakan dapat ditentukan. Gedung Laboratorium Universitas Tidar adalah gedung baru yang berlokasi di Kabupaten Magelang, Provinsi Jawa Tengah. Daerah ini memiliki

karakteristik tanah berpasir. Berdasarkan penyelidikan dan karakteristik tanah yang telah dilakukan, pondasi yang digunakan untuk pembangunan gedung tersebut adalah pondasi dalam dengan tiang pancang.

Dalam studi ini, peneliti akan menghitung kapasitas dukung dan penurunan dari struktur bawah Gedung Laboratorium Universitas Tidar menggunakan pondasi tiang bor. Pemilihan pondasi tiang bor dilakukan untuk melakukan perancangan ulang dari pondasi yang sebelumnya menggunakan tiang pancang.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Apakah ada perbedaan signifikan antara kapasitas dukung fondasi tiang *eksisting* dan yang direncanakan terhadap beban aksial yang diterapkan?
2. Bagaimana besar kapasitas dukung fondasi tiang bor pada proyek pembangunan Gedung Laboratorium Universitas Tidar dihitung menggunakan Metode Reese & Wright dan Metode Meyerhof?
3. Seberapa besar penurunan yang terjadi pada fondasi tiang bor di proyek pembangunan Gedung Laboratorium Universitas Tidar?
4. Bagaimana pengaruh variasi diameter terhadap nilai daya dukung dan penurunan kelompok fondasi tiang bor yang dianalisis menggunakan program PLAXIS 2D?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian adalah sebagai berikut :

1. Menentukan apakah terdapat perbedaan signifikan antara kapasitas dukung fondasi tiang eksisting dan fondasi tiang yang direncanakan terhadap beban aksial yang diterapkan.
2. Menghitung besar kapasitas dukung fondasi tiang bor pada proyek pembangunan Gedung Laboratorium Universitas Tidar menggunakan Metode Reese & Wright dan Metode Meyerhof.
3. Menentukan besaran penurunan yang terjadi pada fondasi tiang bor di proyek pembangunan Gedung Laboratorium Universitas Tidar.

4. Menganalisis pengaruh variasi diameter terhadap nilai daya dukung dan penurunan kelompok fondasi tiang bor menggunakan program PLAXIS 2D

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini yaitu untuk memahami daya dukung dan penurunan pondasi tiang bor serta mengetahui kemampuan pondasi dalam menahan beban aksial yang terjadi sebagai rujukan dalam mendesain ulang pondasi pada proyek pembangunan Gedung Laboratorium Universitas Tidar.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan penelitian diperlukan untuk mencapai manfaat dan tujuan yang akan dicapai. Batasan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Data yang digunakan adalah data yang berkaitan dengan proyek pembangunan Gedung Laboratorium Universitas Tidar.
2. Data hasil penyelidikan tanah proyek pembangunan Laboratorium Universitas Tidar yang dilakukan oleh Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Islam Sultan Agung.
3. Tanah yang terdapat pada lokasi penelitian berjenis tanah pasir
4. Penyelidikan tanah dilakukan dengan alat mesin bor pada 2 titik pengeboran yaitu titik BH-01 dan titik BH-02.
5. Pada lokasi penelitian, digunakan pondasi dengan jenis tiang pancang.
6. Pondasi yang akan digunakan oleh penulis dalam analisis ini adalah pondasi tiang bor
7. Panjang tiang yang akan digunakan oleh Penulis dalam analisis adalah 12 m.
8. Dimensi yang dipakai pada lokasi penelitian adalah 0,5 m
9. dimensi yang akan dipakai oleh Penulis dalam analisis ini adalah 0,4 m 0,6 m dan 0,8 m.
10. Perhitungan struktur bangunan gedung mengacu pada standar SNI 2847- 2019 tentang Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung.

11. Perencanaan ketatahanan gempa sesuai dengan ketentuan dalam SNI 1726-2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung.
12. *Software* yang dipakai untuk analisis pembebenan gedung adalah ETABS.
13. Analisis numerik menggunakan program PLAXIS 2D v20.
14. Angka aman (*safety factor*) yang digunakan adalah 2.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Pondasi ialah bagian dari suatu sistem rekayasa yang meneruskan beban yang ditopang oleh pondasi dan beratnya sendiri ke dalam tanah dan batuan yang terletak dibawahnya. Pondasi tiang bor merupakan pondasi dalam dengan metode tiang yang di bor. Pondasi dirancang untuk dapat menyalurkan beban hingga mencapai batas keamanan tertentu, termasuk kemungkinan beban maksimum yang dapat terjadi. Pemilihan pondasi sebagai elemen kunci dalam sebuah desain didasarkan pada kemampuan tanah yang memadai untuk menopang berat struktur dan semua beban yang dikenakan padanya, dengan penetapan kedalaman pondasi melebihi 8 m yang terakar dalam bidang tanah (Bowles, 1997).

2.2 Penelitian terdahulu terkait pondasi tiang bor

Pada studi kasus ini, mengacu pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya sebagai referensi bagi penulis yang hendak melakukan penelitian terkait. Sehingga menjadi pertimbangan dan masukan pada penelitian yang akan dilaksanakan.

2.2.1 Kapasitas Dukung pada Pondasi Tiang Bor

Haq (2018), melakukan studi tentang kapasitas dukung dan penurunan pondasi tiang bor pada proyek Gedung Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, dengan variasi dimensi tiang bor berukuran 0,7 m, 0,8 m, dan 0,9 m. Hasil penelitian menggunakan metode Meyerhof, berdasarkan data lapangan, menghasilkan nilai kapasitas dukung sebesar 4.854,89 kN, 5.984,08 kN, dan 6.519,33 kN. Metode Reese & Wright untuk diameter 0,7 m, 0,8 m, dan 0,9 m menghasilkan kapasitas dukung sebesar 3.333,08 kN, 4.006,47 kN, dan 4.632,09 kN. Nilai-nilai tersebut melebihi P = 2.523,564 KN, sehingga pondasi bored pile

dengan diameter 0,7 m, 0,8 m, dan 0,9 m dianggap aman digunakan dalam pembangunan gedung Twin Building UMY.

Hidayat (2018) melakukan studi untuk membandingkan kapasitas dukung ultimate antara desain eksisting dan alternatif desain pondasi bored pile pada kedalaman 18 m. Analisis struktur dilakukan menggunakan metode statis dan aplikasi SAP2000 untuk menerapkan beban. Hasil perhitungan menghasilkan tiga alternatif, yaitu tiang dengan diameter 60 cm, 70 cm, dan 80 cm dengan panjang pondasi 11 m. Dari ketiga alternatif tersebut, dipilih yang memiliki kapasitas dukung tertinggi, yaitu 4098,118 kN pada tiang dengan diameter 80 cm. Untuk beban maksimum yang ditempatkan pada frame 333 beban aksial total sebesar 2879,682 Kn hanya membutuhkan 1 buah tiang sedangkan Alternatif lainnya membutuhkan tiga tiang pada kedalaman 11 m dengan penurunan pondasi 1,75 mm. Kapasitas dukung pondasi tiang ditentukan oleh kekuatan material tiang dalam menahan beban struktural. Hasil analisis menunjukkan tegangan pada tiang sebesar 57,289 kg/cm², nilai yang jauh lebih rendah dari tegangan izin untuk mutu K-300 sebesar 249 kg/cm², sehingga pondasi dapat digunakan dengan aman.

2.2.2 Penurunan Pondasi Tiang Bor

Nindy (2022), mengemukakan bahwa stabilitas suatu bangunan tergantung pada kemampuan tanah pendukung untuk menanggung beban dari pondasi dan mendukung struktur bangunan tanpa menyebabkan penurunan berlebihan. Pada pembangunan Masjid Hajjah Yuliana di Kampus Madrasah Muhammadiyah Muslimin Yogyakarta, direncanakan menggunakan pondasi dengan dimensi 0,6 m dan kedalaman 13 m, dengan muka air tanah berada pada kedalaman 2 m dari permukaan tanah. Metode Meyerhoff digunakan untuk menghitung daya dukung pondasi berdasarkan hasil pengujian laboratorium. Perhitungan penurunan untuk tiang tunggal menggunakan metode Poulos dan Davis (1980), sementara untuk tiang kelompok menggunakan metode Vesic (1969).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa daya dukung ultimate tiang (Qu), daya dukung izin tiang (Qall), dan daya dukung kelompok tiang (Qg) pada pondasi tiang bor adalah 6.744,230 kN, 2.697,692 kN, dan 5.395,384 kN. Alternatif tiang bor dengan diameter 12,2 cm untuk tiang tunggal dan 3,6 cm untuk tiang kelompok

juga dievaluasi. Kedua tipe pondasi tersebut memenuhi persyaratan sesuai dengan SNI 8460 – 2017.

Hashfi (2022), menyatakan bahwa penurunan pondasi dipengaruhi oleh jenis tanah, beban yang diterapkan, diameter tiang, dan jenis material tiang pondasi. Penurunan pada pondasi tiang kelompok juga dipengaruhi oleh jumlah tiang dan konfigurasi kelompok tiang, sehingga penurunan pada tiang kelompok cenderung lebih besar dibandingkan dengan tiang tunggal. Perhitungan penurunan pondasi dilakukan dengan menggunakan metode empiris yang melibatkan variasi diameter tiang antara 0,3 m, 0,4 m, dan 0,5 m. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai penurunan pada tiang kelompok menurun seiring dengan peningkatan diameter tiang, karena luas permukaan kontak tiang kelompok yang semakin besar menghasilkan nilai penurunan yang lebih kecil.

2.2.3 Analisis Daya Dukung dan Penurunan Pondasi dengan Plaxis 2D

Zikri (2019), menemukan bahwa perbedaan terbesar dalam kapasitas dukung kelompok tiang bor, berdasarkan analisis menggunakan metode Reese & Wright dengan PLAXIS 2D, adalah sebesar 36,79% pada variasi jarak tiang 5D. Di sisi lain, perbedaan terbesar dalam kapasitas dukung kelompok tiang bor, berdasarkan metode Brom dengan PLAXIS 2D, adalah -27,6% pada variasi jarak tiang 2,5D. Selain itu, perbedaan dalam kapasitas dukung kelompok tiang bor, menggunakan metode Poulus & Davis dengan PLAXIS 2D, adalah 8,7% pada variasi jarak tiang 5D. Dari analisis tersebut, dapat disimpulkan bahwa semakin besar jarak antar tiang (s), semakin besar kapasitas dukung kelompok tiang bor.

Dhiya’ul Haq (2018), melakuakan analisis penurunan pada pondasi kelompok tiang bor dengan dimensi 70 cm, 80 cm, dan 90 cm menggunakan metode teoritis dan metode elemen hingga (PLAXIS 2D). Berdasarkan metode teoritis, penurunan yang didapat untuk masing-masing dimensi yaitu 0,0519 m, 0,0452 m, dan 0,0413 m. Nilai-nilai tersebut masih lebih kecil dibandingkan batas penurunan izin tiang yaitu sebesar 0,084 m. Sementara itu, dengan program PLAXIS 2D, penurunan untuk dimensi 70 cm, 80 cm, dan 90 cm adalah 0,087 m, 0,084 m, dan 0,081 m. Hasil penurunan tersebut masih dalam batas penurunan yang diizinkan.

2.3 Perbandingan Penelitian

Perbedaan penelitian tugas akhir dengan penelitian yang terdahulu adalah penelitian tugas akhir ini melakukan analisis kapasitas dukung metode Meyerhof dan penurunan tiang bor dengan perbedaan dimensi 40 cm, 60 cm, 80 cm serta memvalidasi perhitungan teoritis dengan program PLAXIS 2D versi 20. Penelitian pada gedung Laboratorium Universitas Tidar ini belum pernah dilakukan, sehingga penelitian ini dapat dipertanggungjawabkan keasliannya. Perbedaan penelitian tugas akhir ini dengan penelitian yang terdahulu dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 2.1 Perbedaan dengan Penelitian Terdahulu

peneliti	Penelitian tedahulu				
	Hidayat (2018)	**Hashfi (2022)**	**Zikri (2019)**	**Nindy (2022)**	**Dhiya'ul Haq (2018)**
Judul	Perancangan ulang struktur bawah dengan menggunakan pondasi tiang bor pada gedung White Hotel Sedan di Yogyakarta	Evaluasi kapasitas dukung dan penurunan pondasi bored pile berdasarkan variasi dimensi.	Pengaruh Jarak Tiang terhadap daya Dukung Pondasi tiang bor Menggunakan Metode Reese & Wright dan Metode Elemen Hingga.	Studi daya dukung dan perubahan deformasi pondasi tiang bor pada Gedung Masjid Hajjah Yuliana.	Dampak variasi dimensi terhadap kapasitas dukung pondasi tiang bor kelompok menggunakan metode elemen hingga (plaxis 2D).
Tujuan	Mengidentifikasi perbedaan kapasitas daya dukung ultimate antara desain eksisting dan alternatif pada pondasi tiang bor	Mengetahui besaran penurunan terhadap daya dukung aksial dan defleksi daya dukung lateral pondasi tiang bor	Agar dapat memahami efek jarak antar tiang terhadap kapasitas daya dukung kelompok pondasi tiang bor	Memperoleh informasi daya dukung pondasi alternatif (tiang bor) berdasarkan data dari laboratorium.	Menentukan besarnya penurunan fondasi tiang bor dengan berbagai diameter, menggunakan metode statis dan metode elemen hingga (software PLAXIS v8.5).

peneliti	Penelitian tedahulu				
	Hidayat (2018)	**Hashfi (2022)**	**Zikri (2019)**	**Nindy (2022)**	**Dhiya'ul Haq (2018)**
Metode	Metode Meyerhof, dan Reese & Wright, serta Metode Numerik (SAP 2000)	Metode Statis (SPT & Lab), Metode Numerik (*ETABS)*	Metode Statis (Reese & O'Neil, Brom, Poulus & Davis, serta *PLAXIS 2D V8*)	Metode Statis (Meyerhof), Metode Numerik (*SAP2000*)	Metode Statis (SPT & Lab), Metode numerik, elemen hingga (*SAP 2000 & PLAXIS 2D*)
Hasil	Untuk memastikan keamanan penggunaan pondasi, tegangan pada tiang harus berada di bawah tegangan yang diizinkan.	Penurunan pada kelompok tiang akan semakin kecil dengan meningkatnya diameter tiang dalam kelompok tersebut.	Hasil analisis menunjukkan bahwa semakin besar jarak antara tiang (s), kapasitas dukung kelompok tiang bor juga semakin tinggi.	Penurunan akan bertambah seiring dengan meningkatnya beban yang ditanggung oleh tiang.	Dimensi mempengaruhi kapasitas dukung. Semakin besar dimensi, semakin tinggi kapasitas dukungnya. Begitu juga, semakin besar dimensi, semakin kecil penurunannya.

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Tanah

Tanah merupakan himpunan mineral, bahan organik, dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*), yang terketak diatas batuan dasar (bedrock). Pembentukan tanah terjadi akibat pelapukan batuan atau proses geologi di dekat permukaan bumi yang terjadi secara fisik maupun kimia. Proses pembentukan secara fisik terjadi akibat pengaruh erosi, aingin, air, manusia atau karena perubahan suhu. Sedangkan Pengaruh oksigen, karbon dioksida, dan kondisi air yang mengandung zat asam atau basa dapat memicu terjadinya proses kimia.

Penggunaan istilah pasir, lempung, lanau adalah untuk menggambarkan ukuran partikel butiran tanah serta menggambarkan jenis sifat tanah. Contohnya, lempung merupkan tanah yang bersifat kohesif atau plastis. Sedangkan pasir merupakan tanah yang bersifat non-kohesif atau tidak plastis (Hardiyatmo,2002).

3.2 Penyelidikan Tanah

Penyelidikan tanah adalah kegiatan yang dilakukan untuk memahami ciri-ciri dan kapasitas dukung tanah. Penyelidikan tanah berupa pengeboran tanah, uji lapangan, pengambilan sampel tanah, dan uji laboratorium. Dalam perencanaan pondasi tiang, hasil dari penyelidikan tanah memberi informasi dalam menentukan parameter tanah untuk simulasi proses kontruksi sehingga dapat memastikan bangunan tersebut berdiri dengan stabil dan mengurangi penurunan yang berarti.

3.3 Pondasi Tiang Bor

Pondasi tiang bor adalah pondasi tiang yang pemasangannya dilakukan dengan mengebor tanah terlebih dahulu (hardiyatmo,2010). Setelah dilakukan pengeboran kemudian diisi dengan tulangan yang telah di rangkai lalu di cor dengan beton. Keuntungan dan kerugian Pondasi tiang bor adalah sebagai berikut.

A. Keuntungan Pondasi Tiang Bor

1. Pemasangan Tanpa Getaran

   Pondasi tiang bor tidak menimbulkan getaran yang membahayakan bangunan sekitar. Hal ini sangat penting untuk menjaga integritas struktur bangunan yang ada di sekitar lokasi pekerjaan.

2. Tidak Mengubah Permukaan Tanah

   Pemasangan tiang bor tidak menyebabkan kemungkinan naiknya permukaan tanah, sehingga meminimalkan gangguan terhadap kondisi tanah di sekitarnya.

3. Variasi Kedalaman Tiang

   Pondasi tiang bor memungkinkan variasi dalam kedalaman tiang sesuai dengan kebutuhan desain dan kondisi tanah. Hal ini memberikan fleksibilitas dalam perancangan pondasi.

4. Kemampuan Menembus Batuan

   Tiang bor dapat dipasang menembus lapisan batuan, yang seringkali menjadi tantangan bagi tiang pancang. Ini memungkinkan penggunaan tiang bor pada lokasi dengan kondisi geoteknik yang lebih kompleks.

B. Kerugian Pondasi Tiang Bor

1. Pengaruh Cuaca Terhadap Pengecoran

   Pengecoran tiang bor dapat dipengaruhi oleh kondisi cuaca, yang dapat mempengaruhi kualitas beton. Perubahan suhu atau kelembapan dapat mempengaruhi proses pengerasan beton.

2. Pengaruh Air Tanah

   Pengecoran pada pondasi tiang bor dapat mengalami kesulitan akibat air tanah yang dapat mempengaruhi mutu beton. Kontrol mutu beton menjadi lebih sulit dalam kondisi air tanah yang tidak terkontrol.

3. Gangguan Pada Kepadatan Tanah

   Proses pengeboran dapat mengganggu kepadatan tanah, terutama jika tanah terdiri dari pasir atau kerikil. Hal ini dapat mempengaruhi kestabilan tanah di sekitar tiang bor.

4. Perlunya Temporary Casing

Untuk mencegah terjadinya kelongsoran selama proses pengeboran, diperlukan pemasangan temporary casing. Hal ini menambah kompleksitas dan biaya dalam proses konstruksi pondasi.

3.4 Kapasitas Daya Dukung Pondasi Tiang Bor

Untuk menentukan kapasitas daya dukung pondasi tiang bor, salah satu pendekatannya dengan menggunakan metode statis Meyerhof (1976) sebagai berikut.

3.4.1 Kapasitas Dukung Tiang Berdasarkan Data Laboratorium

Untuk menghitung kapasitas dukung ujung tiang bor dapat digunakan metode Meyerhof (1976) pada Persamaan 3.1. apabila tanah berjenis non-kohesif berupa pasir dapat digunakan Persamaan 3.2 sedangkan untuk tanah kohesif berupa lempung bisa dihitung dengan Persamaan 3.3 sebagai berikut.

1. Kapasitas dukung ujung tiang (Qp)

$$Qp = Ap \times qp \quad (3.1)$$

$$qp = Cu \times Nc^* + \sigma r' \times Nq^* + 0{,}5 \times \gamma \times B \times N\gamma$$

Untuk tanah non kohesif

$$Qp = Ap \times \sigma r' \times Nq^* \leq 50 \times Nq^* \times \tan\phi \times Ap \quad (3.2)$$

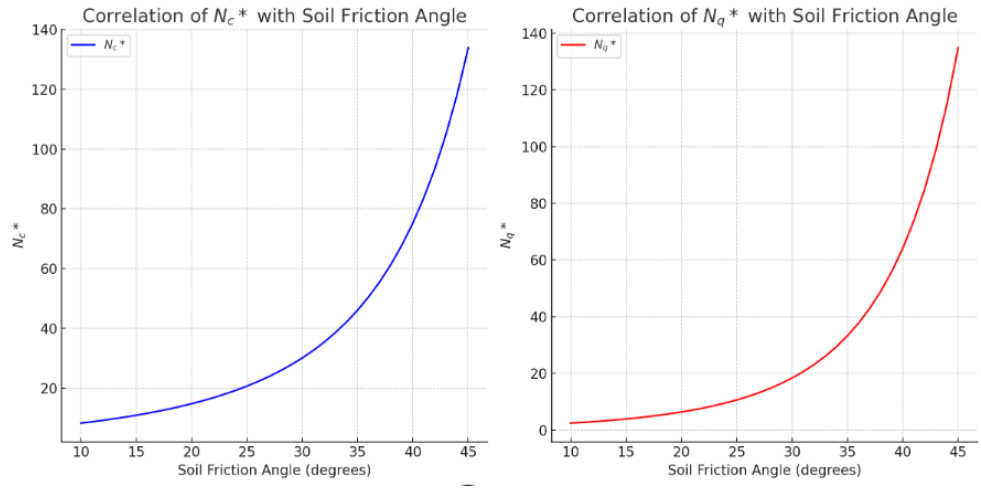
Untuk tanah kohesif

$$Qp = Ap \times cu \times Nc^* \quad (3.3)$$

Dengan:

Qp	= daya dukung ujung tiang(kN)
qp	= Tahanan ujung per satuan luas (kN/m^2)
Ap	= Luas permukaan tiang (m^2)
Cu	= kohesi ujung tiang (kN/m^2)
σr’	= Tegangan efektif (kN/m^2)
Nq* & Nc*	= Faktor daya dukung
ϕ	= Sudut geser dalam (^{o})

Pada Gambar 3.1 sebagai berikut, terlihat bagaimana menentukan faktor daya dukung ujung (Nq*).



Gambar 3.1 koefisien tahananan ujung Nq*

(Sumber: terzaghi, 1943)

2. daya dukung selimut tiang bor (Qs)

Untuk menentukan kapasitas dukung selimut, dapat digunakan Persamaan 3.4 sebagai berikut.

$$Qs = \sum(As \times fs) \quad (3.4)$$

Dengan:

As = Luas selimut tiang (m^2)
= p x ΔL
ΔL = Panjang tiang (m)
fs = Gesekan selimut tiang (kN/m^2)

Berikut merupakan Persamaan 3.5 yang bisa digunakan untuk menghitung gesekan selimut dari tiang pada tanah non kohesif menurut Reese & Wright (1989).

$$fs = K \times \sigma r' \times tan\delta \quad (3.5)$$

Dengan:

K = Faktor tekanan tanah lateral di sisi tiang yang dianalisis
σr’ = tegangan vertikal efektif tanah (kN/m^2)

ϕ = sudut gesek dalam (^{o})

δ = sudut gesek antara tanah dan tiang

Karakteristik K dan δ ditentukan berdasarkan teknik pelaksanaan yang diterapkan. Umumnya, nilai δ untuk tiang bor dikorelasikan dengan sudut gesek tanah (ϕ). Meyerhof (1976) menganggap $\delta = 0{,}75 \times \phi$ sebagai pedoman untuk nilai δ yang digunakan. Informasi mengenai nilai K dapat dilihat pada Tabel berikut.

Tabel 3.1 Penetapan Faktor K untuk Pondasi Tiang Bor

Cara penerjaan proyek	K
pengerjaan kering dengan gangguan dinding lubang bor kecil, pengecoran cepat	1
pengerjaan dengan cairan (proses kerja baik)	1
pengerjaan dengan cairan (proses kerja buruk)	0,67
Dengan pipa pelindung dibawah permukaan air	0,83

(Sumber: kulhawy, 1991)

3.4.2 kapasitas dukung tiang bor Metode Meyerhof (Data Uji N-SPT)

Dengan menggunakan nilai N hasil uji SPT pada Persamaan 3.6, kapasitas dukung ultimate tiang dapat dihitung secara empiris sebagai berikut.

$$Qu = Qp + Qs \quad (3.6)$$

dengan :

Qu = daya dukung ultimate pondasi tiang (kN)

Qp = daya dukung ujung tiang (kN)

Qs = daya dukung selimut tiang (kN)

Berdasarkan saran Meyerhof (1976), kapasitas dukung pada ujung tiang (Qp) dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.7 dan 3.8 seperti yang ditunjukkan berikut ini,

$$Qp = Ap \times qp \quad (3.7)$$

$$qp = 0{,}4\times N60'\times(L/d)\times\sigma r \le 3\times N60'\times\sigma r \quad (3.8)$$

dengan :

Qp = daya dukung pada ujung tiang (kN)

qp = tahanan ujung tiang (kN/m^2)

Ap = Luas permukaan rata tiang bor (m^2)

N_{60}' = N-SPT yang sudah diperbaiki berdasarkan dampak prosedur lapangan dan tekanan overburden.

D = Diameter tiang (m)

L = Panjang tiang (m)

σ_r = tegangan referensi = 100 kPa

Apabila tiang bor berada di tanah yang memiliki lapisan-lapisan, tahanan geser selimut tiang bor bisa diperoleh dari Persamaan 3.9 dan Persamaan 3.10 di bawah ini.

$$Qs = \sum fs \times As \quad (3.9)$$

$$fs = \frac{1}{100}\times\sigma r \times N60 \quad (3.10)$$

dengan :

Qs = daya dukung selimut tiang (kN)

N60 = Nilai N-SPT perlapisan tanah.

As = Luas selimut tiang (m^2).

σr = Tegangan referensi = 100 kPa

3.4.3 Daya Dukung Tiang Bor Metode Reese & Wright (data uji N-SPT)

Kapasitas dukung pada ujung tiang bor, menurut Reese dan Wright (1977), dapat dihitung dengan Persamaan 3.11 sebagai berikut.

$$Qp = qp.Ap \quad (3.11)$$

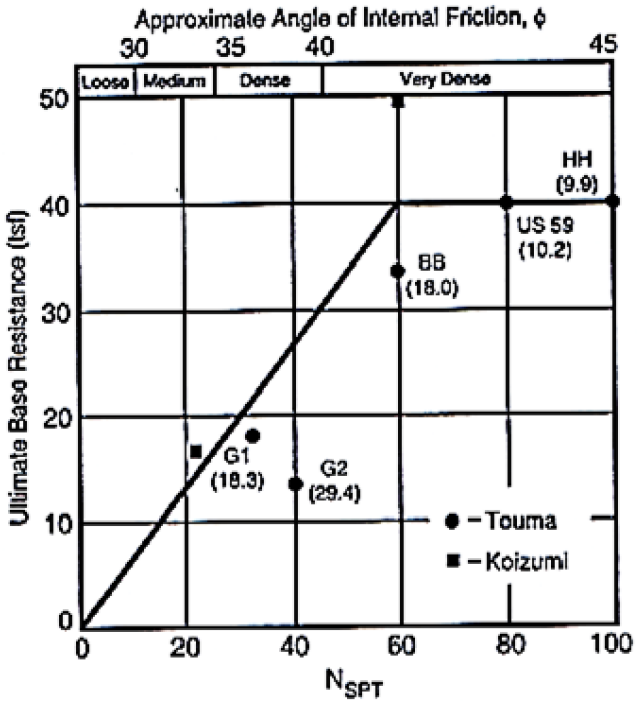
dengan :

Qp = daya dukung ujung tiang (kN)

Ap = luas penampang tiang bor (m^2)

qp = tahanan ujung per satuan luas (kN/m^2)

Tahanan ujung per satuan luas (qp) pada tanah kohesif bisa diambil sebesar 9 kali kekuatan geser tanah (*Cu*). Untuk tanah non-kohesif, Reese mengusulkan adanya hubungan antara qp dengan N-SPT seperti terlihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Grafik Tahanan Ujung (qp) pada Tanah non Kohesif

(Sumber: Reese & Wright, 1977,Manual Pondasi Tiang,hal 46)

Kapasitas gesek pada tanah homogen dapat dicari dengan menggunakan Persamaan 3.12 berikut ini.

$$Qs = fs.L.p \qquad (3.12)$$

dengan :

fs = tahanan gesek selimut tiang (kN/m^2)

L = panjang tiang (m)

P = keliling pemukaan rata tiang (m)

Qs = daya dukung selimut tiang (kN)

Ketika tiang bor terpasang pada tanah berlapis, maka digunakan rumus Persamaan 3.13 sebagai berikut.

$$Qs = \sum_{i=1}^{n} fs \times li \times p \quad (3.13)$$

dengan :

fs = tahanan gesek selimut tiang (KN/m^2)

li = tebal lapisan-lapisan tanah (m)

p = keliling permukaan rata tiang (m)

Qs = daya dukung selimut tiang (kN)

Jenis tanah dan parameter kekuatan geser tanah memengaruhi gesekan tiang per satuan luas. Pada tanah yang bersifat kohesif, nilai fs dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.14 sebagai berikut ini.

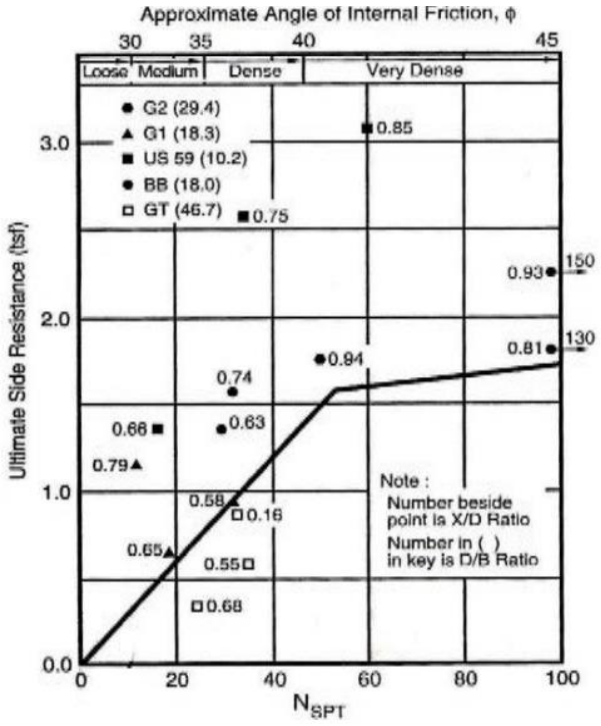
$$fs = \alpha.Cu \quad (3.14)$$

dengan :

α = faktor adhesi

Cu = kohesi tanah (kN/m^2)

Reese & Wright menyimpulkan bahwa faktor koreksi untuk adhesi (α) adalah 0,55. Di samping itu, pada tanah non kohesif, nilai fs dapat diperoleh dari korelasi langsung dengan NSPT yang tercantum dalam Gambar 3.3 dibawah ini.



Gambar 3.3 Grafik Korelasi Tahanan Selimut terhadap N-SPT

(Sumber : Reese & Wright, 1977,Manual Pondasi Tiang,hal 47)

3. Kapasitas Dukung Ultimit (Qu)

Untuk mencari kapasitas dukung ultimit, digunakan Persamaan 3.15 berikut ini.

$$Qu = Qp + Qs \quad (3.15)$$

dengan :

Qp = daya dukung ujung tiang (kN)

Qs = daya dukung selimut tiang (kN)

Qu = daya dukung ultimit (kN)

3.4.4 Kapasitas Dukung Tiang Bor izin

Untuk mendapatkan kapasitas dukung tiang bor izin, langkahnya adalah membagi daya dukung ultimit dengan faktor keamanan yang sudah ditetapkan. Faktor aman ini sangat diperlukan dengan tujuan:

1. Mengurangi risiko kegagalan struktur akibat variasi beban serta kondisi tanah yang tidak terduga

2. Menjamin ketahanan pondasi terhadap gaya lateral yang bisa terjadi selama masa pakai bangunan.
3. Menjamin kemanan terhadap ketidakpastian dalam pendekatan perhitungan teoritis yang digunakan,
4. Memastikan bahwa penurunan keseluruhan pada tiang tunggal maupun kelompok berada dalam rentang toleransi yang diizinkan.

Dalam rumus Persamaan 3.16 dibawah ini, kapasitas dukung tiang bor dijelaskan sebagai berikut.

$$Qa = \frac{Qu}{SF} \quad (3.16)$$

dengan :

Qa = Kapasitas dukung tiang bor izin (kN)
Qu = Daya dukung ultimit pondasi tiang bor (kN)
SF = Nilai faktor keamanan pondasi tiang bor

Faktor-faktor yang menentukan besarnya *safety factor* (SF) atau faktor keamanan antara lain sebagai berikut.

1. Karakteristik dan kekuatan pondasi tiang bor yang digunakan,
2. Variabilitas sifat serta kondisi tanah di lokasi pengeboran
3. Kemanan struktur yang diinginkan oleh perancang atau pemilik proyek
4. Variasi dan ketidakpastian dalam beban yang diterima oleh pondasi
5. Faktor pengalaman dan pengetahuan teknis dari tim perencana

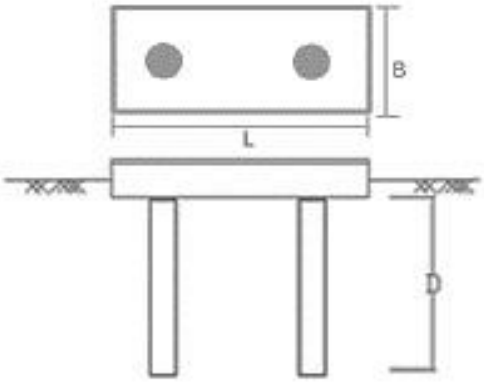
Hardiyatmo (2008) menyatakan bahwa tiang yang dibesarkan dengan diameter kurang dari 2 meter memiliki faktor keamanan sebesar 2,5. Sementara itu, untuk tiang yang tidak mengalami pembesaran di bagian bawahnya, faktor keamanannya adalah 2.

3.5 Kapasitas Dukung Pondasi Tiang Bor Kelompok

Pondasi tiang bor kelompok adalah sekelompok tiang yang dipasang cukup berdekatan dan biasanya dihubungkan di bagian atasnya menggunakan *pile cap*.

Contoh visual tiang kelompok dapat dilihat pada Gambar 3.4. Untuk mengestimasi kapasitas daya dukungnya, pile cap dianggap memiliki kekakuan yang optimal:

1. Besaran gaya yang bekerja pada tiang meningkat seiring dengan terjadinya penurunan tiang-tiangnya
2. Jika beban-beban yang bekerja pada kelompok tiang menyebabkan penurunan, maka setelah penurunan, *pile cap* akan tetap dalam posisi datar.



Gambar 3.4 Ilustrasi Pondasi Tiang Bor Kelompok

(Sumber: Rizaldy, 2012)

dengan:

L = Panjang *pilecap* pondasi tiang bor (m)

B = Lebar *pilecap* pondasi tiang bor (m)

D = Kedalaman tiang pondasi (m)

3.5.1 Perhitungan Jumlah Tiang pakai (n)

Jumlah tiang yang akan dipasang diitentukan berdasarkan beban yang bekerja pada pondasi dan kapasitas dukung tiang bor izin, dengan menggunakan rumus Persamaan 3.17 sebagai berikut.

$$n = \frac{P}{Qall} \tag{3.17}$$

dengan:

P = beban yang diterima oleh tiang bor (kN).

Qall = daya dukung izin tiang bor tunggal (kN).

3.5.2 Penentuan Jarak Antar Tiang (S)

Dalam perancangan pondasi tiang bor, jarak antara tiang sangat berpengaruh terhadap kapasitas dukung tiang bor kelompok. Zikri (2019) menyatakan semakin besar jarak antar tiang maka semakin besar kapasitas dukung tiang bor kelompok tersebut. Untuk penentuan jarak antar tiang dapat dipakai Persamaan 3.18 dibawah ini.

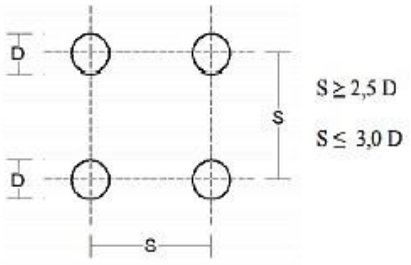
$$S \geq 2{,}5\ D \qquad (3.18)$$
$$S \leq 3\ D$$

dengan:

S = Jarak dari pusat tiang ke pusat tiang berikutnya (m)

D = Diameter permukaan tiang (m)

Jarak antar tiang dapat dilihat Gambar 3.8 berikut ini.



Gambar 3.5 Penentuan Jarak Antar Tiang (S)

(Sumber: Sardjono, 1998)

Umumnya, jarak antara dua tiang dalam suatu kelompok diatur setidaknya 0,60 m dan paling banyak 2,00 m. Ketentuan ini didasarkan pada pertimbangan sebagai berikut.

1. jika S < 2,5 D
   a. tiang-tiang yang sudah dipancangkan sebelumnya terjadi kenaikan.
   b. Terdapat potensi untuk tanah di sekitar kelompok tiang naik secara berlebihan karena tertekan oleh tiang-tiang yang terlalu dekat.

2. jika S > 3D

   Jika jarak antar tiang (S) melebihi 3 kali diameter (D), hal itu tidak ekonomis karena akan mengakibatkan peningkatan dimensi *pile cap.*

3.5.3 Penentuan Efisiensi Tiang Bor Kelompok

Pada penentuan rumus persamaan efisiensi tiang bor kelompok telah diajukan namun semuanya masih bersifat pendekan. Converse-Labarre menyarankan penggunaan Persamaan 3.19 sebagai pendekatan perhitungan efisiensi tiang bor kelompok pada tanah pasir yang dapat dilihat dibawah ini.

$$Eg = 1 - \theta \frac{(n\prime - 1) + (m-1)n\prime}{90.m.n\prime} \quad (3.19)$$

dengan:

Eg = Efisiensi tiang bor kelompok
m = Jumlah tiang dalam 1 baris
n = Jumlah tiang dalam 1 kolom
Ɵ = Arc tg d/s, dalam derajat (°)
s = Jarak pusat tiang ke pusat tiang berikutnya
D = Diameter permukaan rata tiang.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Brown dkk (2010), pada tanah non-kohesif seperti pasir, efisiensi kelompok tiang dapat mencapai 1,0 atau lebih jika jarak antar tiang berada pada kisaran 2,5D hingga 3D (Paulus, 2016).

3.5.4 Kapasitas Daya Dukung Tiang Bor Kelompok

Apabila tiang bor kelompok berada dalam tanah lempung lunak, pasir yang kurang padat, atau tanah timbunan, dengan dasar tiang bertumpu pada lapisan kaku, maka kelompok tiang tersebut tidak memiliki risiko mengalami keruntuhan geser umum, asalkan diberikan faktor aman yang memadai untuk menghindari keruntuhan pada tiang tunggalnya. Pada kelompok tiang yang dasarnya berada di lapisan lempung lunak, faktor aman terhadap keruntuhan blok harus diperhitungkan, terutama jika jarak antar tiang dekat.

Kapasitas dukung ultimit tiang bor kelompok yang mempertimbangkan faktor efisiensi tiang dinyatakan dengan rumus pada Persamaan 3.20 sebagai berikut.

$$Qg = Eg \times n \times Qa \quad (3.20)$$

dengan:

Eg = Efisiensi tiang kelompok

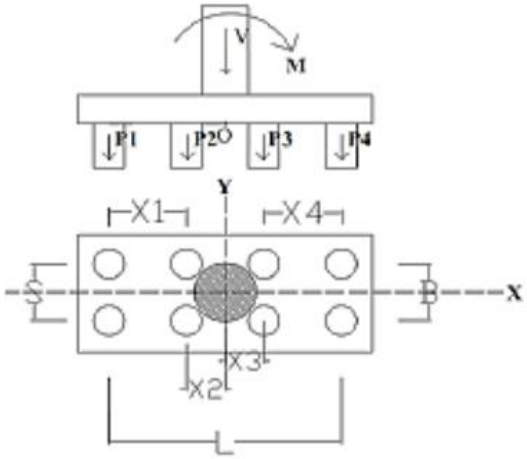
n = Jumlah tiang dalam tiang bor kelompok.

Qa = Beban maksimum tiang bor tunggal. (kN)

Qg = beban tertinggi yang diterima tiang yang menyebabkan keruntuhan

3.5.5 Analisis Pembagian Beban pada Setiap Tiang Bor

Hardiyatmo, (2015) menyatakan bahwa tiang bor kelompok yang mengalami beban dari dua arah (sumbu x dan y) dipengaruhi oleh beban vertikal serta momen pada sumbu x dan y, yang kemudian akan berdampak pada kapasitas daya dukung pondasi tiang bor tersebut. Ilustrasi pembebanan ditunjukkan pada Gambar 3.6 di bawah ini.



Gambar 3.6 Beban Terpusat dan Momen Tiang Bor Kelompok

Penghitungan tekanan aksial pada masing-masing tiang dapat dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.21 berikut ini.

$$Pi = \frac{\Sigma pt}{n} \pm \frac{\text{My. Xi}}{\Sigma x^2} \pm \frac{\text{Mx. yi}}{\Sigma y^2} \quad (3.21)$$

Dengan:

xi, yi = jarak pusat tiang ke pusat berat kelompok tiang. (m)

Σy^2 = Total kuadrat dari jarak-jarak tiang bor pada sumbu y.

Σx^2 = Total kuadrat dari jarak-jarak tiang bor pada sumbu x.

Pt = berat total tiang bor (kN)

Pi = beban aksial yang bekerja pada tiang ke-I (kN)

n = jumlah tiang bor yang bekerja pada tiang kelompok

My = momen yang beraksi pada bidang yang tegak lurus sumbu y (kN.m)

Mx = momen yang beraksi pada bidang yang tegak lurus sumbu x (kN.m)

3.6 Penurunan yang terjadi pada Pondasi Tiang Bor

Pada saat pondasi tiang menanggung beban, tiang akan merosot dan tanah di sekitarnya akan mengalami penurunan (Hardiyatmo, 2015). Menghitung penurunan pondasi sangat penting untuk mencegah penurunan pondasi yang berlebihan serta untuk menghindari kegagalan struktural bangunan.

3.6.1 Penurunan yang dialami oleh Tiang Bor Tunggal

Penurunan tiang bor bergantung pada cara beban ditransfer, sehingga penyelesaian dapat menggunakan pendekatan penurunan. Cara menghitung penurunan tiang bor tunggal dapat diatasi dengan metode empiris, menggunakan rumus Persamaan 3.22 sebagai berikut:

$$S = \frac{D}{100} + \frac{Q \times L}{Ap \times Ep} \quad (3.22)$$

keterangan:

D = dimensi tiang bor (m).

Q = beban yang beraksi pada tiang (kN).

Ap = luas permukaan datar tiang (m^2).

L = panjang tiang bor (m).

Ep = modulus elastisitas tiang bor (kN/m²).

S = total penurunan pada tiang bor (m).

3.6.2 Penurunan Total yang dialami Tiang Bor Kelompok

Penurunan fondasi kelompok tiang lebih signifikan dibandingkan dengan tiang tunggal. Dalam buku Manual Pondasi Tiang, Vesic (1977) menjelaskan bahwa perhitungan penurunan pondasi kelompok tiang dapat dirujuk pada Persamaan 3.23 sebagai berikut.

$$Sg = S\sqrt{\frac{Bg}{D}} \quad (3.23)$$

dengan:

S = penurunan pada pondasi tiang bor tunggal (m)

D = besaran diameter tiang bor tunggal (m)

B_g = besarnya lebar dari tiang kelompok (m)

Sg = total penurunan pondasi tiang bor kelompok (m)

3.7 Proses Pembebanan pada Pondasi Tiang Bor

Saat menganalisis bagaimana beban gempa didistribusikan pada struktur bangunan, terdapat beberapa langkah perhitungan yang perlu dilakukan, seperti berikut ini.

1. Periode Struktur Bangunan (T)

   Yaitu Salah satu karakteristik yang sangat penting dalam perancangan struktur, terutama struktur bangunan yang dirancang untuk tahan gempa, adalah periode struktur. Periode ini menentukan seberapa besar beban gempa yang akan dikenakan pada struktur.

   a. Periode (Ta)

   Menurut SNI-03-1726-2019 periode fundamental pendekatan *Ct* dan *x* dapat dilihat pada Tabel 3.2 dibawah ini.

Tabel 3.2 Nilai parameter periode pendekatan *Ct* dan *x*

Tipe Struktur	*Ct*	*x*
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 % gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik:		
• Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
• Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

(Sumber: SNI 03-1726-2019)

Berdasarkan tipe struktur bangunan dan tinggi bangunan, maka perioda (Ta) dapat dihitung sesuai dengan Tabel 3.2 Nilai parameter perioda pendekat *Ct* dan *x*.

b. Periode *Computed* (*Tc*)

Periode yang dihitung menggunakan aplikasi ETABS bertujuan untuk memeriksa dan membandingkan nilai perioda (T) fundamental yang akan digunakan dalam analisis berikutnya, dengan memenuhi beberapa persyaratan khusus.

jika $Tc > Cu\ Ta$	gunakan $T = Cu\ Ta$,
jika $Ta < Tc < Cu\ Ta$	gunakan $T = Tc$, dan
jika $Tc < Ta$	gunakan $T = Ta$.

Sesuai dengan SNI-03-1726-2019 pendekatan koefisien untuk batas atas (Cu) pada perioda yang dihitung dapat dilihat pada Tabel 3.3 sebagai berikut.

Tabel 3.3 Koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien Cu
≥ 0,4	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
≤0,1	1,7

(Sumber: SNI 1726-2019))

2. Faktor keutamaan (I) dan Kategori Risiko Struktur Bangunan

Menurut pedoman SNI-1726-2019, berbagai tingkatan risiko untuk bangunan gedung dan non-gedung harus dievaluasi sesuai dengan Tabel 3.4. Pengaruh dari gempa yang direncanakan harus dinilai dengan mengalikan dengan faktor keutamaan (I) yang sesuai, sebagaimana yang tertera di Tabel 3.4 dibawah ini.

Tabel 3.4 Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Non Gedung

Jenis penggunaan	Katagori resiko
Bangunan gedung dan non-gedung yang memiliki risiko kecil terhadap keselamatan manusia saat mengalami kegagalan, termasuk namun tidak terbatas yaitu: • Bangunan sementara • Fasilitas penyimpanan • Bangunan pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan • Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I
Semua bangunan dan struktur lainnya, kecuali yang tergolong dalam kategori risiko I, III, IV, mencakup tetapi tidak terbatas yaitu: • Rumah toko dan rumah kantor • Perumahan	II

• Pasar • Gedung apartemen/rumah susun • Bangunan perkantoran • Pusat perbelanjaan/mall • Pabrik • Bangunan industri • Fasilitas manufaktur	
Bangunan dan struktur non-gedung yang memiliki potensi risiko besar terhadap keselamatan manusia saat mengalami kegagalan, termasuk namun tidak terbatas yaitu: • Bioskop • Stadion • Gedung pertemuan • Penjara • Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat • Bangunan untuk orang jompo • Fasilitas penitipan anak Gedung dan bangunan non-gedung, kecuali yang tergolong dalam kategori risiko IV, memiliki kemungkinan untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari jika mengalami kegagalan, termasuk tetapi tidak terbatas yaitu: • Fasilitas penanganan air • Pusat pembangkit listrik biasa • Pusat telekomunikasi • Fasilitas penanganan limbah	III
Bangunan gedung dan non-gedung yang digolongkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: • Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan	IV

• Bangunan-bangunan monumental • Rumah ibadah • • Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat • Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat • Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya • Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat • Fasilitas komunikasi dan fasilitas tanggap darurat lainnya Gedung dan bangunan non-gedung yang esensial untuk memelihara fungsi dari struktur bangunan lain yang masuk dalam kategori IV.	

(Sumber: SNI 1726-2019)

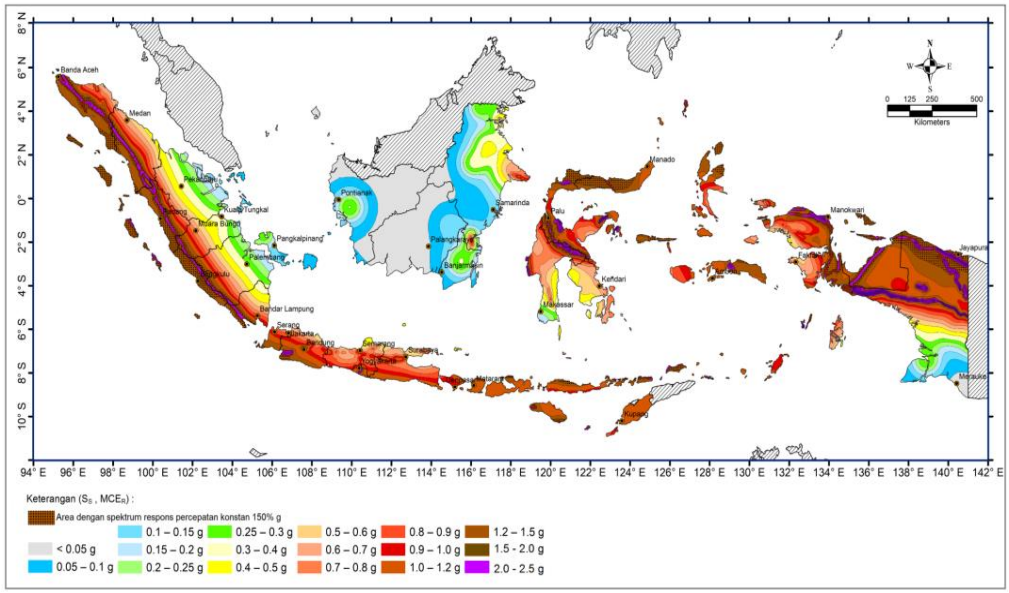
Tabel 3.5 Faktor Keutamaan (I) untuk Berbagai Kategori Bangunan

Katagori resiko	Faktor keutamaan gempa, *Ie*
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

Sumber: SNI 1726-2019)

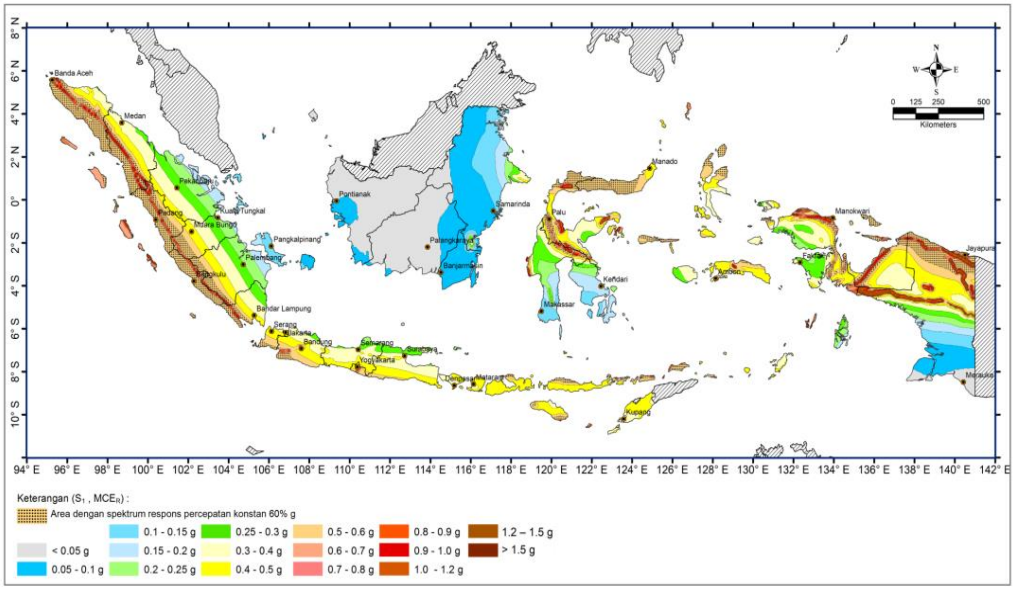
3. Nilai Spectrum Respons Gempa (C)

Sesuai dengan standar SNI-1726-2019, untuk mendapatkan nilai spektrum respons gempa, penting untuk mengetahui parameter percepatan terpetakan, termasuk percepatan batuan dasar pada perioda pendek (Ss) dan percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik (S1), yang dapat dilihat pada Gambar 3.2 dan Gambar 3.3,



Gambar 3.7 Peta Wilayah Percepatan Batuan Dasar Pada Perioda Pendek (Ss)

(Sumber: SNI 1726-2019)



Gambar 3.8 Peta Wilayah Percepatan Batuan Dasar Perioda 1 Detik (S1)

(Sumber: SNI 1726-2019)

Untuk menghitung nilai parameter respon spektrum percepatan gempa di permukaan tanah, faktor amplifikasi seismik untuk periode 0,2 detik (Fa) dan periode 1 detik (Fv) perlu diketahui, yang tersedia di Tabel 3.6 dan 3.7 berikut.

Tabel 3.6 Koefisien Situs Fa

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, T= 0,2 detik, Ss					
	SS≤0,25	SS = 0,5	SS= 0,75	SS= 1,0	SS = 1,25	SS ≥ 0,5
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	1,0	1,0
SF	SS(a)					

(Sumber: SNI 1726-2019)

Tabel 3.7 Koefisien Situs Fv

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, T= 1 detik, S_1					
	SS≤0,25	SS = 0,5	SS= 0,75	SS= 1,0	SS = 1,25	SS ≥ 0,5
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2.0
SF	SS(a)					

(Sumber: SNI 1726-2019)

3. Beban Geser Nominal (V)

Sesuai dengan SNI-1726-2019, persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai beban geser nominal gempa (V) dapat dilihat di Persamaan 3.24 berikut.

$$V = Cs \times Wt \tag{3.24}$$

Dengan:

Cs = faktor koefisien respons spektrum

Wt = berat seismik efektif

V = gaya dasar seismik

Nilai Cs dapat dicari dengan Persamaan 3.25 sebagai berikut:

$$Cs = \frac{S_{DS}}{\frac{R}{Ie}} \tag{3.25}$$

Dengan:

S_{DS} = parameter percepatan desain respon spektrum pada periode pendek

R = faktor koefisien modifikasi

Ie = faktor keamanan gempa

4. Kontrol Gaya Geser Dasar (*Base shear*)

   Apabila kombinasi respons untuk gaya geser dasar hasil analisis ragam (Vt) kurang dari 100% dari gaya geser (v) yang dihitung melalui metode statik ekivalen, maka gaya tersebut harus dikalikan dengan V/Vt. Perhitungan faktor skala dapat dilihat pada rumus Persamaan 3.26 sebagai berikut.

$$\text{Faktor skala} = \frac{v}{Vt} = 1 \tag{3.26}$$

Dengan:

V = gaya geser dasar statik ekivalen

Vt = gaya geser dasar hasil analisis kombinasii ragam.

3.8 Analisis Menggunakan Program PLAXIS 2D

PLAXIS merupakan aplikasi komputer berbasis metode elemen hingga dua dimensi yang digunakan untuk menganalisis deformasi dan stabilitas dalam konteks geoteknik, termasuk daya dukung tanah. Program ini dapat mensimulasikan kondisi sesungguhnya dengan baik, baik dalam regangan bidang (*plane-strain*) maupun secara *axisymmetrical*. Antarmuka grafis PLAXIS memudahkan pengguna untuk membuat model geometri dan jaring elemen dengan cepat, berdasarkan penampang melintang dari kondisi yang akan dianalisis. Terdapat empat sub-program utama: masukan, perhitungan, keluaran, dan kurva.

Analisis dengan *plane-strain* dilakukan pada struktur yang memiliki potongan melintang dengan pembebanan dan tegangan yang merata, dengan deformasi dianggap tidak ada dalam arah ini. Sementara itu, analisis *axisymmetric* digunakan untuk struktur lingkaran (*circular structures*) yang memiliki potongan radial dan pembebanan seragam terhadap pusat, dengan deformasi dan tegangan diasumsikan merata dalam arah radialnya.

Tujuan simulasi kondisi lapangan dalam program PLAXIS adalah untuk mengintegrasikan proses pelaksanaan lapangan ke dalam tahapan pengerjaan pada program ini. Diharapkan bahwa simulasi ini dapat mencerminkan kondisi lapangan sesuai dengan yang terjadi secara nyata, sehingga respons yang dihasilkan oleh program dapat dianggap sebagai representasi yang akurat dari kondisi sebenarnya di lapangan.

Penggunaan pemodelan elemen hingga dengan software PLAXIS adalah untuk menghitung deformasi selama proses konstruksi pada pondasi tiang bor. Langkah-langkah perhitungannya adalah sebagai berikut:

1. Membuka *input* PLAXIS, lalu mengisi judul proyek dan memilih model sesuai proyek yang ingin dibuat.
2. Deskripsi tentang satuan dan dimensi geometri proyek yang akan dimodelkan perlu disertakan. Setelah pemodelan selesai, pastikan sesuai dengan gambar rencana yang menggambarkan kondisi asli lapangan dengan mengaktifkan garis geometri.

3. Kemudian, memberikan gambaran tentang bagaimana struktur berhubungan dengan tanah. Setelah itu, masukkan parameter tanah dan parameter geoteknik struktur untuk setiap lapisan yang terlibat. Untuk menetukan parameter modulus elastisitas (E) dan angka *Poisson* (μ) dipakai tabel nilai perkiraan Bowless 1977 sebagai berikut ini.

Tabel 3.8 Perkiraan Nilai Modulus Elastis Tanah

Macam tanah	E (kN/m^2)
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

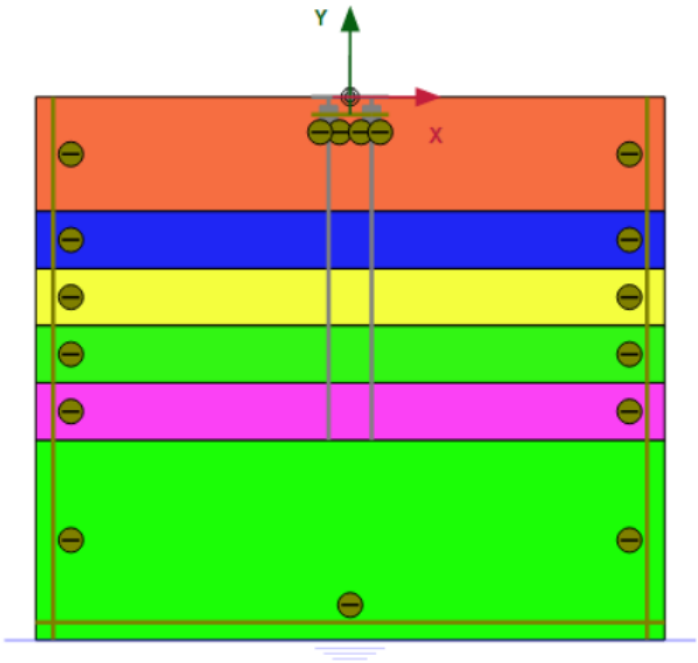
(sumber: Bowless, 1977, Mekanika Tanah II, hal148)

Tabel 3.9 Perkiraan Nilai Angka *Poisson*

Macam tanah	μ
Lempung jenuh	0,40 – 0,50
Lempung tak jenuh	0,10 – 0,30
Lempung berpasir	0,20 – 0,30
lanau	0,30 – 0,35
Pasir padat	0,20 - 0,40

Pasir kasar	0,15
Pasir halus	0,25
batu	0,10 – 0,40

(Sumber: Bowless,1977, Mekanika Tanah II, hal149)



Gambar 3.9 Kondisi Tanah Perlapisan

*(*Sumber: PLAXIS 2D, Penulis, 2024)

4. Selanjutnya, melakukan meshing untuk membagi material tanah ke dalam elemen diskrit yang berhingga.
5. Kemudian, menamtampilkan kondisi awal untuk memberikan gambaran muka air tanah pada pemodelan geometri. Setelah itu, hitung tegangan awal yang terjadi untuk menilai tegangan efektif.
6. Tahap berikutnya adalah melakukan perhitungan untuk mengestimasi deformasi dan faktor keamanan dengan mensimulasikan beberapa fase.
7. Setelah menyelesaikan semua fase, lalu memiilih titik nodal yang perlu ditinjau.
8. Setelah proses selesai, jendela output akan menampilkan nilai deformasi dan tegangan yang terjadi.

BAB IV
METODE PENELITIAN

4.1 Metode Penelitian

Tujuan utama analisis adalah untuk mengevaluasi kapasitas dukung pondasi tiang bor dengan menggunakan metode Meyerhof, Metode Reese & Wright, metode elemen hingga (PLAXIS 2D*)*, dan analisis pembebanan menggunakan program ETABS. Berdasarkan hasil analisis kapasitas dukung, diharapkan pondasi mampu menopang beban dari struktur atas, sehingga penurunan (settlement) tetap dalam batas toleransi yang diperbolehkan. Objek pada penelitian ini adalah Gedung Laboratorium Universitas Tidar Magelang yang secara administrasi terletak di Desa Kedungsari, Kecamatan Magelang Utara, Kabupaten Magelang, Provinsi Jawa Tengah.

4.2 Data Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dan menganalisis kapasitas dukung pondasi serta penurunan pada proyek pembangunan Gedung Laboratorium Universitas Tidar. Data yang diperlukan untuk analisis ini adalah sebagai berikut:

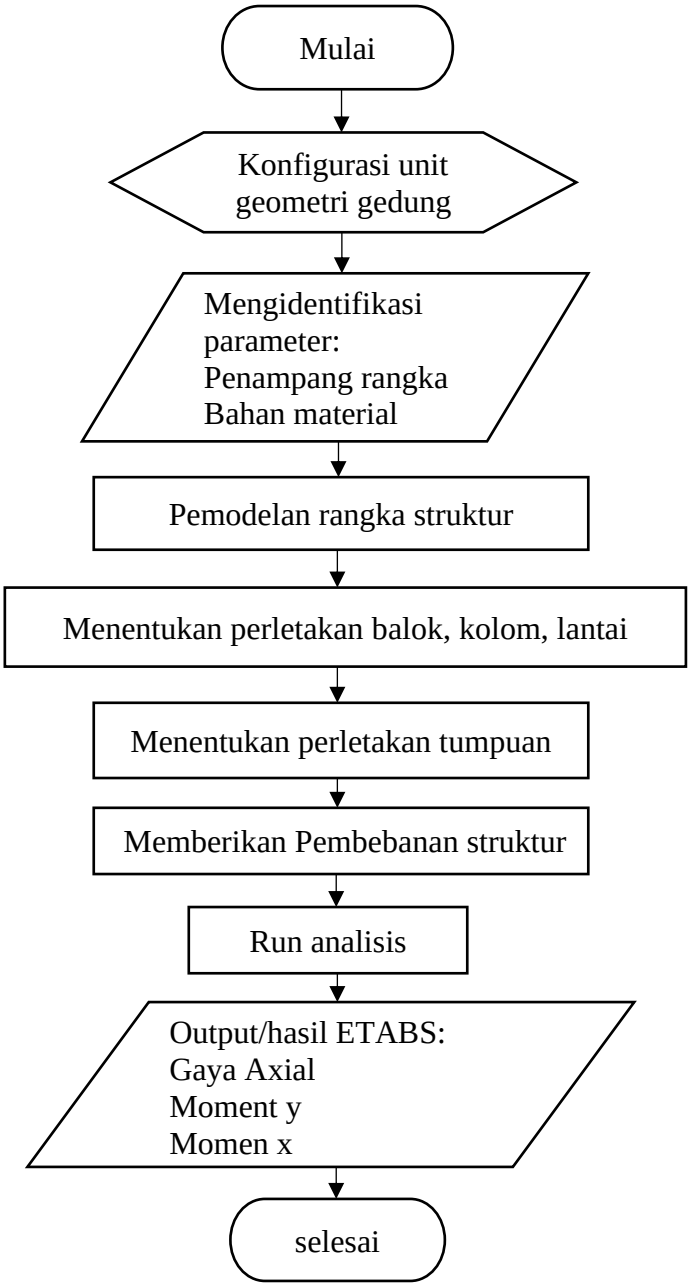
1. Hasil data pengujian Laboratorium
2. Hasil data penyelidikan tanah lapangan SPT *(standard penetrationn test).*
3. Gambar rancangan gedung Laboratorium Universitas Tidar

4.3 **Tahapan Analisis**

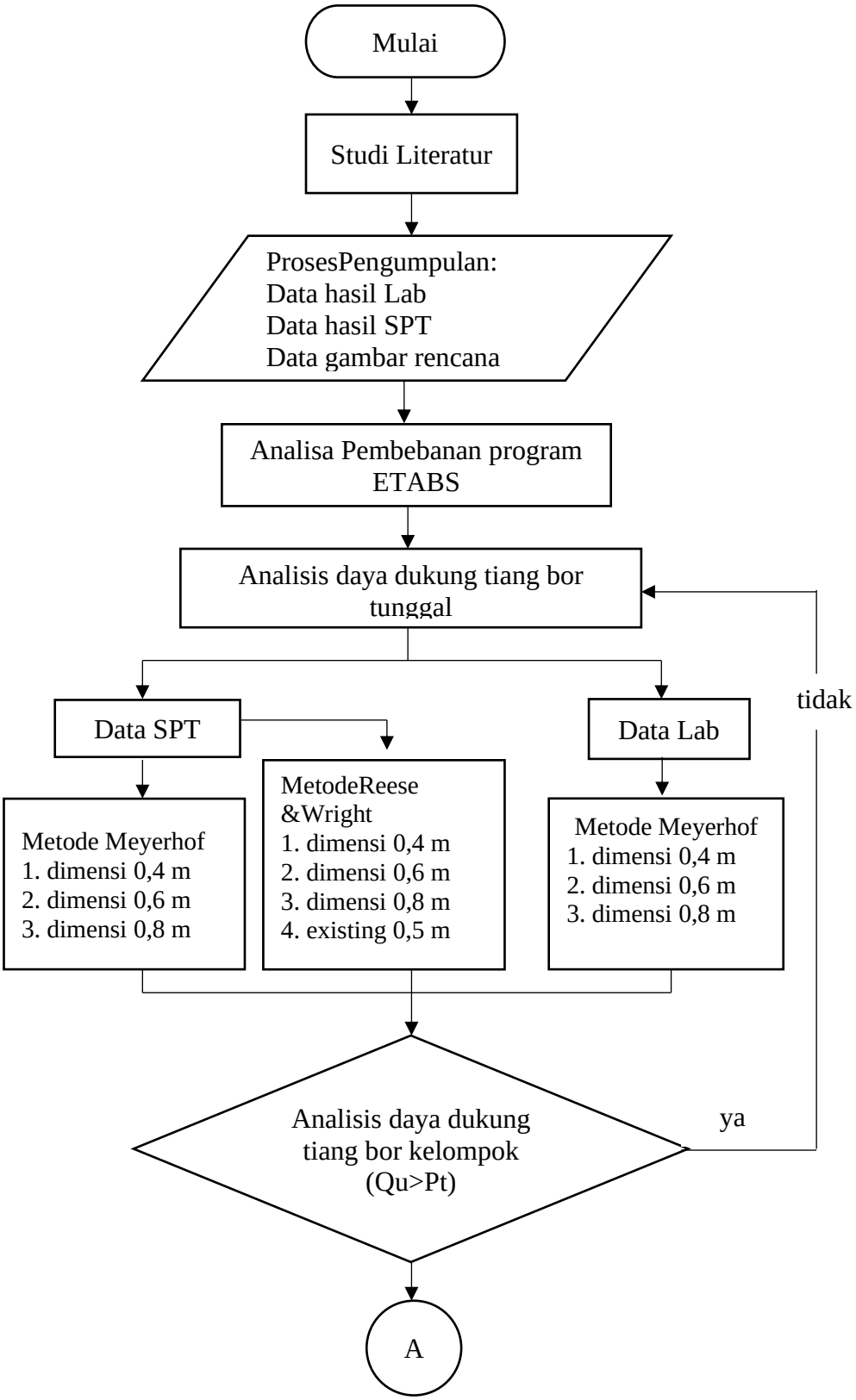
1. Pencarian referensi penelitian berupa jurnal dan literatur
2. Pengumpulan data penelitian
3. Untuk analisis beban, pemodelan dapat dilakukan dengan *software* ETABS
4. Daya dukung dan penurunan pondasi dihitung dengan metode manual
5. Melakukan Analisis menggunakan *Software* PLAXIS 2D
6. Menguraikan *output* / hasil dari analisis dan memberi kesimpulan

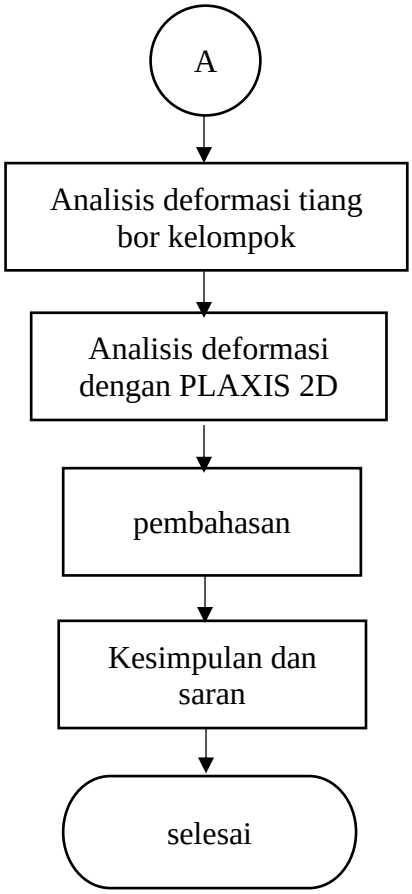
4.4 Bagan Alir

Adapun Diagram alir analisis struktur menggunakan ETABS dan metode penelitian ditunjukkan pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 berikut ini.

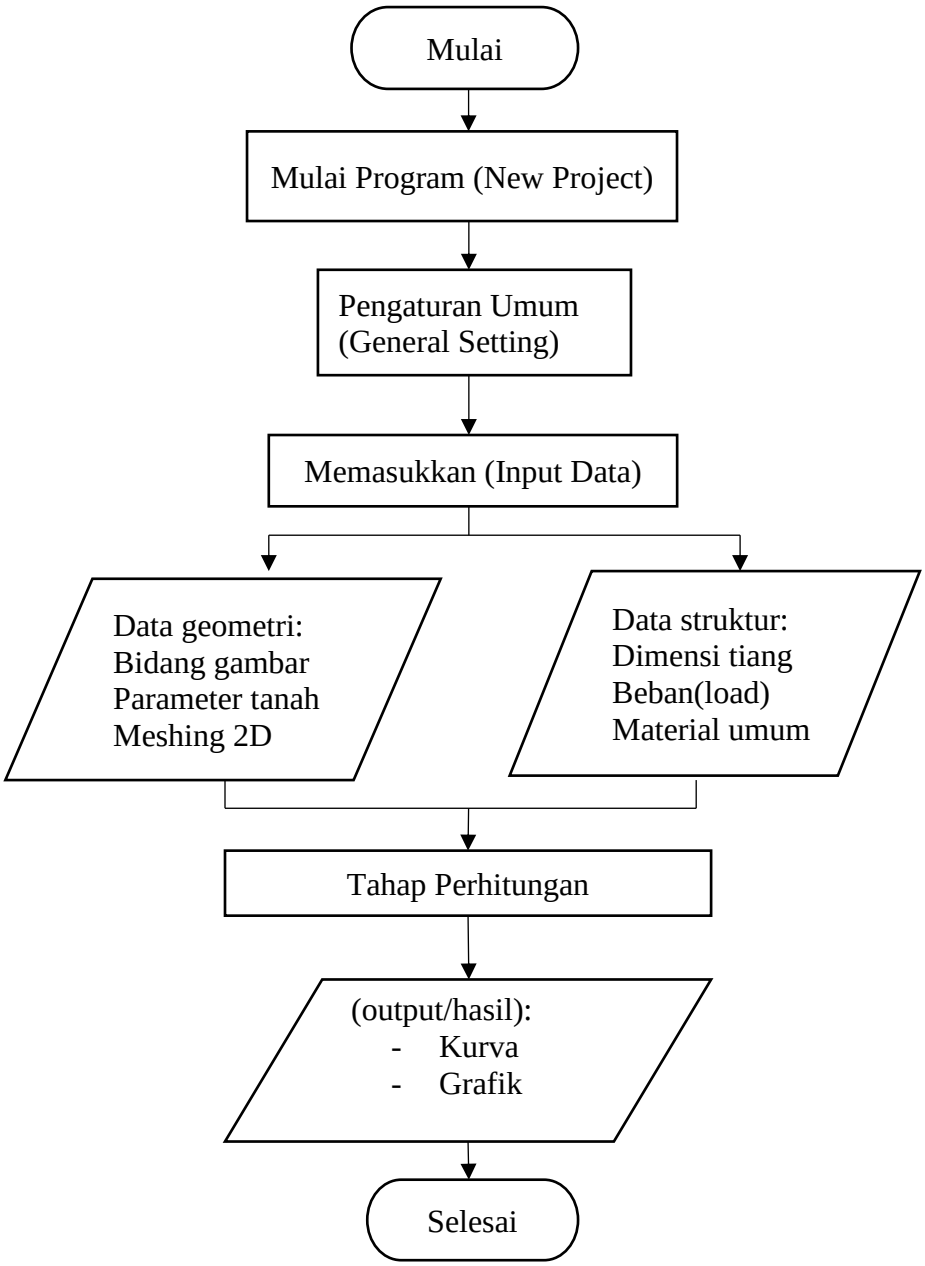


Gambar 4.1 Bagan Alir Program ETABS


Mulai
Studi Literatur
ProsesPengumpulan:
Data hasil Lab
Data hasil SPT
Data gambar rencana
Analisa Pembebanan program ETABS
Analisis daya dukung tiang bor tunggal
tidak
Data SPT
Data Lab
Metode Meyerhof
1. dimensi 0,4 m
2. dimensi 0,6 m
3. dimensi 0,8 m
MetodeReese &Wright
1. dimensi 0,4 m
2. dimensi 0,6 m
3. dimensi 0,8 m
4. existing 0,5 m
Metode Meyerhof
1. dimensi 0,4 m
2. dimensi 0,6 m
3. dimensi 0,8 m
Analisis daya dukung tiang bor kelompok (Qu>Pt)
ya
A



Gambar 4.2 Bagan Alir Penulisan Tugas Akhir

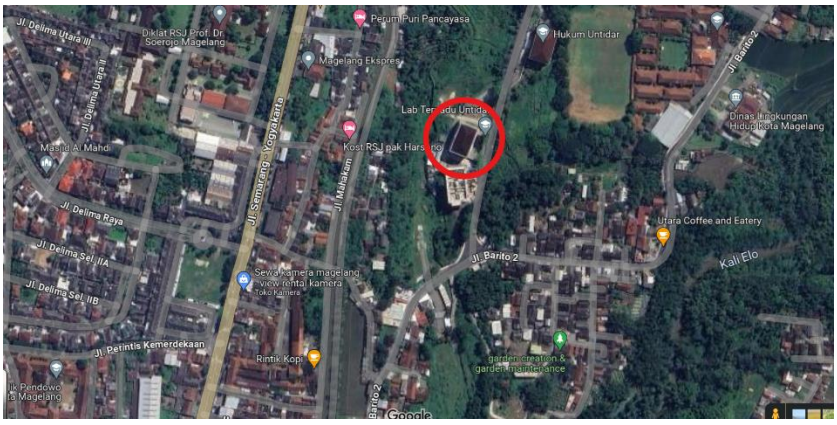


Gambar 4.3 Bagan Alir Program Plaxis 2D

BAB V
ANALISIS PERHITUNGAN

5.1 Data Proyek

Universitas Negeri Tidar adalah salah satu perguruan tinggi yang berada di kota Magelang, Jawa Tengah. Universitas ini memilki 5 fakultas dengan 10 prodi jurusan. Untuk memfasilitasi kegiatan belajar-mengajar tentunya dibutuhkan sarpas atau sarana dan prasarana yang mampu menunjang kegiatan tersebut. Oleh karena itu maka dibangunlah sebuah Gedung yang menjadi Laboratorium Terpadu sebagai infarastruktur dalam mendukung kegiatan-kegiatan kampus terutama dalam melakukan praktik terhadap teori yang telah di pelajari di selama perkuliahan serta untuk menunjang kegiatan lain seperti penelitian dan sebagainya. Data yang diperoleh Terdiri dari rencana dan parameter tanah yang diperoleh dari uji N-SPT dan laboratorium. Untuk informasi lebih lengkap, lihat gambar 5.1 yang menampilkan lokasi proyek.



Gambar 5.1 Denah Area proyek Laboratorium universitas tidar

(sumber: Google Maps,Penulis,2024)

5.1.1 Data Umum

Adapun data proyek pada pembangunan gedung Laboratorium Untidar ini adalah sebagai berikut.

1.Nama Proyek : Gedung Laboratorium Terpadu Untidar

2.Waktu Penyelesaian	: 240 Hari
3.Pemilik proyek	: Universitas Tidar
4.Konsultan pengawas	: PT. Pola Dwipa
5.Konsultan perencana	: Akapadhatu Kreasitama
6.Pelaksana/kontraktor	: PT. Satriamas Karyatama
7.Kons. Bag. Atas	: Beton Bertulang
8.Kons. Bag. Bawah	: Pondasi Tiang Pancang
9.Biaya pembangunan	: Rp 32.623.375.000,00
10.Proyek Terlaksana	: 5 %
11.Lokasi Proyek	: JLKapten Suparman No. 39 Potrobangsa Magelang, Provinsi Jawa Tengah

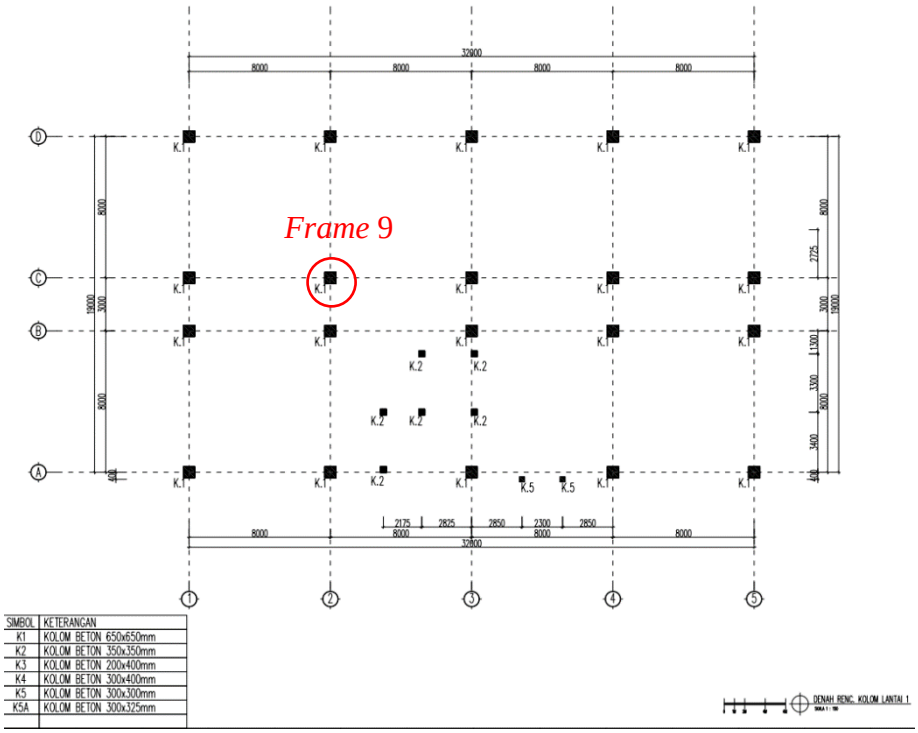
5.1.2 Spesifikasi Material

Berikut adalah bahan Material yang digunakan dalam membangunan gedung Laoboratorium Universitas Tidar

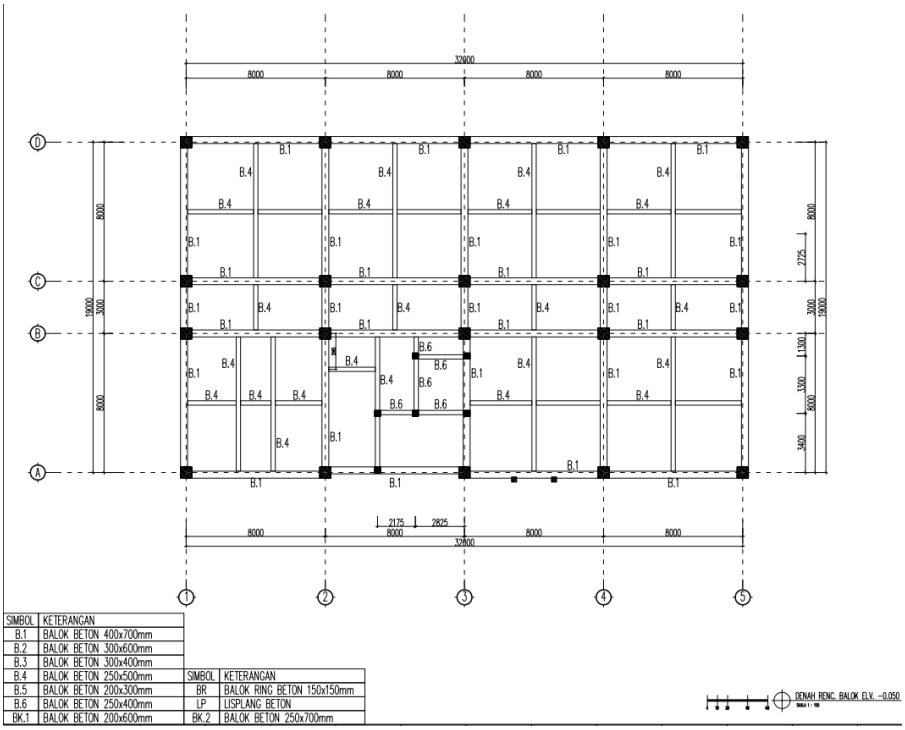
1. beton yang memiliki kekuatan mutu fc' sebesar 26,4 Mpa.
2. baja tulangan deformasi dengan mutu (fy) mencapai 420 Mpa.
3. baja tulangan polos dengan mutu (fy) mencapai 240 Mpa.

5.1.3 Gambar Rencana Konstruksi

Letak pondasi tiang bor rencana dapat dilihat pada titik *frame* 9 pada Gambar 5.2 dan Gambar 5.3 rencana perletakan kolom dan balok sebagai berikut.



Gambar 5.2 Gambar Rencana Perletakan Kolom Beton



Gambar 5.3 Gambar Rencana Perletakan Balok

5.1.4 Detail Data Struktur Bangunan Gedung

Bangunan laboratorium memiliki beberapa struktur rangka utama yaitu struktur atas beton bertulang dan struktur bawah berupa tiang pancang. Analisis yang akan dilakukan peneliti terkait struktur bawah gedung namun dengan metode konstruksi tiang bor atau *bored pile.*

Struktur atas gedung yang akan topang oleh pondasi terdiri dari kolom, balok, dan pelat

1. Kolom

   Kolom adalah batang tekan vertikal yang memikul beban aksial dari balok dan meneruskannya ke pondasi. Pada gedung laboratorium ini digunakan kolom jenis beton bertulang denagan fc' 26,4 Mpa. Jenis dan ukuran yang digunakan tercantum dalam Tabel 5.1 di bawah ini.

Tabel 5.1 Jenis dan Ukuran Kolom Laboratorium

Jenis	Diameter (mm)		Tulangan	
	B	H	Tumpuan	Lapangan
K1	650	650	36 D25	36 D25
K2	350	350	12 D22	12 D22
K3	200	400	10 D13	10 D13
K4	300	400	12 D16	12 D16
K5	300	300	12 D13	12 D13
K5A	300	325	12 D13	12 D13

2. Balok

   Balok merupakan sruktur melintang yang menopang beban horizontal dari lantai, atap, dan struktur laiannya dan menyalurkannya ke kolom. Balok uang digunakan berupa beton bertulang denagan fc' 26,4 Mpa. Detail mengenai jenis dan dimensi dapat ditemukan dalam Tabel 5.2 berikut ini.

Tabel 5.2 Jenis dan Ukuran Balok Laboratorium

Jenis	Diameter (mm)		Tumpuan		Lapangan	
	B	H	Atas	Bawah	Atas	Bawah
B1	400	700	9 D22	5 D22	5 D22	5 D22
B2	300	600	7 D19	3 D19	4 D19	4 D19
B3	300	400	3 D19	3 D19	3 D19	3 D19
B4	250	500	5 D19	3 D19	3 D19	3 D19
B5	200	300	3 D13	3D13	3 D13	3 D13
B6	250	400	5 D16	3 D16	3 D13	3 D13
BR	150	150	2 D13	2 D13	2 D13	2 D13

3. Pelat

   Pelat adalah elemen horizontal struktur yang mendukung beban mati maupun beban hidup dan menyalurkannya ke rangka vertikal seperti kolom. Informasi mengenai tipe dan ukuran yang digunakan tersedia di Tabel 5.3 berikut.

Tabel 5.3 Jenis dan Tebal Pelat Laboratorium

Kode Pelat	Tebal Pelat (mm)
Pl01	200
Pl02	150
Pl03	120
Pl04	120

5.2 Pembebanan Struktur

Beban pada struktur terbagi menjadi beban mati, beban hidup, dan beban gempa, diikuti dengan analisis menggunakan program ETABS.

5.2.1 Aturan - Aturan Pembebanan

Standar pembebanan yang digunakan sebagai referensi dalam perhitungan pembebanan struktur adalah sebagai berikut.

1. SNI-2847-2019 tentang Pedoman Perhitungan Struktur Beton pada Bangunan Gedung

2. SNI-1727-2020 tentang Beban Desain Minimum serta Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung.
3. SNI-1726-2019 mengenai Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung.

5.2.2 Kombinasi Berbagai Beban

Dua kombinasi beban digunakan dalam perhitungan pembebanan, yaitu kondisi beban tetap dan kondisi beban gempa. Berdasarkan SNI 1726:2019 nilai SDs yang didapatkan adalah sebesar 0,61 dan faktor redudansi yang digunakan adalah sebesar 1,3, dengan memasukan beban arah ortogonal pada kombinasi maka didapatkan Kombinasi sebagai berikut.

1. Kombinasi 1: 1,4 D
2. Kombinasi 2: 1,2 D
3. Kombinasi 3: 1,2 D +1,6 L
4. Kombinasi 4: 1,323D + 1,3 Ex + 0,39 Ey + L
5. Kombinasi 5: 1,323D + 1,3 Ex - 0,39 Ey + L
6. Kombinasi 6: 1,323D - 1,3 Ex + 0,39 Ey + L
7. Kombinasi 7: 1,323D - 1,3 Ex - 0,39 Ey + L
8. Kombinasi 8: 1,323D + 0,39 Ex + Ey + L
9. Kombinasi 9: 1,323D - 0,39 Ex + 1,3 Ey + L
10. Kombinasi 10: 1,323D + 0,39 Ex - 1,3 Ey + L
11. Kombinasi 11: 1,323D - 0,39 Ex - 1,3 Ey + L
12. Kombinasi 12: 0,776D + 1,3 Ex + 0,39 Ey
13. Kombinasi 13: 0,776D + 1,3 Ex - 0,39 Ey
14. Kombinasi 14: 0,776D - 1,3 Ex + 0,39 Ey
15. Kombinasi 15: 0,776D - 1,3 Ex - 0,39 Ey
16. Kombinasi 16: 0,776D + 0,39 Ex + 1,3 Ey
17. Kombinasi 17: 0,776D - 0,39 Ex + 1,3 Ey
18. Kombinasi 18: 0,776D + 0,39 Ex - 1,3 Ey
19. Kombinasi 19: 0,776D - 0,39 Ex - 1,3 Ey

Dengan:

D = beban mati

L = beban hidup

Ex= beban gempa arah x

Ey= beban gempa arah y

5.2.3 Proses Pembebanan

Perhitungan pembebanan pada sebuah gedung mencakup beban mati, beban hidup dan beban gempa sebagai berikut.

1. Beban Mati

   Penentuan beban pada suatu gedung memerlukan pemahaman tentang fungsi gedung tersebut. Pembebanan beban mati mencakup hal-hal berikut.

   a. Beban Lantai

   Untuk analisis beban mati pada lantai, lihat Tabel 5.4 berikut ini.

Tabel 5.4 Analisis Beban Mati Pada Lantai

Komponen	Berat Volume		Tebal (m)	Q(Kn/m²)
	Nilai	Satuan		
Pelat Beton	2400	kg/m³	0,15	3,532
Pasir	1800	kg/m³	0,05	0,883
Spesi	21	kg/m^2	0,03	0,006
Keramik	24.0	kg/m²		0,235
Waterproofing	26,504	kg/m^2		0,260
partisi	48,930	kg/m²		0,480
Plafon	11	kg/m²		0,108
Penggantung Plafon	7	kg/m²		0,069
Mechanical Electrical	20	kg/m²		0,196
Jumlah Beban mati (Qd)				5,769
Jumlah Beban mati tambahan (Qdl)				2,237

b. Beban Atap

Untuk analisis beban mati pada Atap, lihat Tabel 5.5 dibawah ini.

Tabel 5.5 Analisis Beban Mati Pada Atap

Komponen	Berat Volume		Tebal (m)	Q(Kn/m²)
	Nilai	Satuan		
Pelat Beton	2400	kg/m³	0,15	3,532
Pasir	1800	kg/m³	0,05	0,883
Spesi	21	kg/m^2	0,03	0,006
Waterproofing	26,504	kg/m³		0,260
Ducting AC	40	kg/m²		0,392
Plafon	11	kg/m²		0,108
Penggantung Plafon	7	kg/m²		0,069
Mechanical Electrical	20	kg/m²		0,196
Jumlah Beban mati (Qd)				5,446
Jumlah Beban mati tambahan (Qdl)				1,914

c. Beban Dining

Untuk analisis beban mati pada Dinding, lihat Tabel 5.6 sebagai berikut.

Tabel 5.6 Analisis Beban Mati Pada Dinding

BJ dinding Batu Bata	200	kg/m^2	0,2	T/m^2
Plesteran	21	kg/m^2		
tebal	0,15	m	0,03	kN/m^2
tinggi	4	m	0,12	kN/m^3
berat dinding	560	kg/m		
berat plesteran	352,8	kg/m	0,4	T/m
Total berat dinding	912,8	kg/m	8,955	kN/m

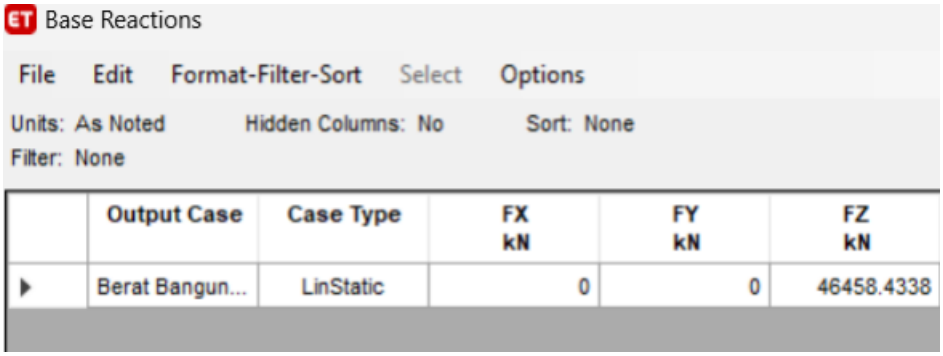
2. Beban Hidup

Sesuai dengan SNI 1727:2020, beban hidup dalam suatu bangunan memiliki variasi ukuran berdasarkan fungsi setiap ruangan sebagai berikut.

Laboratorium	= 4,79 kN/m^2
Koridor	= 4,79 kN/m^2
Ruang kelas	= 3,83kN/m^2
Ruang rapat	= 4,79 kN/m^2
Kantor staf	= 2,40 kN/m^2
Toilet	= 2,87 kN/m^2

3. Berat bangunan

Bangunan bertingkat rentan terhadap keruntuhan jika tidak direncanakan dengan cermat, sehingga penting untuk mengetahui beban yang mempengaruhi bangunan seperti beban mati (*dead load*), beban hidup (*live load*), dan beban gempa (*earthquake*). Perhitungan menggunakan ETABS menghasilkan berat bangunan yang ditunjukkan pada Gambar 5.4 sebagai berikut.


Base Reactions

File Edit Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted Hidden Columns: No Sort: None
Filter: None

	Output Case	Case Type	FX kN	FY kN	FZ kN
▶	Berat Bangun...	LinStatic	0	0	46458.4338

Gambar 5.4 Hasil Berat Bangunan Program ETABS

4. Beban gempa

Beban gempa merupkan beban yang bekerja pada suatu struktur akibat pergerakan tanah. Prosedur analisis yang dapat dilakuakan salah satunya dengan analisis respons spekturm. Parameter yang perlu diketahuai antara lain.

1. Periode fundametal struktur

   Dalam menentukan periode fundametal digunakan Persamaan berikut

   $Ta = C_t h_n^x$

   $= 0{,}0466 \times 20{,}8^{0{,}9}$

= 0,716 detik

Diketahui:

C_t = nilai koefisien berdasarkan tabel 18 SNI 1726:2019

h_n = tinggi total stuktur

x = nilai koefisien berdasarkan tabel 18 SNI 1726:2019

2. Nilai periode maksimum

   Untuk menetukan periode maksimum dibutuhkan nilai Cu yang dapat dilihat pada tabel 3.11. dalam tabel tersebut didapatkan nilai Cu sebesar 1,4 sehingga nilai periode maksimum dapat ditentukan dengan Persamaan sebagai berikut.

   T_{max} = Cu x Ta

   = 1,4 x 0,716

   = 1,0018 detik

3. Nilai periode dari pemodelan Etabs

   Dari hasil pemodelan ETABS berdasarkan SNI 1726:2019 didapat nilai sebesar1,007 detik arah X dan 0,987 arah Y. dari nilai yang didapat pada perhitungan diatas nilai periode struktur dapat ditentukan dengan melihat syarat-syarat berikut.

   a. Apabila nilai Tc < Ta maka T= Ta
   b. Apabila nilai Ta < Tc maka T= Tc
   c. Apabila nilai Tc > T_{max} maka T= T_{max}

   Berdasarkan hasil perhitungan dan persyaratan diatas karena nilai periode pemodelan ETABS (Tc) lebih besar dari Ta maka nilai periode yang digunakan adalah Tc = 0,9 detik

4. Parameter seismik SNI 1726: 2019

   a. Percepatan gempa

      Jenis tanah pada area gedung berjenis tanah sedang (SD), sesuai dengan SNI 1726:2019 untuk percepatan periode 0,2 detik (Ss) dipakai antara 0,7 – 0,8 g, maka dipakai sebesar 0,77. Untuk percepatan periode 1 detik (S1) antara 0,3 – 0,4 g, maka diambil 0,38.

b. Koefisien situs dan percepatan respon spektrum gempa (MCE_R) terpetakan.

Yaitu berupa nilai faktor amplikasi getaran periode pendek (Fa) dan faktor amplikasi getaran periode 1 detik (Fv). Dari Tabel 6 dan 7 pada SNI 1726:2019 setelah di interpolasi didapat masing-masing sebesar 1,192 dan 1,920.

c. Menetukan nilai SM_S dan SM1

Perhitungan mencari SM_S dan SM1 sesuai SNI 1726:2019 sebagai berikut.

- Percepatan periode pendek (SM_s)

  $SM_s = Fa \times Fv$

  $SM_s = 1{,}192 \times 1{,}920$

  $SM_s = 0{,}917$

- Percepatan periode 1 detik (SM1)

  $SM1 = Fv \times S1$

  $SM1 = 1{,}920 \times 0{,}38$

  $SM1 = 0{,}729$

d. Menentukan nilai S_{DS} dan S_{D1}

Perhitungan mencari S_{DS} dan S_{D1} sesuai SNI 1726:2019 sebagai berikut.

- Spektrum periode pendek (S_{DS})

  $S_{DS} = \frac{2}{3} \times SMS$

  $S_{DS} = \frac{2}{3} \times 0{,}917$

  $S_{DS} = 0{,}611$

- Spektrum periode 1 detik (S_{D1})

  $S_{D1} = \frac{2}{3} \times SM1$

  $S_{D1} = \frac{2}{3} \times 0{,}729$

  $S_{D1} = 0{,}486.$

e. Menetukan nilai C_{RS} dan C_{R1}

Sesuai dengan gambar 18 pada SNI 1726:2019 untuk nilai C_{RS} dan C_{R1} dapat dipakai sebesar 0,95 dan 0,95.

f. Menentukan nilai SD_{SR} dan SD_{1R}

Perhitungan mencari nilai SD_{SR} dan SD_{1R} dapat dilakukan sebagai berikut.

- Menghitung (SD_{SR})

  $SD_{SR} = S_{DS} \times C_{RS}$

  $SD_{SR} = 0{,}611 \times 0{,}95$

  $SD_{SR} = 0{,}581$

- Menghitung (SD_{1R})

  $SD_{1R} = S_{D1} \times C_{R1}$

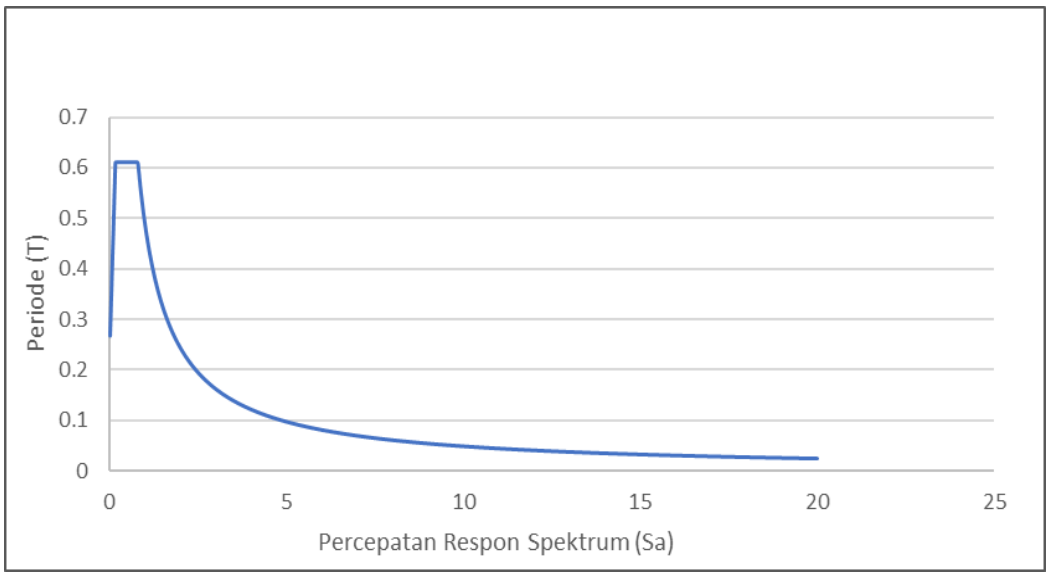
  $SD_{1R} = 0{,}486 \times 0{,}95$

  $SD_{1R} = 0{,}462$

Hasil rekapitulasi parameter seismik berdasarkan SNI 1726:2019 dapat dilihat pada tabel 5.7 berikut.

Tabel 5.7 Rekapitulasi Parameter Seismik dengan SNI-1726:2019

JENIS	NILAI
Parameter Gerak Tanah, Ss	0,770
Parameter Gerak Tanah, S1	0,380
Koefisien Situs, Fa	1,192
Koefisien Situs, Fv	1,920
Parameter Respon Periode Pendek, SMs	0,918
Parameter Respon Periode Pendek, SM1	0,730
Parameter Percepatan Desain Periode Pendek, SDs	0,612
Parameter Percepatan Desain Periode 1 Detik, SD1	0,486
Parameter Percepatan, SDsr	0,581
Parameter Percepatan, SD1r	0,462



Gambar 5.5 Hasil Percepatan Respon Spektrum

5. Nilai Statik ekivalen

   Untuk menentukan nilai statik ekivalen dibutuhkan nilai Cs. Berdasarkan SNI 1726: 2019 nilai Cs tidak boleh lebih besar sari Csmax dan tidak boleh lebih kecil dari Csmin

   $Cs = \frac{SDs}{\frac{R}{Ie}}$

   $= \frac{0,615}{\frac{8}{1,5}}$

   $= 0,115$

   $Cs_{max} = \frac{SD1}{T(\frac{R}{Ie})}$

   $= \frac{0,486}{1,0018(\frac{8}{1,5})}$

   $= 0,091$

   $Csmin = 0,044SDsIe > 0,01$

   $=0,044 \times 0,612 \times 1,5 > 0,01$

   $= 0,040$

Berdasarkan nilai yang telah didapatkan dari Persamaan diatas maka didapatkan Cs pakai sebesar 0,091. Setelah semua koefisien yang didapatkan dari SNI1726:2019 di input kedalam aplikasi ETABS maka diperoleh nilai statik

ekivalen sebesar 2302,667 kN arah X dan 2347,363 kn arah y, beban statik ekivalen pada setiap lantai dapat dilihat pada tabel 5.8 sebagai berikut.

Tabel 5.8 Beabn Statik Ekivalen Perlantai dengan SNI-1726:2019

Lantai	Arah X (kN)	Arah Y (kN)
5	383,011	388,73
4	833,135	847,423
3	586,062	597,758
2	352,569	361,005
1	147,896	152,444
Total	2302,673	2347,36

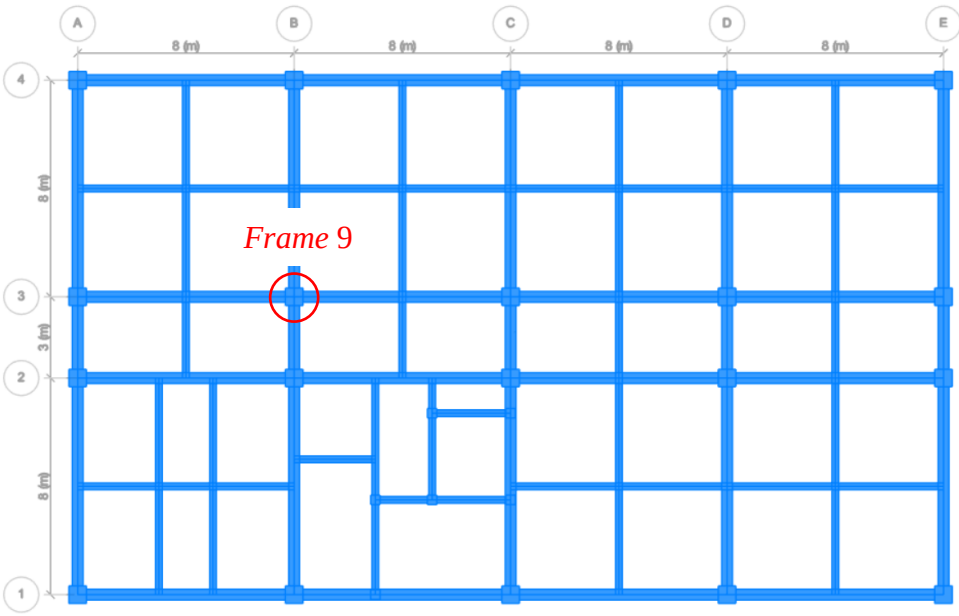
5.3 Data Masukan dan Hasil Keluaran dari Program *ETABS*

Untuk memanfaatkan program ETABS dalam penilaian gedung pencakar langit, tahapan pertama adalah mengevaluasi beban tetap dan beban gempa. Proses memasukkan data ke dalam program ETABS, termasuk:

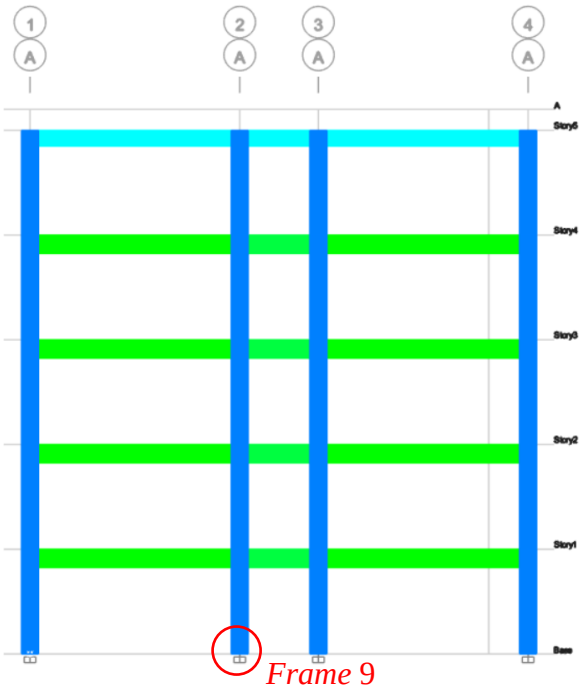
1. Penentuan sifat bahan dan konfigurasi rangka.
2. Penentuan sambungan, kerangka, dan penyangga.
3. Penentuan beban termasuk beban mati (D), beban hidup (L), beban gempa (E), dan kombinasi beban.
4. Mulai proses analisis (run analysis)

\

berikut merupakan bentuk pemodelan struktur Gedung Laboratorium Universitas Tidar.



Gambar 5.6 Hasil Pemodelan 3D Program ETABS



Gambar 5.6 Tampak Samping 3D Program ETABS

Dalam analisis struktur menggunakan ETABS, dipertimbangkan posisi jepit-jepit untuk mencegah pergeseran struktur. Beban mati terdiri dari berat setiap pelat lantai sebesar 2,235 kN/m² dan pelat atap sebesar 1,914 kN/m². Sedangkan beban hidup untuk pelat lantai adalah 3,132 kN/m² dan untuk pelat atap adalah 0,960 kN/m².

Perhitungan beban gempa dilakukan berdasarkan tinggi masing-masing lantai dan diterapkan pada portal-portal di tiap lantai. Input beban gempa dilakukan dalam dua arah, yaitu arah lateral (sumbu x) dan longitudinal (sumbu y). Semakin tinggi lantai, beban gempa pada setiap portal dalam kedua arah tersebut akan bertambah besar.

Pada *output*/hasil ETABS, didapatkan nilai maksimum gaya karena kombinasi beban, yakni:

Gaya aksial (P) = 3038,482 kN

Momen (Mx) = 356,545 kN.m

Momen (My) = 377,782 kN.m

Output dari program ETABS menunjukkan gaya maksimum pada kolom dasar yang akan digunakan sebagai beban rencana dalam analisis pondasi tiang bor, sebagaimana tertera dalam Tabel 5.9 di bawah ini.

Tabel 5.9 Hasil Analisis Program ETABS Pada Frame 9

Story	Label	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
		kN	kN	kN	kN-m	kN-m	kN-m
Base	9	36,245	188,91	3038,48	322,546	114,646	7,559
Base	9	38,658	161,65	1667,48	356,545	117,993	7,706
Base	9	12,.878	83,054	1477,60	130,828	377,782	9,491

5.4 Karakteristik Data Tanah

Observasi di lokasi perencanaan gedung laboratorium menunjukkan bahwa tanah terdiri dari endapan pasir dan lempung. Penyelidikan tanah mencakup pengamatan lapangan dan analisis sampel tanah di laboratorium.

Penelitian lapangan melibatkan penggunaan *Standart Penetration Test* (SPT), dengan pengujian dilakukan di titik 1 (BM-1) setiap 2 meter, dan di

laboratorium setiap 5 meter. Tabel 5.10 mencatat hasil penyelidikan tanah di laboratorium sebagai berikut.

Tabel 5.10 Hasil Pengujian Laboratorium Titik BM1

Kedalaman (m)	densitas		Berat Jenis (Gs)	Angka pori (e)	Porositas (n) (%)	Kohesi (c) (kg/cm^2)	Sudut geser (ϕ)(°)
	γb (gr/cm^3)	γd (gr/m^3)					
0-5	1,512	0,911	2,537	1,786	0,541	0,109	38,57
5-10	1,719	1,220	2,458	1,015	0,504	0,185	40,95
10-15	1,621	1,269	2,663	1,099	0,524	0,173	44,57
15-20	1,714	1,199	2,697	1,249	0,555	0,145	46,55
20-25	1,737	1,249	2,552	1,044	0,511	0,117	47,79
25-30	1,735	1,338	2,532	0,892	0,472	0,105	47,18
30-35	1,710	1,488	2,536	0,704	0,413	0,209	43,17
35-40	1,716	1,520	2,675	0,760	0,432	0,258	37,74

Hasil dari pengujian SPT di lapangan mencakup nilai N-SPT yang perlu disesuaikan dengan metode pengujian dan koreksi regangan akibat tekanan lapisan tanah. Tabel 5.11 menyajikan data N' (N-SPT yang terkoreksi) untuk titik BM1 sebagai berikut.

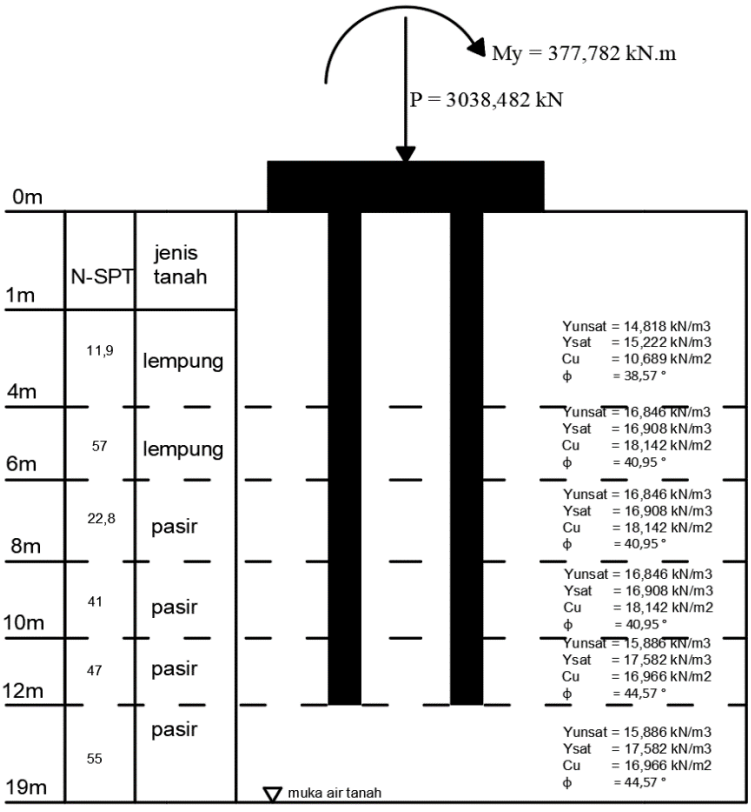
Tabel 5.11 Hasil N' (N_{SPT} terkoreksi) Titik BM1

Kedalaman (m)	Nilai N	Em	C_B	C_S	C_R	N'
2,0 - 2.20	14	0,6	1	1	0,75	10,5
4,0 - 4.20	14	0,6	1	1	0,85	11,9
6.0 - 6.20	60	0,6	1	1	0,95	57
8.0 - 8.20	24	0,6	1	1	0,95	22,8
10.0 - 10.20	41	0,6	1	1	1	41
12.0 - 12.20	47	0,6	1	1	1	47
14.0 - 14.20	55	0,6	1	1	1	55
16.0 - 16.20	60	0,6	1	1	1	60

18.0 - 18.20	60	0,6	1	1	1	60
20.0 - 20.20	60	0,6	1	1	1	60
22.0 - 22.20	60	0,6	1	1	1	60
24.0 - 24.20	60	0,6	1	1	1	60
26.0 - 26.20	60	0,6	1	1	1	60
28.0 - 28.20	60	0,6	1	1	1	60
30.0 - 30.20	60	0,6	1	1	1	60
40.0 - 40.20	60	0,6	1	1	1	60

5.5 Permodelan Pondasi Tiang Bor

Dalam proses menganalisis pondasi tiang bor, digunakan beban aksial dan momen yang dihasilkan dari program ETABS. Perancangan pondasi tiang bor dapat dilihat pada Gambar 5.7 sebagai berikut.



Gambar 5.7 Pemodelan Beban Pada Pondasi Tiang Bor

5.6 Kapasitas Dukung Tiang Bor

Dalam perhitungan kapasitas dukung tiang bor, digunakan beberapa metode seperti metode Reese & Wright, metode Meyerhof lapangan, dan metode Meyerhof laboratorium. Sebelum melakukan perhitungan kapasitas dukung tiang bor kelompok, perlu dilakukan perhitungan terlebih dahulu untuk tiang bor tunggal. Berikut ini adalah perhitungan untuk daya dukung pondasi tiang bor tunggal.

5.6.1 Kapasitas Dukung Tiang Bor Tunggal

1. Metode Reese & Wright (Desain Diameter 0,6 m)

Perhitungan kapasitas dukung didasarkan pada model lapisan tanah yang terillustrasi pada Gambar 5.7, serta menggunakan metode Reese & Wright untuk perhitungannya sebagai berikut.

a. Tahanan Ujung Ultimit

1) Luas dasar tiang

D = 0,6 m

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

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

Ap = 0,283 m^2

2) Tahanan ujung persatuan luas

N-SPT = 47

qp = 30 tsf (Gambar 3.2 Grafik tahanan ujung ultimit)

qp = 3217,742 kN

3) Tahanan ujung ultimit

Qp = Ap x qp

Qp = 0,283 x 3217,742

Qp = 909, 742 kN

b. Tahanan Gesek Ultimit

1. Lapissan tanah kedalaman 0 - 4 m

Pada tanah kohesif

L = 4 m

Fs = a. Cu

a = 0,55

Cu = $\frac{2}{3} \times Nspt \times 10$

Cu = $\frac{2}{3} \times 47 \times 10$

Cu = 79,333 kN/m^2

Fs = 0,55 x 79,333

Fs = 43,633 kN/m^2

Qs = $Fs \times l \times p$

Qs = $fs \times l \times (\pi \times d)$

Qs = $43{,}633 \times 4 \times (\pi \times 0{,}6)$

Qs1 = 328,988 kN

2. Lapissan tanah kedalaman 4 - 6 m

L = 2 m

Nspt = 57

Fs = 1,6 tsf (Gambar 3.3 korelasi Fs dan N-SPT)

Fs =171,603 kN/m^2

Qs = *fs* x *l x* p

Qs = $fs \times l \times (\pi \times d)$

Qs = $171{,}603 \times 2 \times (\pi \times 0{,}6)$

Qs2 = 646,928 kN

3. Lapissan tanah kedalaman 6 - 8 m

L = 2 m

Nspt = 22,8

Fs = 0,32 x Nspt

= 0,32 x 22,8

= 7,296 ton/m^2

Fs = 71,549 kN/m^2

Qs = *fs* x *l x* p

Qs = $fs \times l \times (\pi \times d)$

Qs = $171{,}603 \times 2 \times (\pi \times 0{,}6)$

Qs3 = 269,733 kN

4. Lapissan tanah kedalaman 8 - 10 m

   L = 2 m

   Nspt = 41

   Fs = 0,32 x Nspt

   = 0,32 x 41

   = 13,12 ton/m^2

   Fs = 128,663 kN/m^2

   Qs = *fs* x *l x* p

   Qs = $fs \times l \times (\pi \times d)$

   Qs = $128{,}663 \times 2 \times (\pi \times 0{,}6)$

   Qs4 = 485,048 kN

5. Lapissan tanah kedalaman 10 - 12 m

   L = 2 m

   Nspt = 47

   Fs = 0,32 x Nspt

   = 0,32 x 47

   = 15,04 ton/m^2

   Fs =147,492 kN/m^2

   Qs = *fs* x *l x* p

   Qs = $fs \times l \times (\pi \times d)$

   Qs = $128{,}663 \times 2 \times (\pi \times 0{,}6)$

   Qs5 = 556,032 kN

6. Qs total = Qs1 + Qs2 + Qs3 + Qs4 + Qs5

   = 328,988 +646,928 +269,733 +485,048 +556,032

   = 2286,729 kN

c. Kapasitas Dukung Tiang Bor

   Perhitungan kapasitas dukung tiang bor dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.12, dengan nilai faktor keamanan (SF=2) karena tidak terdapat pembesaran pada ujung tiang.

   Qu = Qb + Qs

   Qu = 909,742 + 2286,729

= 3131,683 kN

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

Qall = $\frac{3131,683}{2}$

Qall = 1565,841 Kn

Tabel 5.12 Rekapitulasi Perhitungan Metode Reese & Wright Berdasarkan Uji N-SPT

Variasi Diemensi (cm)	Qb (kN)	Qs (kN)	Qu (kN	Qall (kN)
40	404,330	1524,486	1900,021	950,011
60	909,742	2286,729	3131,683	1565,841
80	1617,319	3048,972	4551,112	2275,556

2. Metode Reese & Wright (tiang pondasi *existing*)

Untuk perhitungan daya dukung tiang pondasi *existing* dilakukan dengan metode Reese & Wright sebagai perbandingan dengan hasil desain dengan variasi diameter yang berbeda. tiang pondasi *existing* menggunakan tiang berdiameter 0,5 m dengan panjang 12 m. tahap perhitungan dapat dilihat sebgai berikut.

a. Tahanan Ujung Ultimit

1) Luas dasar tiang

D = 0,5 m

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

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

Ap = 0,196 m^2

2) Tahanan ujung persatuan luas

qp = 30 tsf (gambar 3.2)

qp = 3217,742 kN

3) Tahanan ujung ultimit

Qp = Ap x qp

Qp = 0,196 x 3217,742

Qp = 631,756 kN

b. Tahanan Gesek Ultimit

1. Lapissan tanah kedalaman 0 - 4 m

Pada tanah kohesif

L = 4 m

Fs = a. Cu

a = 0,55

Cu = $\frac{2}{3} \times Nspt \times 10$

Cu = $\frac{2}{3} \times 47 \times 10$

Cu = 79,333 kN/m^2

Fs = 0,55 x 79,333

Fs = 43,633 kN/m^2

Qs = $fs \times l \times p$

Qs = $fs \times l \times (\pi \times d)$

Qs = $43{,}633 \times 4 \times (\pi \times 0{,}5)$

Qs1 = 274,156 kN

2. Lapissan tanah kedalaman 4 - 6 m

L = 2 m

Nspt = 57

Fs = 1,6 tsf (dari Gambar 3.3)

Fs =171,603 kN/m^2

Qs = *fs* x *l x* p

Qs = $fs \times l \times (\pi \times d)$

Qs = $171{,}603 \times 2 \times (\pi \times 0{,}5)$

Qs2 = 539,107 kN

3. Lapissan tanah kedalaman 6 - 8 m

L = 2 m

Nspt = 22,8

Fs = 0,32 x Nspt

= 0,32 x 22,8

= 7,296 ton/m^2

Fs = 71,549 kN/m^2

Qs = *fs* x *l x* p

Qs = $fs \times l \times (\pi \times d)$

Qs = $171{,}603 \times 2 \times (\pi \times 0{,}5)$

Qs3 = 224,778 kN

4. Lapissan tanah kedalaman 8 - 10 m

L = 2 m

Nspt = 41

Fs = 0,32 x Nspt

= 0,32 x 41

= 13,12 ton/m^2

Fs = 128,663 kN/m^2

Qs = *fs* x *l x* p

Qs = $fs \times l \times (\pi \times d)$

Qs = $128{,}663 \times 2 \times (\pi \times 0{,}5)$

Qs4 = 404,207 kN

5. Lapissan tanah kedalaman 10 - 12 m

L = 2 m

Nspt = 47

Fs = 0,32 x Nspt

= 0,32 x 47

= 15,04 ton/m^2

Fs =147,492 kN/m^2

Qs = *fs* x *l x* p

Qs = $fs \times l \times (\pi \times d)$

Qs = $128{,}663 \times 2 \times (\pi \times 0{,}5)$

Qs5 = 463,36 kN

6. Qs total = Qs1 + Qs2 + Qs3 + Qs4 + Qs5

= 274,156 + 539,107+ 224,778 + 404,207 + 463,36

= 1905,61 kN

c. Kapasitas Dukung Tiang Bor

Perhitungan kapasitas dukung tiang bor dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.12, dengan nilai faktor keamanan (SF=2) karena tidak terdapat pembesaran pada ujung tiang.

Qu = Qb + Qs

Qu = 631,765 + 1905,61

= 2492,38 kN

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

Qall = $\frac{2492,38}{2}$

Qall = 1246,19 kN

Tabel 5.13 Rekapitulasi Perhitungan Tiang Pondasi *Existing*

Diameter (cm)	Qb (kN)	Qs (kN)	Qu (kN)	Qall (kN)
50	631,765	1905,61	2492,38	1246,19

3. Metode Meyerhof (1976)

A. Perhitungan Berdasarkan Uji Nspt

1. Kapasitas Dukung Ujung Tiang

Titk ujung tiang berada pada kedalam 12 m. nilai Nspt yang dipakai berdasarkan nilai rata-rata yang didapat dari 8 kali diameter diatas tiang dan 4 kali diameter dibawah tiang. Detail nilai N_{SPT} (rata-rata) dapat dilihat pada Tabel 5.13 sebagai berikut.

Tabel 5.14 Nilai N60(koreksi) Rata-Rata

Kedalaman (m)	N60' (koreksi)	N60'(rata-rata)
7,2	22,8	38,59
14,4	55	

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

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

Ap = 0,283 m^2

Fb = $0{,}4 \times N'60 \times \frac{L}{d} \times \sigma r \leq 3 \times N'60 \times \sigma r$

Fb = $0{,}4 \times 38{,}59 \times \frac{12}{0{,}6} \times 100 \leq 3 \times 38{,}59 \times 100$

Fb = $30871{,}111 \leq 11576{,}667$

Fb pakai = $11576{,}667$ kN/m^2

Qp = *fp* x Ap

Qp = 3273,225 kN

2. Kapasitas Dukung Selimt Tiang

1. Lapisan tanah kedalaman 0 - 4 m

L = 4 m

N60 = 11,9

As = $\pi \times D \times h$

= $\pi \times 0{,}6 \times 4$

= 7,54 m^2

Fs = $\frac{1}{100} \times \sigma r \times N60$

= $\frac{1}{100} \times 100 \times 11{,}9$

= 11,9

Qs1 = *fs* x As

= *11,9* x 7,54

= 89,724 kN

2. Lapisan tanah kedalaman 4 - 6 m

L = 2 m

N60 = 57

As = $\pi \times D \times h$

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

= 3,77 m^2

Fs = $\frac{1}{100} \times \sigma r \times N60$

= $\frac{1}{100} \times 100 \times 57$

= 57

Qs = *fs* x As

= *57* x 3,77

=214,885 kN

3. Lapisan tanah kedalaman 6- 8 m

L = 2 m

N60 = 22,8

As = $\pi \times D \times h$

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

= 3,77 m^2

Fs = $\frac{1}{100} \times \sigma r \times N60$

= $\frac{1}{100} \times 100 \times 22{,}8$

= 22,8

Qs3 = *fs* x As

= *22,8* x 3,77

= 85,954 kN

4. Lapisan tanah kedalaman 8 - 10 m

L = 2 m

N60 = 41

As = $\pi \times D \times h$

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

= 3,77 m^2

Fs = $\frac{1}{100} \times \sigma r \times N60$

= $\frac{1}{100} \times 100 \times 41$

= 41

Qs4 = *fs* x As

= *41* x 3,77

= 154,566 kN

5. Lapisan tanah kedalaman 10 - 12 m

L = 2 m

N60 = 47

As = $\pi \times D \times h$

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

= 3,77 m^2

Fs = $\frac{1}{100} \times \sigma r \times N60$

= $\frac{1}{100} \times 100 \times 47$

= 47

Qs5 = fs x As

= *47* x 3,77

=177,186 kN

6. Qs total = Qs1 + Qs2 + Qs3 + Qs4 + Qs5

= 89,724 +214,885+85,954 +154,566 +177,186

= 722,315 kN

3. Kapasitas Dukung Ultimit Tiang

Qu = Qp+Qs

= 3273,225+722,315

= 3995,540 kN

4. Kapasitas Dukung Izin Tiang Bor

SF = 2

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

= $\frac{3995{,}540}{2}$

= 1997,720 kN

Tabel 5.15 Rekapitulasi Metode Meyerhof Berdasarkan Uji N-SPT

Variasi Diemensi (cm)	Qp (kN)	Qs (kN)	Qu (kN	Qall (kN)
40	1621,061	481,543	2102,605	1051,302
60	3273,225	722,315	3995,540	1997,770
80	4611,858	963,087	5574,945	2787,472

B. Perhitungan Berdasarkan Uji Laboratorium

1. Kapasitas Dukung Ujung Tiang

ϕ = 44,57°

Nq $*$ = 126 (dari gambar)

$\sigma r'$ = $\Sigma Y \times h$

= $\Sigma(4 \times 14{,}818 + 6 \times 16{,}846 + 2 \times 15{,}886)$

= 192,119 kN/m^2

qp = $\sigma r' \times Nq * \leq 50 \times Nq * \times tan\phi$

= $192{,}119 \times 126 \leq 50 \times 126 \times \tan(44{,}57)$

= $24207{,}019 \leq 6206{,}14$

qp pakai = 6206,14

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

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

= 0,283 m^2

Qp = $qp \times Ap$

= $6206{,}14 \times 0{,}283$

= 1754,745 kN

2. Kapasitas Dukung Selimt Tiang

a. Lapisan tanah kedalaman 0 - 4 m

L = 4 m

ϕ = 38,57°

K = 1

P = $\pi \times D$

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

= 1,885 m^2

$\sigma r'$ = $h \times Y$

= 4 x 14,818

= 59,270

δ = $0{,}75 \times \phi$

= $0{,}75 \times 38{,}57°$

= 28,927

Fs = $K \times \sigma r' \times tan\delta$

= $1 \times 59{,}270 \times \tan(28{,}927)$

= 32,756 kN/m^2

Qs1 =$fs \times p \times l$

= $32{,}756 \times 1{,}885 \times 4$

= 246,975 kN

b. Lapisan tanah kedalaman 4 - 6 m

L = 2 m

ϕ = 40,95° =

P = $\pi \times D$

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

= 1,885 m^2

$\sigma r'$ = $h \times Y$

= 59,270+(2x16,846)

= 92,963

δ = $0{,}75 \times \phi$

= $0{,}75 \times 40{,}95°$

= 30,712

Fs = $K \times \sigma r' \times tan\delta$

= $1 \times 92{,}963 \times \tan(30{,}712)$

= 55,225

Qs2 =$fs \times p \times l$

= $55{,}225 \times 1{,}885 \times 2$

= 208,192 kN

c. Lapisan tanah kedalaman 6 - 8 m

L = 2 m

ϕ = 40,95° =

P = $\pi \times D$

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

= 1,885 m^2

$\sigma r'$ = $h \times Y$

= 92,963+(2x16,846)

= 126,655

δ = $0{,}75 \times \phi$

= $0{,}75 \times 40{,}95°$

= 30,712

Fs = $K \times \sigma r' \times tan\delta$

= $1 \times 126{,}655 \times \tan(30{,}712)$

= 75,240

Qs3 =$fs \times p \times l$

= $75{,}240 \times 1{,}885 \times 2$

= 283,647 kN

d. Lapisan tanah kedalaman 8 - 10 m

L = 2 m

ϕ = $40{,}95°$ =

P = $\pi \times D$

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

= 1,885 m^2

$\sigma r'$ = $h \times Y$

= 126,655+(2x16,846)

= 160,348

δ = $0{,}75 \times \phi$

= $0{,}75 \times 40{,}95°$

= 30,712

Fs = $K \times \sigma r' \times tan\delta$

= $1 \times 160{,}348 \times \tan(30{,}712)$

= 95,255

Qs4 =$fs \times p \times l$

= $95{,}255 \times 1{,}885 \times 2$

= 359,102 kN

e. Lapisan tanah kedalaman 10 - 12 m

L = 2 m

ϕ = 44,57°

K = 1

P = $\pi \times D$

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

= 1,885 m^2

$\sigma r'$ = $h \times Y$

= 160,348+(2x15,886)

= 192,119

δ = $0{,}75 \times \phi$

= $0{,}75 \times 44{,}57°$

= 33,428

Fs = $K \times \sigma r' \times tan\delta$

= $1 \times 192{,}119 \times \tan(33{,}428)$

= 126,812

Qs5 =$fs \times p \times l$

= $126{,}812 \times 1{,}885 \times 2$

= 478,068 kN

f. Qs total = $Qs1 + Qs2 + Qs3 + Qs4 + Qs5$

= $246{,}975 + 208{,}192 + 283{,}647 + 359{,}102 + 478{,}068$

= 1575,985 kN

3. Kapasitas Dukung Ultimit Tiang

Qu = Qb + Qs

= $1754{,}745 + 1575{,}985$

= 3330,730 kN

4. Kapasitas Dukung Izin Tiang Bor

SF = 2

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

= $\frac{3330{,}730}{2}$

= 1665,365 kN

Tabel 5.16 Rekapitulasi Perhitungan Metode Meyerhof Berdasarkan Uji Laboratorium

	Meyerhof Lab		
Diameter (cm)	40	60	80
Qp	779,89 kN	1754,74 kN	3119,55 kN
Qs	1050,66 kN	1575,985 kN	2101,31 kN
Qu	1830,54 kN	3330,73 kN	5220,86 kN
Qall	915,27 kN	1665,36 kN	2610,43 kN

5.6.2 Kapasitas Dukung Tiang Bor kelompok

Perhitungan kelompok tiang dapat dilakukan dengan motode Reese & Wright atau dengan metode Meyerhof. Berdasarkan data uji N-SPT dan Lab untuk menghitung kapasitas dukung kelompok tiang adalah sebagai berikut.

1. Tiang dengan Diameter 0,4 m

a. Jumlah tiang

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

$= \frac{3038,482}{950,011}$

$= 3,19 \quad \approx 4$ buah

b. Efisiensi kelompok tiang

m = 2

n = 2

s = 2,5

D = 0,4 m

$\theta = arctg(\frac{D}{s})$

$= arctg(\frac{0,4}{2,5})$

= 9,09

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

$=1 - 9,09 \frac{(2-1).2+(2-1).2}{90.2.2}$

= 0,899

c. Kapasitas dukung tiang kelompok

N = 4 tiang

Qg = Eg × n × Qall

= 0,899 × 4 × 950,011

= 3416,23 kN

2. Tiang dengan Diameter 0,6 m

a. Jumlah tiang

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

$= \frac{3038,482}{1565,841}$

= 1,94 ≈ 4 buah

Untuk melakukan perbandingan besarnya kapasitas dukung kelompok tiang dengan diameter 0,4 maka diambil jumlah tiang yang sama yaitu 4 tiang.

b. Efisiensi kelompok tiang

m = 2

n = 2

s = 2,5

D = 0,6 m

θ $= arctg(\frac{D}{S})$

$= arctg(\frac{0,6}{2,5})$

= 13,496

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

$= 1 - 13,496 \frac{(2-1).2+(2-1).2}{90.2.2}$

= 0,850

c. Kapasitas dukung tiang kelompok

N = 4 tiang

Qg = Eg × n × Qall

= 0,850 × 4 × 1565,841

= 5324,157 kN

3. Tiang dengan Diameter 0,8 m

a. Jumlah tiang

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

$= \frac{3038,482}{2275,556}$

= 1,33 ≈ 4 buah

b. Efisiensi kelompok tiang

m = 2

n = 2

s = 2,5

D = 0,8 m

θ $= arctg(\frac{D}{S})$

$= arctg(\frac{0,8}{2,5})$

= 17,744

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

$= 1 - 17,744 \frac{(2-1).2+(2-1).2}{90.2.2}$

= 0,803

c. Kapasitas dukung tiang kelompok

N = 4 tiang

Qg = Eg × n × Qall

$= 0,850 \times 4 \times 2275,556$

$= 7307,602$ kN

4. Tiang dengan Diameter 0,5 m (pondasi tiang *existing*)

a. Jumlah tiang

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

$= \frac{3038,482}{1246,19}$

= 2,44 ≈ 5 tiang

b. Efisiensi kelompok tiang

m = 2

n = 2

s = 2,5

D = 0,5 m

θ = $arctg(\frac{D}{S})$

= $arctg(\frac{0,5}{2,5})$

= 11,309

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

= $1 - 11,309 \frac{(2-1).2+(2-1).2}{90.2.2}$

= 0,853

c. Kapasitas dukung tiang kelompok

N = 4 tiang

Qg = Eg × n × Qall

= 0,850 × 4 × 1246,19

= 5317,43 kN

Tabel 5.17 Rekapitulasi Perhitungan Kapasitas Dukung Tiang Kelompok

Metode	Dimensi (cm)	Kapasitas Dukung Tiang Kelompok (Qg) (kN)
Reese & Wright (N-SPT)	40	3416,226
	60	5324,158
	80	7307,602
Meyerhof (N-SPT)	40	3780,471
	60	6792,797
	80	8951,543

Meyerhof (Lab)	40	3591,306
	60	5662,557
	80	8383,000
Reese & Wright (tiang existing)	50	5317,431

5.6.3 Analisis Distribusi Beban ke Setiap Tiang Bor

Analisis distribusi beban ke setiap tiang dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$pi = \frac{\Sigma pt}{n} \pm \frac{\text{My. Xi}}{\Sigma x^2} \pm \frac{\text{Mx. yi}}{\Sigma y^2}$$

Beban aksial (P) = 3038,482 kN

Berat *Pilecap (W)* $= (B \times H \times t)y$

$= (2{,}7 \times 2{,}7 \times 1)24$

= 174.960 kg

Berat tiang $= \left(\frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times t\right) \times y \times n\ tiang$

$= \left(\frac{1}{4} \times \pi \times 0{,}6^2 \times 1\right) \times 24 \times 4$

= 325,720 kg

Berat total (pt) = P+ W + berat tiang

= 3038,482 + 174.960 + 325,720

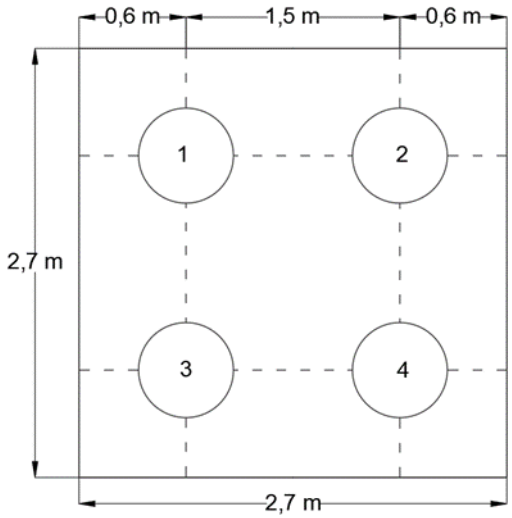
= 3539.162 kg

Berdasarkan pedoman dari Dirjen Bina Marga Departemen P.U.T.L, jarak antara tiang disarankan berada dalam rentang 2,5 ≤ S ≤ 3D. Oleh karena itu, pada analisis ini digunakan jarak sebesar 2,5D. Skema susunan tiang bor dapat dilihat pada Gambar 5.8 sebagai berikut.

S $= 2{,}5 \times D$

$= 2{,}5 \times 0{,}6$

= 1,5 m



Gambar 5.8 Susunan Tiang Bor Diameter 0,6 m

N tiang = 4 buah

Absis tiang pada inti *pilecap:*

m = 2 buah (jumlah tiang arah sumbu x)

n = 2 buah (jumlah tiang arah sumbu y)

x = 0,75 m

y = 0,75 m

Σx^2 = 2 x $(0,75)^2$

= 1,125 m

Σy^2 = 2 x $(0,75)^2$

= 1,125 m

Mx = 356,545 kN.m (hasil dari program ETABS)

My = 377,782 kN.m (hasil dari program ETABS)

Pi = $\frac{\Sigma pt}{n} + \frac{\text{My.Xi}}{\Sigma x^2} + \frac{\text{Mx.yi}}{\Sigma y^2}$

P2 = $\frac{3539,162}{4} + \frac{377,782 \times 0,75}{1,125} + \frac{356,545 \times 0,75}{1,125}$

= 1374,34 kN

P4 = $\frac{3539,162}{4} + \frac{377,782 \times 0,75}{1,125} + \frac{356,545 \times (-0,75)}{1,125}$

= 898,948 kN

Tabel 5.18 Analisis Distribusi Beban Tiap Tiang Bor

No Tiang	m	n	x (m)	y (m)	x^2 (m)	y^2 (m)	Mx (kN.m)	My (kN.m)	Pi (kN)
1	2	2	-0,75	0,75	1,125	1,125	356.5	377.7	870,63
2	2	2	0,75	0,75	1,125	1,125	356.5	377.7	1374,34
3	2	2	-0,75	-0,75	1,125	1,125	356.5	377.7	395,24
4	2	2	0,75	-0,75	1,125	1,125	356.5	377.7	898,95

5.6.4 Analisis Kekuatan Tiang Bor

Mutu beton K-300 digunakan untuk tiang dengan diameter 0,6 dan panjang 12 m, keunggulan dalam tiang bor mampu diukur dengan Persamaan berikut:

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

Dengan:

P = 1374,34 kN

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

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

= 0,283 m^2

$\sigma = \frac{1374{,}34}{0{,}283}$

= 4860,741 kNn/m^2

= 49,55 kg/cm^2

$\sigma ijin$ = K-300

= 300 x 0,83

= 249 kg/cm^2

σ = 49,55 $kg/cm^2 < \sigma ijin$ = 249 kg/cm^2 aman

Tabel 5.19 Analisis Kekuatan Tiang Bor

No Tiang	Pi (kN)	A (m^2)	σ (kg/cm^2)	Σizin (kg/cm^2)	Keterangan
1	870,63	0,283	31,39	< 249	aman
2	1374,34	0,283	49,55	< 249	aman
3	395,24	0,283	14,25	< 249	aman
4	898,95	0,283	32,41	< 249	aman

5.6.5 Analisis Penurunan Tiang Bor

Penurunan tiang dipengaruhi oleh mekanisme transfer beban, sehingga penyelesainnya adalah pendekatan penurunan. Perhitungan penurunan untuk pondasi tiang tunggal dapat diselesaikan dengan metode empiris, yang dihitung menggunakan Persamaan 3.21. perhitungannya adalah seperti dibawah ini.

A. Tiang dengan diameter 0,6 m

1. Penurunan Tiang Bor Tunggal

D = 0,6 m

L = 12 m

Q = 3539,162 Mpa

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

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

= 0,283 m^2

Ep $= 4700 \times \sqrt{fc'}$

$= 4700 \times \sqrt{26{,}4}$

= 24149,037 Mpa

=24149037,25 kN/m^2

S $= \frac{D}{100} + \frac{Q \times Li}{Ap \times Ep}$

$= \frac{0{,}6}{100} + \frac{3539{,}162 \times 12}{0{,}283 \times 24149037{,}25}$

= 0,0122 m

2. Penurunan Tiang Kelompok

S = 0,0122 m

Bg $= (m-1)d + (2\left(\frac{D}{2}\right))$

$= ((2-1) \times (2{,}5 \times 0{,}6)) + (2\left(\frac{0{,}6}{2}\right))$

Bg = 2,1 m

Sg $= S \times \sqrt{\frac{Bg}{D}}$

$= 0{,}012 \times \sqrt{\frac{2{,}1}{0{,}6}}$

= 0.0229 m

B. Tiang dengan diameter 0,5 m (tiang *existing*)

1. Penurunan Tiang Bor Tunggal

D = 0,5 m

L = 12 m

Q = 3496,185 Mpa

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

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

= 0,196 m^2

Ep $= 4700 \times \sqrt{fc'}$

$= 4700 \times \sqrt{26{,}4}$

= 24149,037 Mpa

=24149037,25 kN/m^2

S $= \frac{D}{100} + \frac{Q \times Li}{Ap \times Ep}$

$= \frac{0{,}5}{100} + \frac{3496{,}185 \times 12}{0{,}196 \times 24149037{,}25}$

= 0,0138 m

2. Penurunan Tiang Kelompok

S = 0,0138 m

Bg $= (m-1)d + (2\left(\frac{D}{2}\right))$

$= ((2-1) \times (2{,}5 \times 0{,}5)) + (2\left(\frac{0{,}5}{2}\right))$

Bg = 1,75 m

Sg $= S \times \sqrt{\frac{Bg}{D}}$

$= 0{,}0138 \times \sqrt{\frac{1{,}75}{0{,}5}}$

= 0.0259 m

Tabel 5.20 Hasil Rekapitulasi Penurunan Tiang

	Penurunan Tiang (m)			Tiang *existing*
Diameter (cm)	40	60	80	50
S	0,0173	0,0122	0,0117	0,0138
Sg	0,0323	0,0229	0,0220	0,0259

5.7 Analisis Fondasi Tiang dengan Program *PLAXIS* 2D V20

Analisis program PLAXIS 2D adalah bentuk simulasi pembabanan pada fondasi tiang seperti keadaan dilapangan. Dimana pada proyek gedung laboratorium ini menggunakan tiang pancang sedangkan peneliti mencoba mendesain ulang dengan pondasi tiang bor dengan dimensi 40 cm, 60 cm, san 90 cm dengan panjang 12 m dengan dibebani oleh kolom utama diatasnya sebesar 3038,482 kN (hasil ETABS).

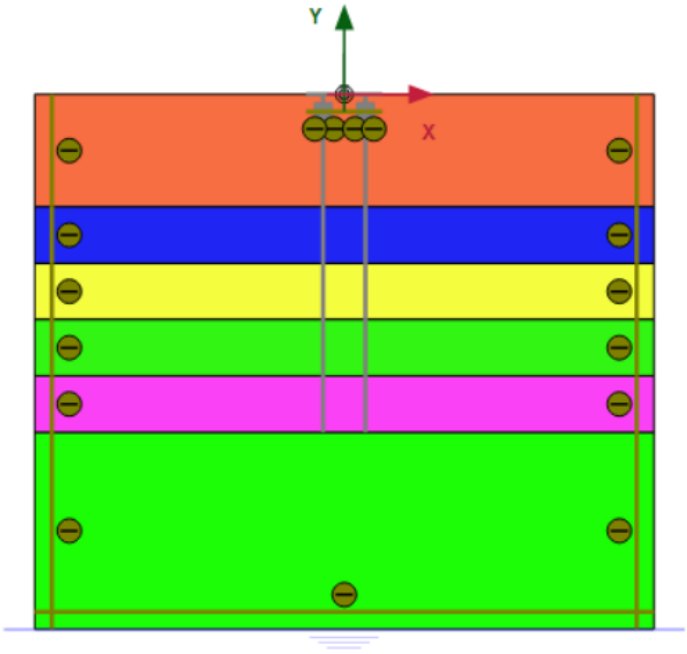
Berikut adalah tahapan-tahapan dalam menganalisis menggunakan program PLAXIS 2D v20.

1. Pemodelan geometri stuktur.

   Pemodelan struktur melibatkan penataan tiang dan jarak antartiang, dengan data tanah yang diperoleh dari hasil pengujian bor di titik 1 (BM1). Untuk memodelkan struktur pondasi dan *pilecap*, digunakan model bahan pelat, yang kemudian diterapkan pada *node* yang sudah ditentukan, dengan gambaran pondasi hingga kedalaman 12 m. Pada pembebanan, digunakan beban titik. Contoh model dengan variasi dimensi 0,6 m tersedia pada Gambar 5.9. Model material yang diterapkan adalah model Mohr-Coulomb, dengan parameter-parameter tanah termasuk berat isi jenuh dan tak jenuh (ɣsat dan ɣunsat), modulus elastisitas (modulus young), angka Poisson (v), kohesi (c), dan sudut geser (ϕ). Nilai modulus young dirujuk dari buku Mekanika Tanah II (Hardiyatmo) yang dicantumkan pada Tabel 3.6 dan Tabel 3.7

2. Input data material yang digunkan sebagai berikut.
   a. Model geometri

      Analisis pondasi menggunakan model regangan geometri dengan 15 nodal. Penampang geometri adalah penampang melintang dengan pembebanan yang diterapkan tegak lurus terhadap penampang (arah z). Satuan yang digunakan untuk panjang, gaya, dan waktu adalah meter (m), kilonewton (kN), dan hari. Sebelum melakukan pemodelan dengan PLAXIS 2D, dilakukan konversi bentuk pondasi eksisting di lapangan ke dalam bentuk dua dimensi. Konversi ini meliputi penentuan diameter dan luas pondasi baru. Setelah konversi selesai, pemodelan pondasi eksisting menggunakan program PLAXIS 2D dapat dilaksanakan. Contoh tampilan pemodelan dapat dilihat pada Gambar 5.10.



Gambar 5.10 Geometri Struktur Dan Letak Muka Aiar Tanah

   b. Material tanah yang dipakai

      Parameter tanah yang digunakan untuk input material tanah dan struktur pondasi pada PLAXIS tertera di Tabel 5.21 dan Tabel 5.22 serta Tabel 5.23. Proses *input* material tanah dan struktur dapat dilakukan dengan mudah

menggunakan metode drag and drop, yaitu dengan menarik material tanah atau struktur langsung ke dalam profil struktur atau kluster.

Tabel 5.21 Data *input soil properties*

No.	Data *input*	Lapisan 1	Lapisan 2	Lapisan 3	Lapisan 4	Lapisan 5	Lapisan 6
1.	γsat	15,222 kN/m^3	16,908 kN/m^3	16,908 kN/m^3	16,908 kN/m^3	17,582 kN/m^3	17,582 kN/m^3
2.	γunsat	14,818 kN/m^3	16,846 kN/m^3	16,846 kN/m^3	16,846 kN/m^3	15,886 kN/m^3	15,886 kN/m^3
3.	*E*	20000 kN/m^2	42500 kN/m^2	100000 kN/m^2	100000 kN/m^2	200000 kN/m^2	200000 kN/m^2
4.	*v*’	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
5.	*c*	10,689 kN/m^2	18,142 kN/m^2	18,142 kN/m^2	18,142 kN/m^2	16,966 kN/m^2	16,966 kN/m^2
6.	ϕ	38,57 °	40,95 °	40,95 °	40,95 °	44,57 °	44,57 °

Tabel 5.22 Data *Input Pile Properties* dengan *Embeded Beam*

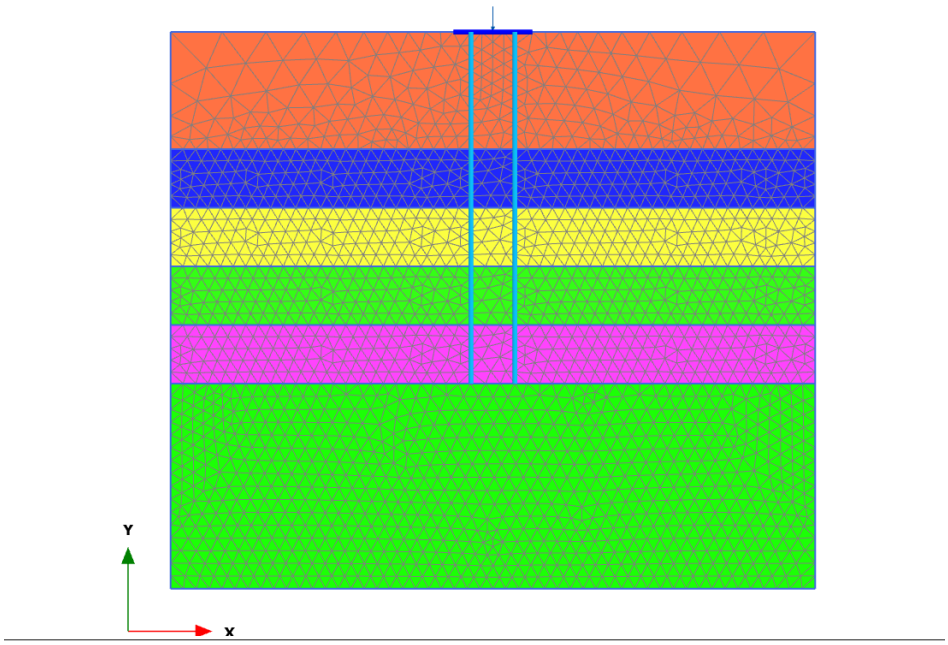
Data		
No.	Data *input* pile properties	Nilai
1.	γsat	24 kN/m^3
2.	γunsat	24 kN/m^3
3.	*E* (Modulus Elatisitas)	24149037,25 kN/m^2
4.	*v* (*Poisson ratio*)	0,3

Tabel 5.23 Data *Input Pilecape*

Data		
No.	Data *input pilecap*	Nilai
1.	γbeton	24 kN/m^3
2.	γunsat	14,818 kN/m^3
3.	*E* (Modulus Elatisitas)	24149037,25 kN/m^2
4.	W (massa pilecap)	9,18 kN/m
5.	H (Tebal pilecap)	1 m
6	I (inersia)($\frac{1}{12} \times b \times h^3$)	0,083 m^4
7.	EA ($Eref \times area\ pilecap$)	24149037,25 m^2
8.	EI ($Eref \times inersia$)	2012419,771 m^4

c. Penyusun jaringan elemen

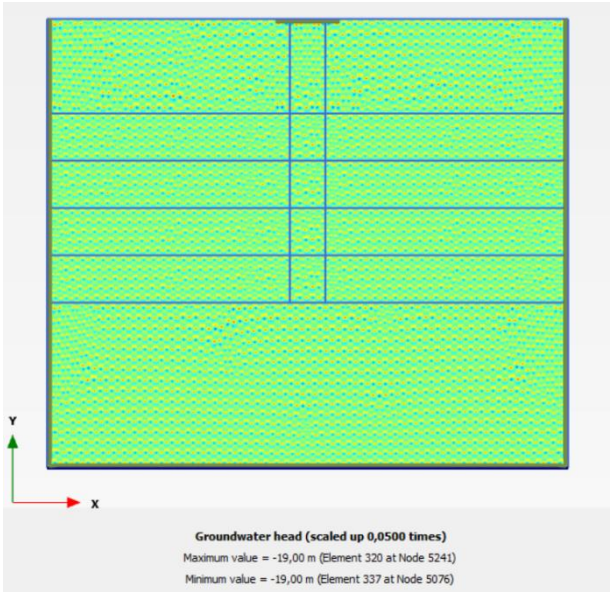
Setelah menentukan model geometri secara detail dan menerapkan sifat material ke seluruh kluster dan struktur objek, langkah berikutnya adalah membagi geometri menjadi elemen-elemen untuk perhitungan elemen hingga. Penyusunan jaringan elemen dapat dilakukan dengan mengklik generate mesh pada toolbar. PLAXIS akan secara otomatis menghasilkan jaringan elemen dan antarmuka yang kompatibel dengan jenis elemen tanah yang digunakan. Tampilan hasil penyusunan jaringan elemen dapat dilihat pada Gambar 5.11.



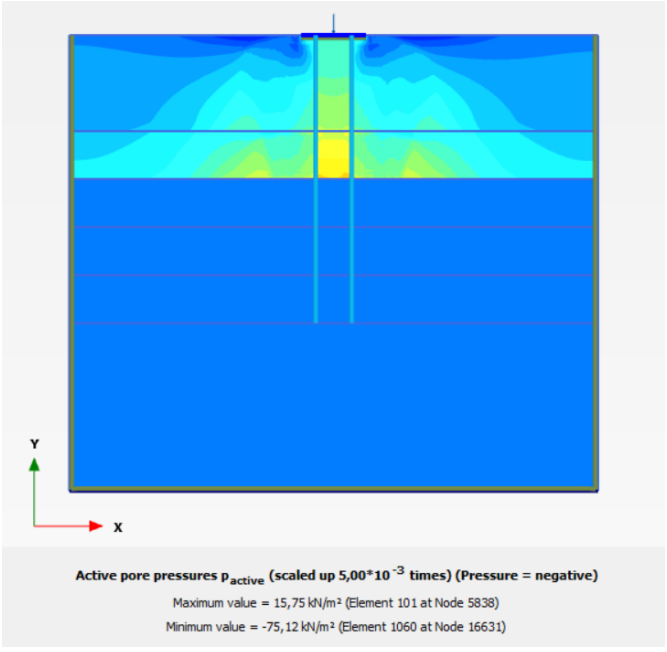
Gambar 5.11 Hasil Penyusunan Jaringan Elemen

d. Kondisi awal

Dalam kondisi awal (Initial Condition), berat jenis air diatur sebesar 10 kN/m³. Tekanan air penuh merupakan tekanan hidrostatik yang dihitung berdasarkan garis air tanah global. Selanjutnya, PLAXIS digunakan untuk menentukan posisi muka air, yang penting untuk analisis tegangan efektif di mana ada perbedaan yang signifikan antara tekanan air pori aktif dan tegangan efektif. Setelah menentukan posisi muka air, klik tombol generate water pressure untuk menghitung tekanan air. Contoh penentuan posisi muka air tanah dan tekanan air dapat dilihat pada Gambar 5.12 dan Gambar 5.13. untuk lebih jelas bisa dilihat pada Lampiran 5 Hasil Perhitungan PLAXIS.



Gambar 5.12 Kondisi Awal Pondasi dan Letak Muka Air Tanah



Gambar 5.13 Tekanan Air Pori saat Beban Aktif

3. Melakukan perhitungan

   Proses perhitungan terbagi dalam 4 tahapan, termasuk tahap tegangan awal (initial phase), tahap instalasi pondasi dan pemasangan pilecap, tahap instalasi

gaya aksial, dan tahap penentuan faktor keamanan. Setiap tahapan perhitungan memiliki parameter yang telah ditentukan.

a. Tahap tegangan awal (*initial phase*)

   Yaitu merupakan fase perhitungan tegangan awal dengan metode gravitasi untuk menginisialisasi tegangan geostatik. Caranya adalah tambahkan fase pada *phase explorer*, lalu pilih tipe *calcilation type* (*gravity load*), kemuduan klik ok. Selanjtnya pada *model explorer* aktifkan material tanah, kondisi batas (*boundary conditions*), dan muka air tanah

b. Tahap beban pondasi dan *pilecap*

   Fase kedua yaitu ketika beban akibat instalasi pondasi dan *pilecap* diaktifkan. Caranya adalah tambahkan fase pada *phase explorer,* lalu pilih tipe perhitungan *plastic analysis*, kemudian klik ok. Selanjutnya pada *model explorer* aktifkan tiang pondasi dan pelat *pilecap*

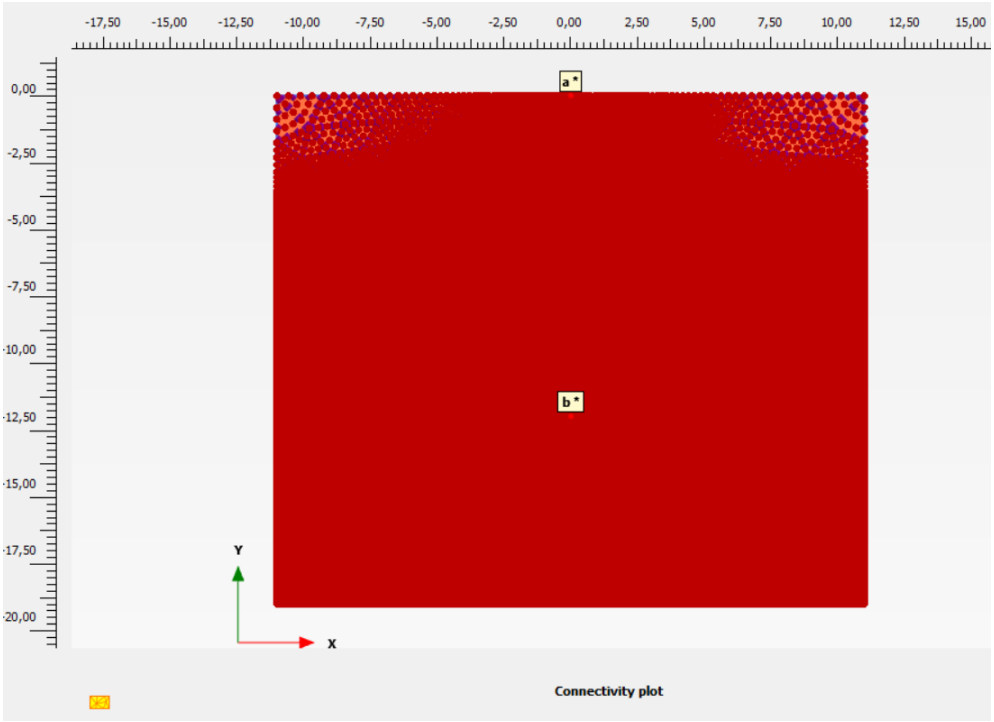
c. Tahap beban gaya aksial

   Fase ketiga yaitu saat beban akibat gaya aksial (p) dari struktur gedung. Pertama tambahkan fase pada *phase explorer,* lalu pilih tipe perhitungan *plastic analysis*, kemudian klik ok. Selajutnya pada *model explorer* aktifkan beban aksial *point loads.*

d. Faktor angka keamanan

   Fase keempat yaitu perhitungan faktor keamanan pondasi dengan mengaktifkan semua atribute tahapan fase sebelumnya dengan cara menambahkan fase pada *phase explorer,* kemudian pilih tipe perhitungan *safety factor*, kemudian klik ok.

Sebelum perhitungan dilakukan, perlu dipilih titik kurva yang berguna untuk mengetahui penurunan dan pembebanan yang terjadi. Gambar penentuan letak titik kurva bisa dilihat pada Gambar 5.14 sebagai berikut.



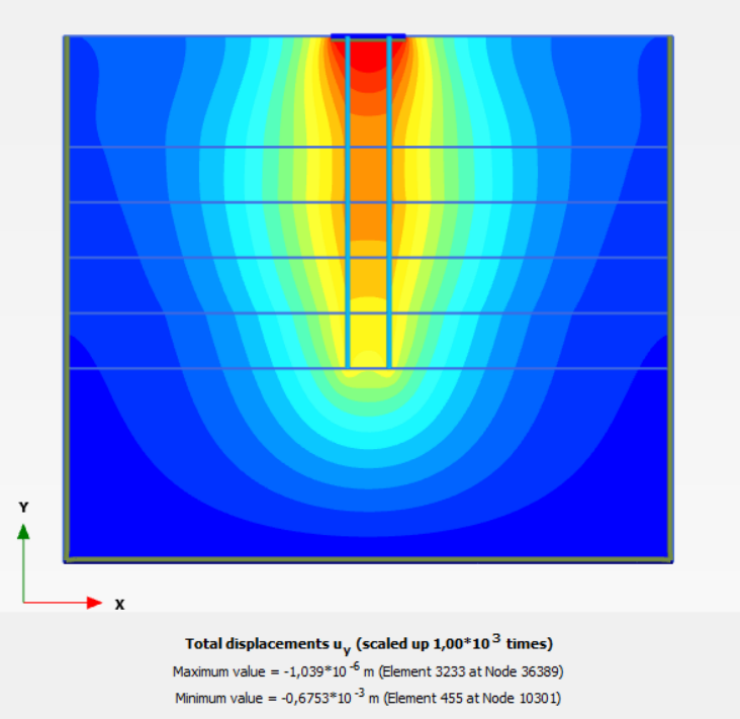
Gambar 5.14 Penentuan Letak Titik Kurva

4. Hasil analisis data

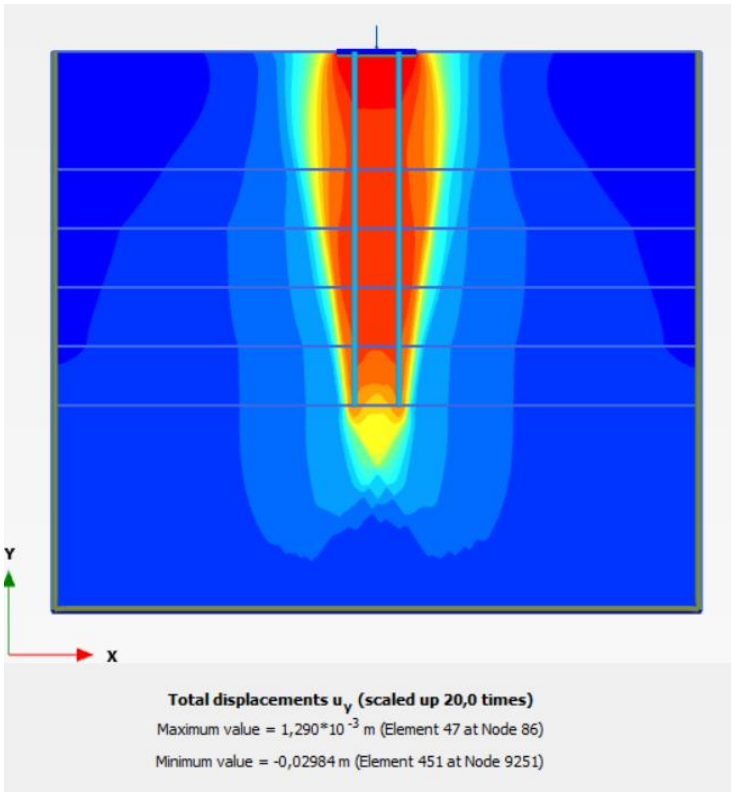
   Output dari analisis di Plaxis 2D V20 mencakup berbagai parameter, termasuk hasil penurunan dan faktor keamanan.

   1. Hasil Penurunan: Output hasil penurunan menunjukkan perubahan ketinggian atau pergerakan tanah di sepanjang struktur atau area tertentu. Ini penting untuk menilai deformasi tanah yang mungkin terjadi akibat beban struktural atau perubahan lingkungan. Hasil penurunan ini biasanya disajikan dalam bentuk grafik atau laporan numerik, memungkinkan peneliti untuk mengevaluasi dampaknya terhadap struktur terkait.
   2. Faktor Keamanan: Faktor keamanan (*safety factor*) mengukur sejauh mana suatu struktur atau sistem aman dari kegagalan. Dalam konteks Plaxis 2D v20, faktor keamanan umumnya digunakan untuk menilai stabilitas dinding penahan tanah, pondasi, atau struktur geoteknik lainnya terhadap berbagai kondisi beban dan geoteknik. Faktor keamanan yang lebih tinggi menunjukkan bahwa struktur tersebut lebih stabil dan memiliki margin keamanan yang lebih besar terhadap kegagalan.

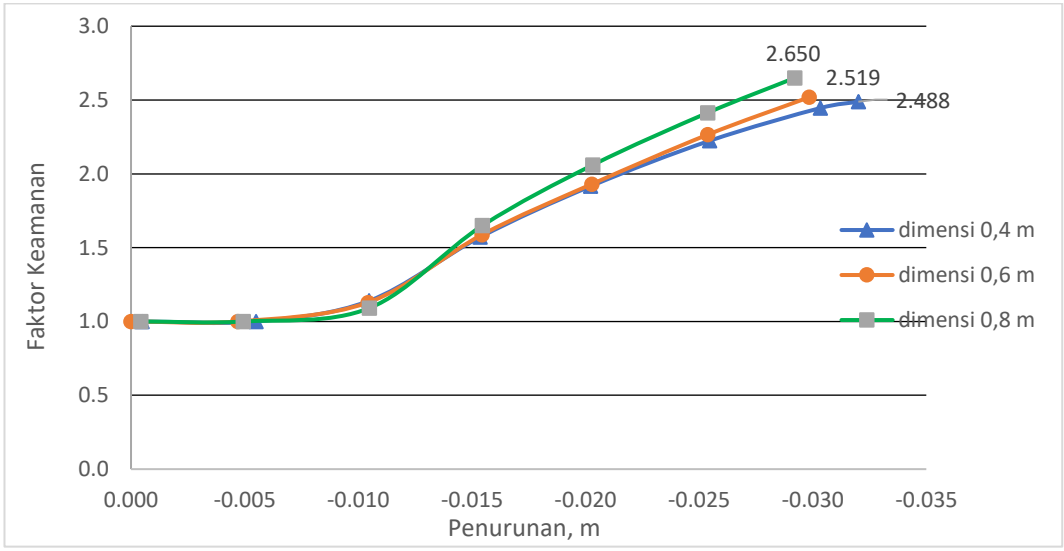
Kedua output ini sangat penting dalam perencanaan dan perancangan struktur geoteknik. Mereka membantu peneliti memahami perilaku tanah serta interaksi antara struktur dan tanah, memastikan bahwa desain yang dihasilkan aman dan memenuhi persyaratan teknis. Untuk mengevaluasi besarnya penurunan akibat beban yang terjadi, hasil kurva analisis dari program Plaxis 2D dengan kedalaman muka air tanah -19 m dan variasi dimensi 0,6 m dapat dilihat pada Gambar 5.15 dan Gambar 5.16. untuk lebih jelas dapat dilihat pada Lampiran 5.



Gambar 5.15 Jaringan Terdeformasi pada Tahap Pemasangan Pondasi dan *Pilecap*



Gambar 5.16 Jaringan Elemen Terdeformasi pada Tahap Pembebanan



Gambar 5.17 Kurva *Displacement vs Safety Factor* pada PLAXIS 2D

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.17 di atas, penurunan yang dihasilkan oleh PLAXIS 2D menunjukkan total penurunan sebesar 0,030 m dengan faktor

keamanan sebesar 2,519. Rekapitulasi nilai penurunan untuk setiap variasi dimensi dapat dilihat pada Tabel 5.21 sebagai berikut.

Tabel 5.24 Rekapitulasi Angka Penurunan Hasil Kalkulasi PLAXIS 2D

Variasi Dimensi *Bored Pile*	Penurunan Plaxis 2D
0,4 m	0,032 m
0,6 m	0,030 m
0,8 m	0,029 m

Dari hasil ringkasan besar nilai penurunan menggunakan program PLAXIS 2D, dapat dilihat bahwa semakin besar diameter yang digunakan, maka penurunan yang terjadi akan semakin kecil. Secara umum, ketika luas area pondasi tiang bor semakin besar, tekanan dan penurunan yang dihasilkan juga akan semakin berkurang. Ini disebabkan oleh pengaruh dimensi pondasi tiang dalam distribusi tegangan tanah akibat beban vertikal dan momen pada pembebanan eksentris.
Selain melakukan perhitungan penurunan tiang bor, program PLAXIS 2D juga dapat menghitung faktor keamanan dan daya dukung pondasi tiang. Berdasarkan analisis yang terlihat pada Gambar 5.17, nilai Σ-Msf= 2,519, yang dapat digunakan untuk menentukan nilai daya dukung ultimit tiang bor (Qu) dengan Persamaan berikut.

$$Qall = Pall = \frac{Qu}{\Sigma Msf}$$

$$Qu = Pall \times \Sigma Msf$$

$$Qu = 3038{,}482 \times 2{,}519$$

$$Qu = 7653{,}94 \text{ kN}$$

Dengan:

Qall=Pall = daya dukung izin tiang = 3038,4821 kN

Qu = daya dukung ultimit (kN)

ΣMsf = hasil bagi dari parameter kekuatan sebenarnya terhadap Parameter kekuatan yang telah direduksi

hasil rekapitulasi kapasitas daya dukung tiang bor dengan variasi dimensi dengan program PLAXIS 2D v20 dapat dilihat pada Tabel 5.22 sebagai berikut.

Tabel 5.25 Rekapitulasi Kapasitas Dukung Dengan Program Plaxis

Diameter (m)	ΣMsf	Daya dukung ultimit (Qu) (kN)
0,4	2,488	7559,74
0,6	2,519	7653,94
0,8	2,650	8051,98

BAB VI
PEMBAHASAN

6.1 Pembahasan

Perencanaan pondasi tiang bor berfungsi untuk menyediakan dukungan struktural yang stabil bagi gedung laboratorium Universitas Tidar Magelang. Pondasi tiang bor dirancang untuk mendistribusikan beban struktural secara efektif ke dalam tanah di bawahnya. tiang bor juga dirancang untuk memberikan dukungan yang optimal dan mencegah terjadinya kegagalan struktural.

Tujuan perencanaan pondasi tiang bor adalah untuk membandingkan kinerja dan efektivitasnya dengan pondasi tiang pancang yang sudah ada di lapangan. Hal ini bertujuan untuk mengevaluasi apakah penggunaan tiang bor dapat menjadi alternatif yang lebih efisien dan ekonomis.

Tujuan lain dari perencanaan ini adalah untuk menganalisis variasi dimensi tiang bor, termasuk dimensi 40 cm, 60 cm, dan 80 cm. Analisis ini bertujuan untuk memahami bagaimana variasi dimensi tersebut mempengaruhi kinerja pondasi dalam mendukung struktur gedung laboratorium.

Output dari perencanaan pondasi tiang bor ini adalah untuk memberikan rekomendasi desain pondasi tiang bor yang optimal berdasarkan analisis yang dilakukan. Rekomendasi ini harus mempertimbangkan efisiensi konstruksi, biaya, dan kinerja struktural agar dapat menghasilkan pondasi yang handal dan ekonomis bagi Gedung Laboratorium Universitas Tidar Magelang.

6.2 Hasil Analisis Struktur Program ETABS

Output program ETABS berupa beban aksial (P), momen arah x (Mx), dan momen arah y (My). Beban aksial merupakan gaya aksial atau gaya tekan yang bekerja pada elemen struktur, seperti kolom atau tiang. Sedangkan momen adalah gaya rotasi yang bekerja pada elemen struktur baik sepanjang arah sumbu x maupun serah sumbu y.

Pada output/hasil ETABS, didapatkan nilai maksimum gaya karena kombinasi beban, yakni:

Gaya aksial (P) = 3038,482 kN

Momen (Mx) = 356,545 kN.m

Momen (My) = 377,782 kN.m

Output dari program ETABS menunjukkan gaya maksimum pada kolom dasar yang akan digunakan sebagai beban rencana dalam analisis pondasi tiang bor.

6.3 Perbandingan Kapasitas Dukung Pondasi Tiang Bor Tunggal

Perhitungan kapasitas dukung fondasi tiang bor sebaiknya dilakukan dengan membandingkan diameter 40 cm, 60 cm, dan 80 cm terhadap fondasi tiang bor yang ada, yaitu dengan diameter 50 cm di proyek ini. Tujuannya adalah untuk mengambil kesimpulan dari hasil analisis kapasitas dukung fondasi tiang. Dalam analisis ini, Kapasitas dukung fondasi dihitung dengan menggabungkan tahanan ujung dan gesekan permukaan tiang. Informasi lebih detail dapat ditemukan di Tabel 6.1 berikut ini.

Tabel 6.1 Rekapitulasi Analisis Kapasitas Dukung Ultimit Tiang Pondasi

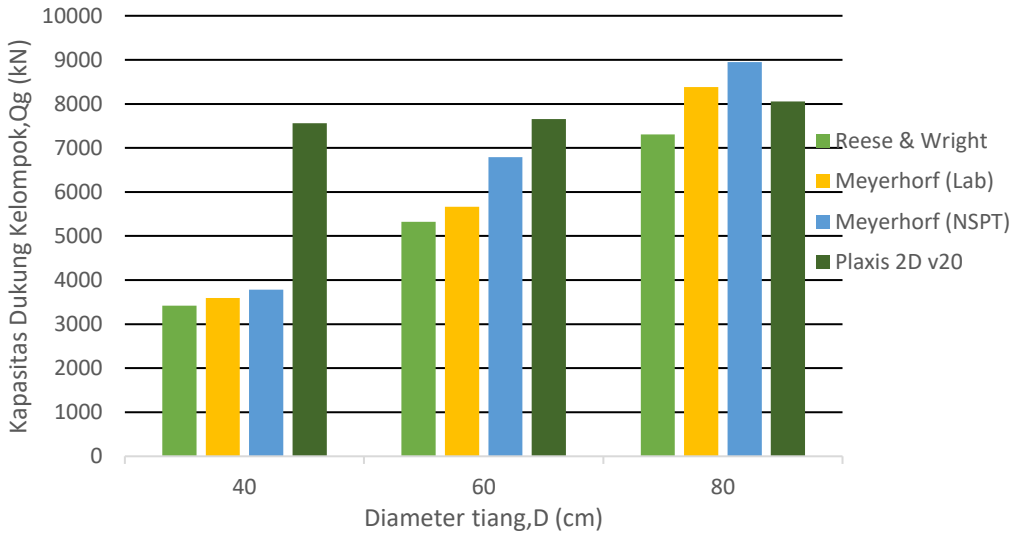
Metode	Dimensi (cm)	Qp (kN)	Qs (kN)	Qu (kN)
Reese O Neil (N-SPT)	40	404,33	1524,48	1900,02
	60	909,74	2286,73	3131,68
	80	1617,31	3048,97	4551,11
Meyerhof (N-SPT)	40	1621,06	481,54	2102,60
	60	3273,22	722,315	3995,54
	80	4611,86	963,09	5574,94
Meyerhof (Lab)	40	779,89	1050,66	1830,54
	60	1754,74	1575,98	3330,73
	80	3119,55	2101,31	5220,86
Existing	50	631,765	1905,61	2492,38

6.4 Perbandingan Kapasitas Dukung Kelompok Tiang

Analisis kapasitas dukung kelompok tiang dilakukan menggunakan beberapa pendekatan, termasuk metode Meyerhof berdasarkan data lapangan (SPT), metode Meyerhof dengan pengujian laboratorium, metode Reese & Wright, serta metode elemen hingga menggunakan PLAXIS 2D. Berdasarkan hasil analisis, kapasitas dukung kelompok tiang dari metode Meyerhof dengan data lapangan dan laboratorium menunjukkan hasil yang hampir seragam. Hasil analisis menggunakan PLAXIS menunjukkan kapasitas dukung pondasi tiang kelompok yang lebih tinggi dibandingkan ketiga metode lainnya. Dari analisis kapasitas dukung pondasi tiang tunggal, diperoleh empat tiang yang memberikan variasi kapasitas dukung kelompok tiang. Rangkuman hasil analisis kapasitas dukung fondasi tiang bor dapat dilihat pada Tabel 6.2 dan Gambar 6.1.

Tabel 6.2 Rekapitulasi Analisis Kapasitas Dukung Kelompok Tiang Bor

Metode	Dimensi (cm)	P (kN)	Pt (kN)	Qu (kN)	SF	Qall (kN)	N (tiang)	Eg	Qg (kN)	Cek
Reese & Wright (N-SPT)	40	3038,482	3358,207	1900,02	2	950,010	4	0,898	3416,226	aman
	60	3038,482	3539,162	3131,68	2	1565,841	4	0,850	5324,158	aman
	80	3038,482	3792,500	4551,11	2	2275,556	4	0,803	7307,602	aman
Meyerhof (N-SPT)	40	3038,482	3358,207	2102,60	2	1051,303	4	0,898	3780,471	aman
	60	3038,482	3539,162	3995,54	2	1997,770	4	0,850	6792,797	aman
	80	3038,482	3792,500	5574,94	2	2787,472	4	0,803	8951,543	aman
Meyerhof (Lab)	40	3038,482	3358,207	1830,54	2	915,272	4	0,898	3591,306	aman
	60	3038,482	3539,162	3330,73	2	1665,365	4	0,850	5662,557	aman
	80	3038,482	3792,500	5220,86	2	2610,43	4	0,803	8383,00	aman
Program PLAXIS 2D	40	3038,482	3358,207	7559,74	2	3779,871	4	0,898	7559,74	aman
	60	3038,482	3539,162	7653,94	2	3826,968	4	0,850	7653,94	aman
	80	3038,482	3792,500	8051,98	2	4025,988	4	0,803	8051,98	aman
Existing	50	3038,482	3496,185	2492,38	2	1246,190	5	0,853	5317,431	aman



Gambar 6.1 Perbandingan Kapasitas Dukung Pondasi Tiang Kelompok

Pondasi dianggap stabil jika kapasitas dukung kelompok tiang (Qg) lebih besar dari beban yang diterima oleh pondasi. Berdasarkan Tabel 6.2, kapasitas dukung kelompok tiang bor menggunakan metode Meyerhof (data lab) dengan diameter 40 cm, 60 cm, dan 80 cm masing-masing adalah 3591,306 kN, 4552,557 kN, dan 8383 kN, yang semuanya melebihi beban P = 3038,482 kN. Dengan metode Meyerhof (data N-SPT) dan diameter yang sama, hasilnya adalah 3780,471 kN, 6792,797 kN, dan 8951,543 kN, yang juga melebihi beban P = 3038,482 kN. Menggunakan metode Reese & Wright, kapasitas dukung untuk diameter 40 cm, 60 cm, dan 80 cm berturut-turut adalah 3416,226 kN, 5324,158 kN, dan 7307,602 kN. Dengan demikian, pondasi *bored pile* berdiameter 40 cm, 60 cm, dan 80 cm dinyatakan aman untuk digunakan dalam proyek pembangunan gedung laboratorium di Universitas Tidar Magelang.

6.5 Hasil Analisis Kekuatan Tiang Bor

Kapasitas dukung pondasi tiang tergantung pada kemampuan material tiang menahan beban struktural. Dari hasil analisis, tegangan yang muncul pada tiang adalah 69,82 kg/cm², lebih rendah daripada tegangan izin untuk mutu K-300 yaitu 249 kg/cm². Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa fondasi ini aman untuk digunakan.

Di sisi lain, kapasitas dukung kelompok tiang (Qg) melebihi beban aksial (P) yang diterima tiang, dengan perbandingan 3416,226 kN > 3038,482 kN Fakta ini mengindikasikan bahwa pondasi tiang mampu menopang beban struktural bangunan yang ditempatkan di atasnya.

6.6 Hasil Penurunan Pondasi Tiang Bor

Penurunan pondasi tiang bor dipengaruhi oleh besar beban yang diterapkan, dimensi pile cap, dan tekanan netto di bawah fondasi. Faktor-faktor lain yang mempengaruhi penurunan mencakup diameter, jumlah, dan susunan kelompok tiang, serta bahan yang digunakan untuk tiang dan tanah di sekitarnya.

Penurunan konsolidasi atau perubahan panjang adalah penurunan yang berlangsung perlahan seiring berkurangnya tekanan air pori. Maka dari itu, penurunan konsolidasi terjadi khususnya pada tanah lempung. Sebaliknya, tanah pasir mengalami penurunan secara langsung.

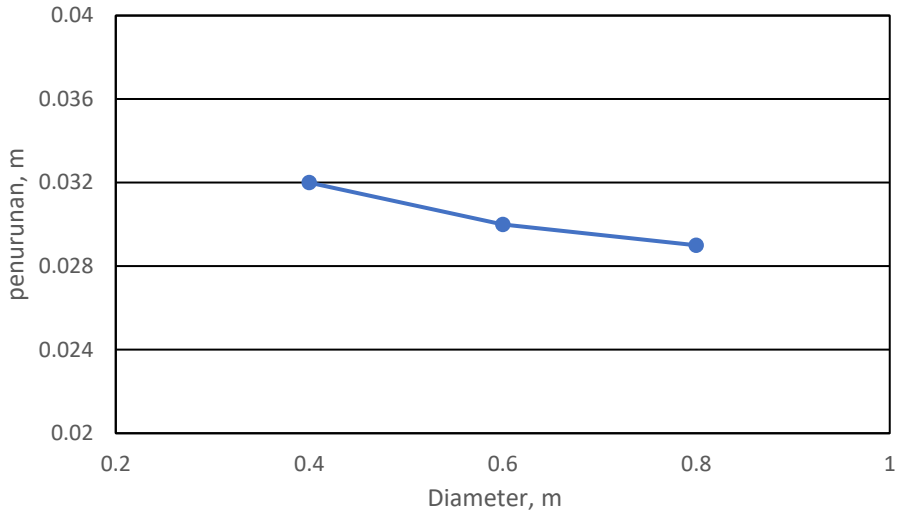
Hasil analisis tentang penurunan fondasi kelompok tiang bor tercantum dalam Tabel 6.3 di bawah ini.

Tabel 6.3 Rekapitulasi Hasil Penurunan kelompok Tiang Bor

Diameter (cm)		Penurunan kelompok tiang (m)
Tiang Rencana	40 cm	0,032 m
	60 cm	0,023 m
	80 cm	0,022 m
Tiang *Existing*	50 cm	0,026 m

6.7 Hasil Analisis dengan Program PLAXIS 2D v20

Analisis tentang penurunan kelompok pondasi tiang bor telah dilakukan dengan menggunakan program PLAXIS 2D, seperti yang terlihat pada Gambar 6.2.



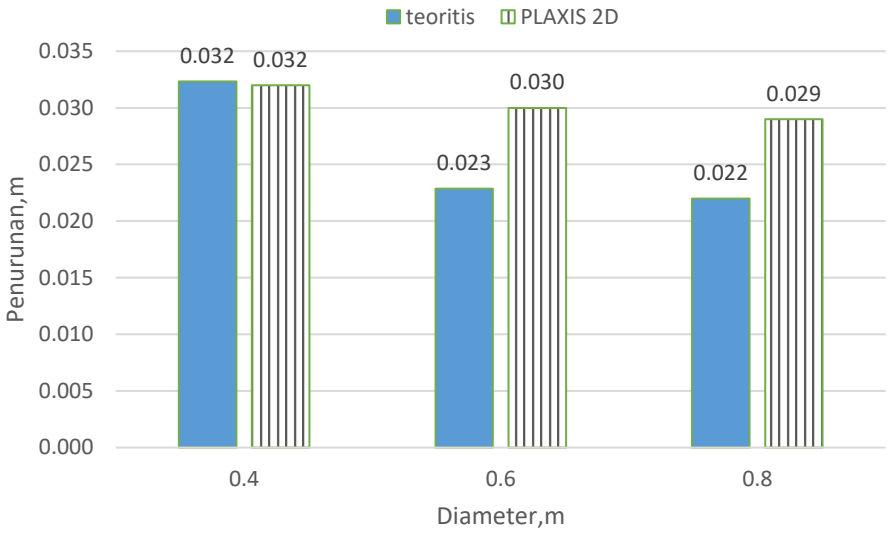
Gambar 6.2 Penurunan Kelompok Tiang Bor Menggunakan PLAXIS 2D

Pada data yang tercantum dalam Gambar 6.2, dapat disimpulkan bahwa perhitungan penurunan pada pondasi kelompok tiang bor dengan program PLAXIS 2D menghasilkan total penurunan yang berbeda-beda. Pada diameter 40 cm, penurunan total adalah 0,032 m, sedangkan pada diameter 60 cm dan 80 cm masing-masing adalah 0,030 m dan 0,029 m.

Berdasarkan hasil penelitian itu, terlihat bahwa semakin besar diameter tiang yang digunakan, semakin kecil deformasi yang terjadi pada fondasi kelompok tiang. Hal ini dipengaruhi oleh luas area yang didukung oleh kelompok tiang; semakin besar area yang didukung, semakin kecil deformasi yang terjadi.

6.8 Perbandingan Penurunan Pondasi Tiang Bor Secara Teoritis Dengan Program Plaxis 2D

Sebaiknya dilakukan perbandingan hasil perhitungan antara program PLAXIS dengan rumus teoritis untuk memastikan kesimpulan yang diperoleh valid secara analitis, baik dari aspek numerik maupun teoritis. Penjelasan lebih detail dapat ditemukan pada Gambar 6.3 di bawah ini.



Gambar 6.3 Perbandingan Penurunan Pondasi Kelompok Tiang Bor

Penurunan kelompok tiang yang dihitung menggunakan pendekatan teoritis dan PLAXIS dengan diameter 40 cm, 60 cm, dan 80 cm menunjukkan hasil penurunan yang paling besar. Gambar 6.4 menunjukkan bahwa hasil penurunan yang diperoleh dari analisis PLAXIS v20 lebih besar dibandingkan dengan hasil penurunan yang dihitung menggunakan metode teoritis.

Penurunan pada pondasi tiang harus mematuhi standar keamanan untuk menghindari kerusakan struktural yang serius akibat penurunan tersebut. Dari hasil analisis, penurunan yang sebenarnya harus lebih kecil dari batas penurunan yang diizinkan (STotal ≤ SIzin). Penurunan teoritis untuk tiang berdiameter 40 cm adalah 0,032 m, untuk diameter 60 cm adalah 0,023 m, dan untuk diameter 80 cm adalah 0,022 m. Semua nilai penurunan ini sesuai dengan persyaratan Standar Nasional Indonesia (SNI) untuk penurunan pondasi tiang gedung bertingkat, di mana batas maksimum penurunan yang diperbolehkan adalah 0,050 m. Sehingga, struktur gedung dan pondasi tersebut dapat dianggap aman untuk digunakan.

6.9 Perbandingan Pondasi Tiang Bor Rencana Dengan Pondasi Tiang Existing

Dengan diameter tiang *existing* saat ini sebesar 50 cm dan 5 tiang yang tersedia, dari beberapa opsi yang ada, alternatif kedua dipilih dengan diameter 40 cm menggunakan Metode Reese & Wright dengan 4 tiang dalam satu kelompok.

Pemilihan ini didasarkan pada kemampuan kapasitas tiang dalam menopang beban aksial yang diterima tiang. Perbandingan keduanya dapat dilihat pada Tabel 6.4 sebagai berikut.

Tabel 6.4 Perbandingan Tiang *Existing* dengan Tiang Pondasi Rencana

Parameter	Tiang *Existing*	Tiang Rencana
Diameter tiang, D (m)	0,5	0,4
Daya dukung kelompok tiang, Qg (kN)	5317,431	3416,226
Penurunan kelompok tiang, S (m)	0,026	0,032
Jumlah tiang, N	5	4

Dari Tabel 6.4 dapat disimpulkan bahwa Meskipun tiang rencana memiliki kapasitas dukung yang lebih kecil dibandingkan dengan tiang Existing, kapasitas dukung tersebut masih cukup untuk menahan beban aksial yaitu sebesar 3038,482 kN yang diterapkan, sehingga aman digunakan. kedua nilai penurunan tiang masih berada di bawah batas penurunan izin sebesar 5 cm (0,05 m), sehingga tidak ada masalah dari sisi penurunan. Kemudian dari sisi ukuran dan jumlah tiang Meskipun ukuran dan jumlah tiang rencana lebih kecil, ini cukup untuk memenuhi syarat keamanan struktur berdasarkan kapasitas dukung dan penurunan.

Dengan mempertimbangkan faktor biaya dan efisiensi, penggunaan tiang dengan diameter 40 cm memberikan keseimbangan yang baik antara kapasitas dukung, penurunan, dan ekonomi konstruksi. Oleh karena itu, penggunaan tiang dengan diameter 40 cm dianggap sudah cukup aman untuk digunakan dalam proyek ini.

BAB VII
KESIMPULAN DAN SARAN

7.1 kesimpulan

Berdasarkan analisis daya dukung dan perubahan tingkat penurunan tiang bor di Laboratorium Universitas Tidar, dapat disimpulkan hal-hal berikut.

1. Perbedaan Kapasitas Dukung: Terdapat perbedaan signifikan antara kapasitas dukung pondasi tiang *eksisting* dan yang direncanakan. Kapasitas dukung tiang eksisting lebih besar dibandingkan dengan tiang rencana. Meskipun demikian, kapasitas dukung tiang rencana masih cukup untuk menahan beban aksial yang diterapkan, sehingga keduanya aman digunakan.
2. Metode Reese & Wright dan Metode Meyerhof: Berdasarkan perhitungan dengan Metode Meyerhof, kapasitas dukung kelompok tiang dengan diameter 40 cm, 60 cm, dan 80 cm selalu melebihi beban yang diterapkan (3038,482 kN), menunjukkan pondasi stabil dan aman. Perhitungan dengan Metode Reese & Wright juga menunjukkan kapasitas yang melebihi beban yang diterapkan, memastikan pondasi aman digunakan.
3. Penurunan Pondasi: Penurunan yang terjadi pada fondasi tiang di proyek pembangunan Gedung Laboratorium Universitas Tidar berada di bawah batas izin penurunan sebesar 5 cm, sehingga tidak ada masalah dari sisi penurunan.
4. Pengaruh Variasi Diameter: Variasi diameter pada tiang Pondasi menunjukkan bahwa penggunaan tiang dengan diameter 40 cm memberikan keseimbangan optimal antara kapasitas dukung, penurunan, dan efisiensi biaya, sehingga dianggap cukup aman dan efisien untuk digunakan dalam proyek tersebut.

7.2 Saran

Untuk meraih hasil yang lebih efektif dalam perencanaan pondasi tiang bor, bisa dilakukan analisis yang lebih terperinci seperti berikut ini.

1. Melakukan Pemodelan 3D: Menggunakan perangkat lunak pemodelan geoteknik 3D untuk membuat model yang lebih realistis tentang perilaku tanah

dan struktur pondasi tiang, sehingga dapat memperhitungkan interaksi antara tiang dan tanah dengan lebih baik. .

2. Analisis Geoteknik yang Lebih Mendalam: Melakukan analisis geoteknik yang lebih detail terkait dengan sifat dan karakteristik tanah di lokasi proyek, termasuk analisis karakteristik tanah seperti kekuatan, permeabilitas, kompresibilitas, dan konsolidasi.
3. Analisis Dinamik: Melakukan analisis dinamik untuk mempertimbangkan faktor-faktor dinamis seperti gempa bumi atau beban dinamik lainnya yang dapat memengaruhi kinerja pondasi tiang.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Standarisasi Nasional, 2019, SNI-2847-2019: Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung, Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional, 2019, SNI-1726-2019: Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung, Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional, 2020, SNI-1727-2020: Tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung, Jakarta.

Bowles, J. E., 1988, *Analisa Dan Desain Pondasi 1*, Edisi Keempat Jilid 1, Jakarta.

Bowles, J. E., 1988, *Analisa Dan Desain Pondasi 2*, Edisi Keempat Jilid 2, Jakarta.

Hardiyatmo, H.C., 2002, *Mekanika Tanah 2*. Edisi Ketiga, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.

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

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

Hardiyatmo, H.C., 2018. *Analisis dan Perancangan Fondasi II*. Keempat, Gadjah Mada University Press. Keempat. Yogyakarta

Haq, 2018, Pengaruh Variasi Dimensi Terhdap Kapasitas Dukung Fondasi Tiang Bor Kelompok dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga. Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

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

Kulhawy, F.H (1991). *Foundation Engineering Handbook, 2 nd ed.,* Van Nostrand Reinhold, New York.

Mayerhof, G.G., 1951. *The Ultimate Bearing Capacity of Foundation*. Geotechnique, vol. 2, 1951

Mayerhof G.G.,1965. *Shallow Foundation. Journal ASCE*, Soil Mechanic Foundation Div, vol. 91. No. SM2

Rizaldy, 2012, Efisiensi Kelompok Tiang Pancang (Pile Foundation), (http://rizaldyberbagidata.blogspot.co.id/2012/05/efisiensi-kelompok-tiang.pancang.html), Diakses 20 Oktober 2016

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

Poulos, H.G., dan Davis, E.H., 1980, Pile Foundation Analysis and Design, John Wiley & Sons, New York, USA

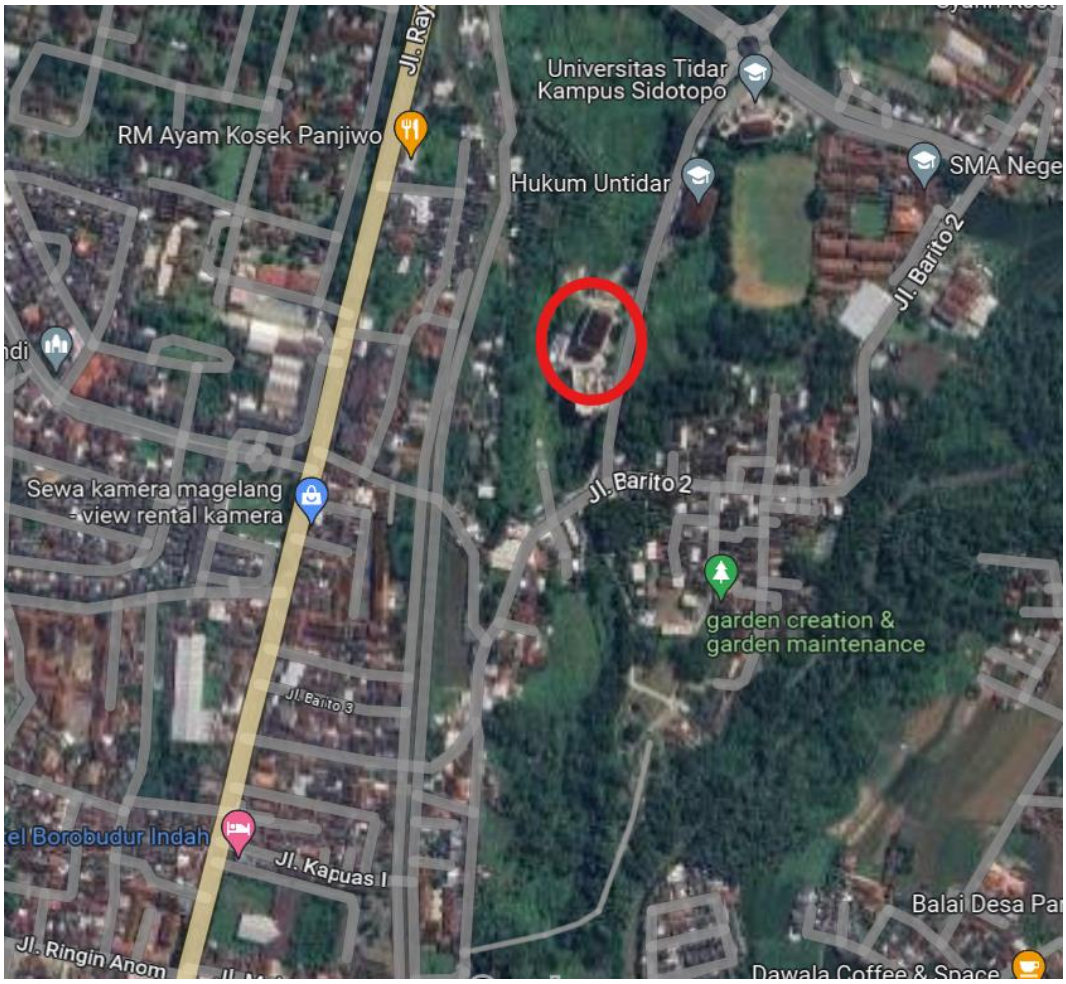
Plaxis 2D, *Material Models Manual version 20*.

Sardjono, HS, 1988, *Fondasi Tiang Pancang*, Sinar Wijaya, Surabaya

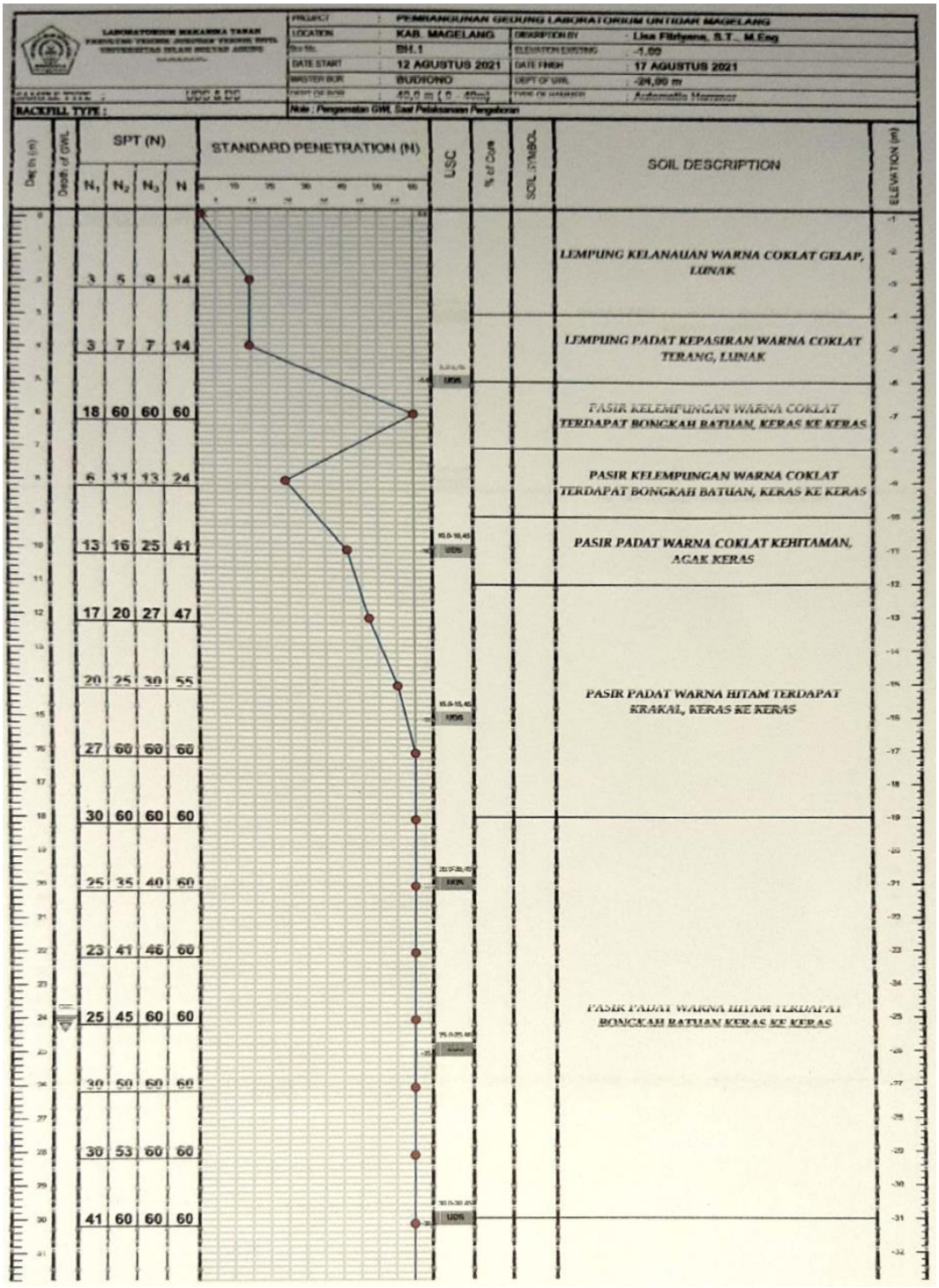
Terzaghi, K., dan Peck, R., 1943. *Theoritical Soil Mechanic*. John Willey & Sons, New York.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Peta Lokasi Proyek



Lampiran 2 Data Pengujian SPT



Lampiran 3 Data Pengujian Labroratorium

SUMMARY OF SOIL DATA

JECT : PEMBANGUNAN GEDUNG LABORATORIUM UNTIDAR MAGELANG
ATION : DS. KEDUNGSARI KEC. MAGELANG UTARA KAB. MAGELANG JAWA TENGAH

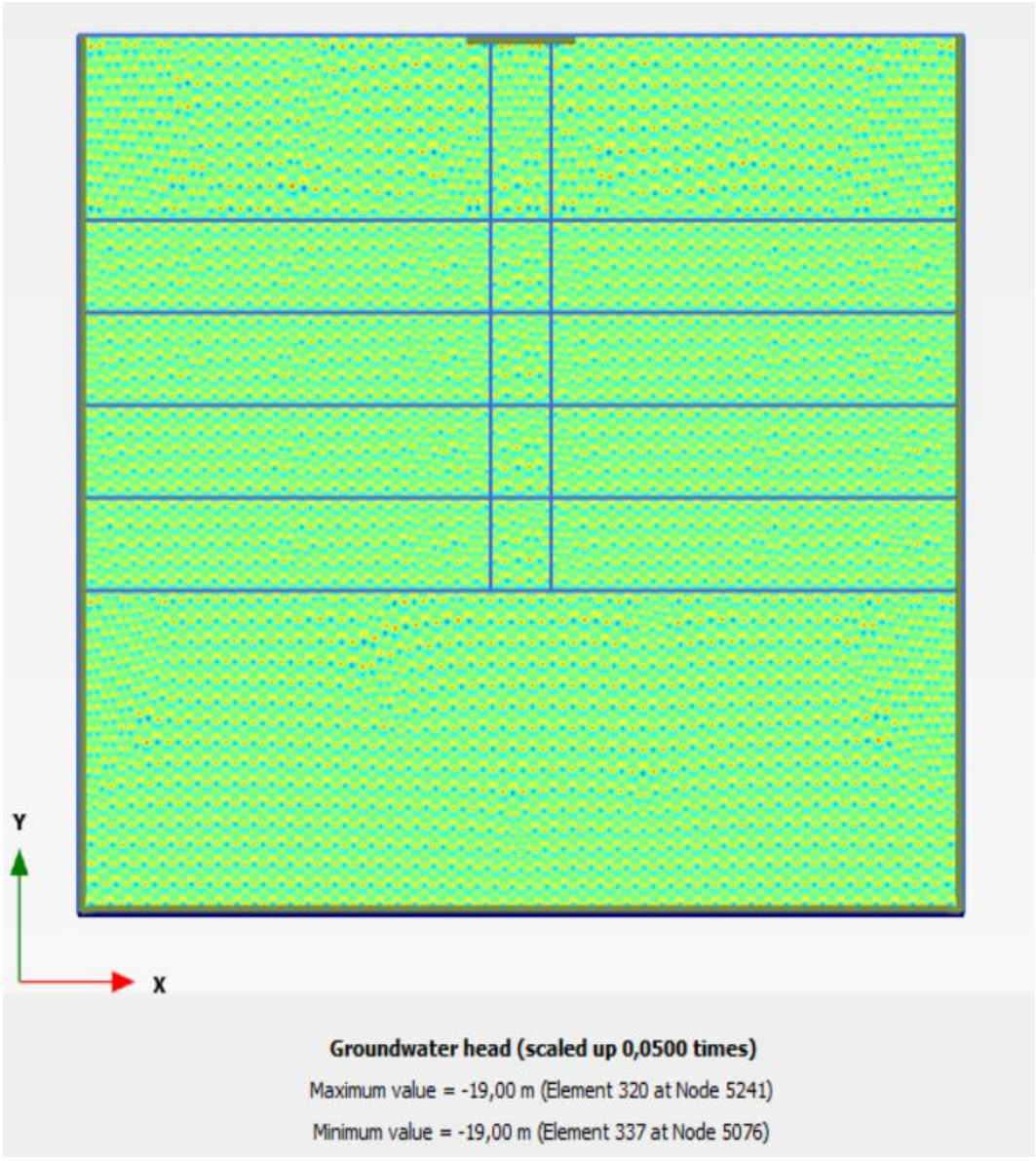
Sample No	Depth (m)	Gs	W (%)	γm (gr/cm3)	γd (gr/cm3)	e	n (%)	c (kg/cm2)	ϕ (°)	Atterberg Limits LL	PL	PI	Gravel %	Sand %	Silt %	Clay %
BH.01	4,50 - 5,00	2.537	66.051	1.512	0.911	1.786	0.641	0 109	38.57	46.88	35.60	11.28	7.03	44.04	44.79	4.15
BH.01	9,50 - 10,00	2.458	40.914	1.719	1.220	1.015	0.504	0 185	40.95	NON PLASTIS			3.27	75.40	20.18	1.15
BH.01	14,50 -15,00	2.663	27.749	1.621	1.269	1.099	0.524	0 173	44.57	NON PLASTIS			3.65	84.11	12.04	0.21
BH.01	19,50- 20,00	2.697	42.922	1.714	1.199	1.249	0.555	0 145	46.55	NON PLASTIS			3.65	79.46	15.99	0.91
BH.01	24,50 - 25,00	2.552	39.110	1.737	1.249	1.044	0.511	0 117	47.79	NON PLASTIS			4.51	79.46	15.43	0.61
BH.01	29,50 - 30,00	2.532	31.182	1.735	1.338	0.892	0.472	0 105	47.18	NON PLASTIS			4.51	83.79	11.34	0.36
BH.01	34,50 - 35,00	2.536	14.936	1.710	1.488	0.704	0.413	0 209	43.17	NON PLASTIS			4.80	76.79	17.94	0.47
BH.01	39,50 - 40,00	2.675	12.918	1.716	1.520	0.760	0.432	0 258	37.74	NON PLASTIS			14.37	76.81	8.81	0.02
BH.02	4,50 - 5,00	2.492	52.166	1.674	1.100	1.265	0.559	0 149	34.22	54.07	35.23	18.84	7.13	48.84	35.51	8.52
BH.02	9,50 - 10,00	2.486	74.269	1.610	0.924	1.691	0.628	0 081	34.22	59.59	44.13	15.46	6.53	51.13	36.77	5.57
BH.02	14,50 -15,00	2.438	67.944	1.520	0.905	1.694	0.629	0 338	29.37	59.84	48.48	11.35	7.75	43.47	36.08	12.71
BH.02	19,50- 20,00	2.578	29.504	1.800	1.390	0.855	0.461	0 109	40.95	NON PLASTIS			2.48	35.33	22.98	9.16

Lampiran 4 Tabel Hasil Perhitungan ETABS

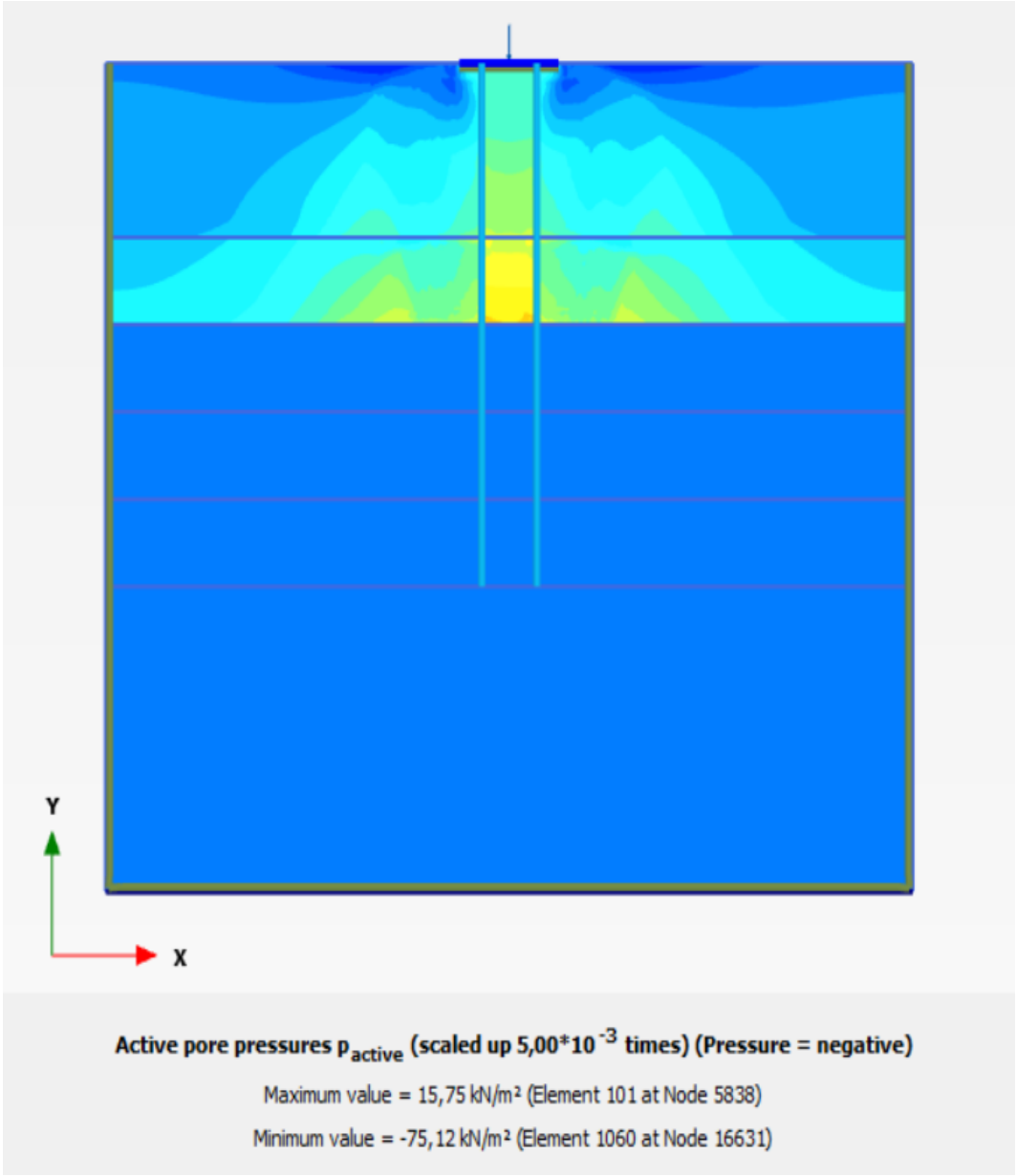
TABLE: Joint Reactions

Story	Label	Unique Nar	Output Ca	Case Typ	Step Ty	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
Base	9	37	COMB 6-1	Combination	Max	36.2455	188.913	3038.4818	322.5464	114.6469	7.5592
Base	9	37	COMB 6-2	Combination	Max	36.2455	188.913	3038.4818	322.5464	114.6469	7.5592
Base	9	37	COMB 6-3	Combination	Max	36.2455	188.913	3038.4818	322.5464	114.6469	7.5592
Base	9	37	COMB 6-4	Combination	Max	36.2455	188.913	3038.4818	322.5464	114.6469	7.5592
Base	9	37	COMB 7-1	Combination	Max	38.6584	161.658	1667.4826	356.5451	117.9939	7.7066
Base	9	37	COMB 7-2	Combination	Max	38.6584	161.658	1667.4826	356.5451	117.9939	7.7066
Base	9	37	COMB 7-3	Combination	Max	38.6584	161.658	1667.4826	356.5451	117.9939	7.7066
Base	9	37	COMB 7-4	Combination	Max	38.6584	161.658	1667.4826	356.5451	117.9939	7.7066
Base	9	37	COMB 6-5	Combination	Max	123.4655	110.3098	2848.6044	96.8302	374.4351	9.344
Base	9	37	COMB 6-6	Combination	Max	123.4655	110.3098	2848.6044	96.8302	374.4351	9.344
Base	9	37	COMB 6-7	Combination	Max	123.4655	110.3098	2848.6044	96.8302	374.4351	9.344
Base	9	37	COMB 6-8	Combination	Max	123.4655	110.3098	2848.6044	96.8302	374.4351	9.344
Base	9	37	COMB 7-5	Combination	Max	125.8785	83.0548	1477.6052	130.8289	377.7821	9.4914
Base	9	37	COMB 7-6	Combination	Max	125.8785	83.0548	1477.6052	130.8289	377.7821	9.4914
Base	9	37	COMB 7-7	Combination	Max	125.8785	83.0548	1477.6052	130.8289	377.7821	9.4914
Base	9	37	COMB 7-8	Combination	Max	125.8785	83.0548	1477.6052	130.8289	377.7821	9.4914
Base	9	37	COMB 2	Combination		-4.8771	54.6753	2756.8949	-68.8099	-6.9331	-0.2497
Base	9	37	COMB 3	Combination		-4.456	49.381	2495.6783	-62.814	-6.5116	-0.1744
Base	9	37	COMB 1	Combination		-4.2908	47.1489	2405.0079	-61.3892	-6.6866	-0.0606
Base	9	37	Dead	LinStatic		-2.1491	23.8396	1314.4175	-30.9381	-3.3209	-0.0228
Base	9	37	COMB 6-5	Combination	Min	-133.0541	-3.4645	2562.9528	-232.9697	-388.5511	-9.7061
Base	9	37	COMB 6-6	Combination	Min	-133.0541	-3.4645	2562.9528	-232.9697	-388.5511	-9.7061
Base	9	37	COMB 6-7	Combination	Min	-133.0541	-3.4645	2562.9528	-232.9697	-388.5511	-9.7061
Base	9	37	COMB 6-8	Combination	Min	-133.0541	-3.4645	2562.9528	-232.9697	-388.5511	-9.7061
Base	9	37	COMB 7-5	Combination	Min	-130.6412	-30.7195	1191.9536	-198.971	-385.2042	-9.5587
Base	9	37	COMB 7-6	Combination	Min	-130.6412	-30.7195	1191.9536	-198.971	-385.2042	-9.5587
Base	9	37	COMB 7-7	Combination	Min	-130.6412	-30.7195	1191.9536	-198.971	-385.2042	-9.5587
Base	9	37	COMB 7-8	Combination	Min	-130.6412	-30.7195	1191.9536	-198.971	-385.2042	-9.5587
Base	9	37	COMB 6-1	Combination	Min	-45.8341	-82.0678	2373.0754	-458.6859	-128.763	-7.9213
Base	9	37	COMB 6-2	Combination	Min	-45.8341	-82.0678	2373.0754	-458.6859	-128.763	-7.9213
Base	9	37	COMB 6-3	Combination	Min	-45.8341	-82.0678	2373.0754	-458.6859	-128.763	-7.9213
Base	9	37	COMB 6-4	Combination	Min	-45.8341	-82.0678	2373.0754	-458.6859	-128.763	-7.9213
Base	9	37	COMB 7-1	Combination	Min	-43.4211	-109.3227	1002.0762	-424.6872	-125.416	-7.7739
Base	9	37	COMB 7-2	Combination	Min	-43.4211	-109.3227	1002.0762	-424.6872	-125.416	-7.7739
Base	9	37	COMB 7-3	Combination	Min	-43.4211	-109.3227	1002.0762	-424.6872	-125.416	-7.7739
Base	9	37	COMB 7-4	Combination	Min	-43.4211	-109.3227	1002.0762	-424.6872	-125.416	-7.7739

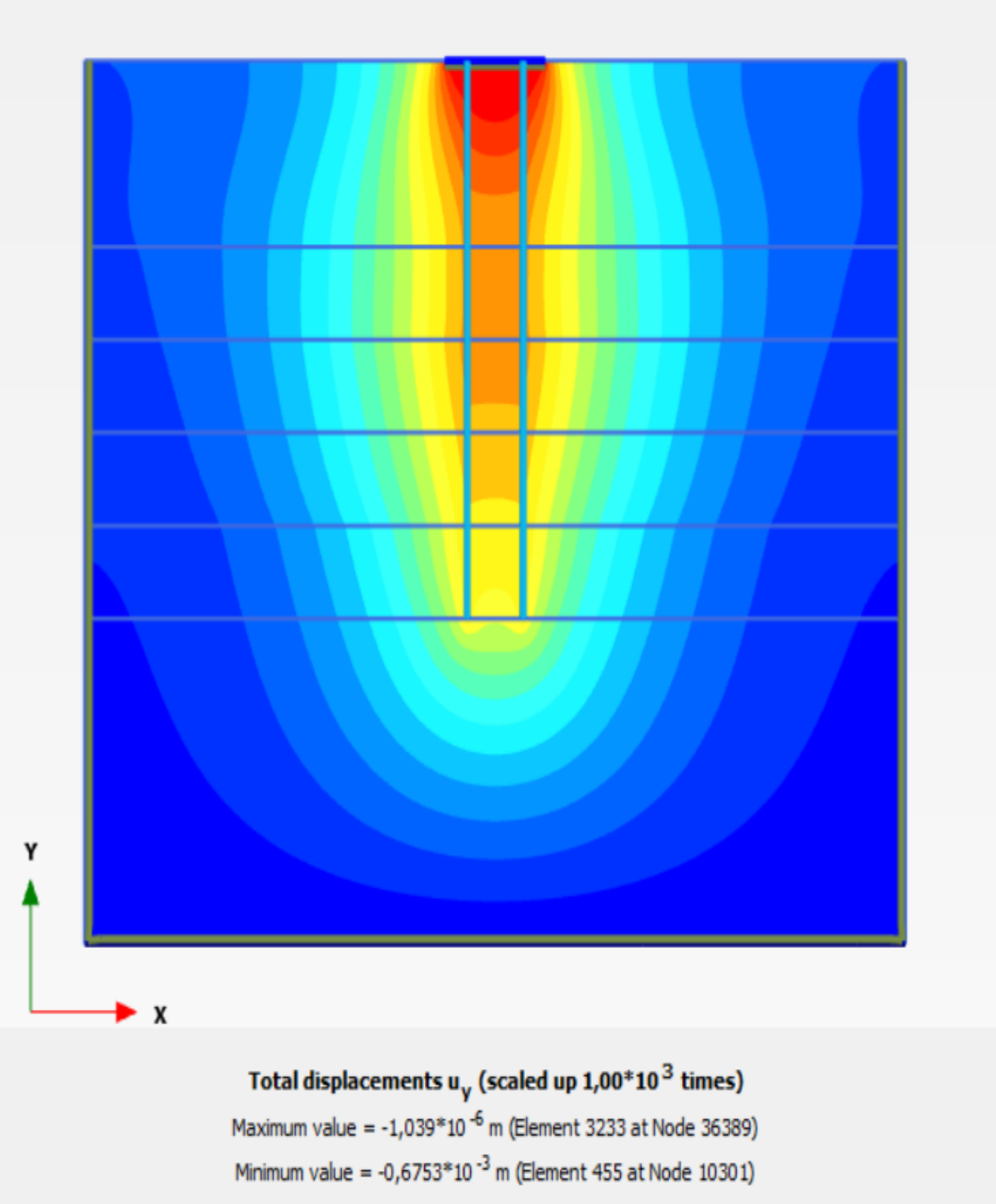
Lampiran 5 Gambar Hasil Perhitungan PLAXIS 2D v20



Gambar 1. Kondisi Awal dan Letak Muka Air Tanah
Diamater Pondasi 0,6 m



Gambar 2. Tekanan Air Pori Pada Saat Beban Aktif Diameter Pondasi 0,6 m



Gambar 3. Penurunan Pada Tahap Pemasangan Pondasi Dan *Pilecap*
Diameter Pondasi 0,6 m



Gambar 4. Penurunan pada tahap pembebanan Diameter Pondasi 0,6 m