

SKRIPSI

**ANALISA DAYA DUKUNG PONDASI *BORED PILE* DENGAN
METODE ANALITIS DAN NUMERIK**

**(STUDI KASUS: PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG
INFRASTRUKTUR BASIC LIPI BANDUNG - JAWA BARAT)**

**Diajukan Sebagai Syarat Menyelesaikan Studi
Pada Program Studi Teknik Sipil Jenjang Strata 1**

Fakultas Teknik

Universitas Muhammadiyah Mataram



Disusun Oleh:

MUHAMAD ZA'IRURRAHMAN

2019D1B150

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM

2023

HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING
SKRIPSI

**ANALISA DAYA DUKUNG PONDASI *BORED PILE* DENGAN METODE ANALITIS
DAN NUMERIK**

**(STUDI KASUS: PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG INFRASTRUKTUR BASIC
LIPI BANDUNG – JAWA BARAT)**

Disusun Oleh:

MUHAMAD ZA'IRURRAHMAN
2019D1B150

Mataram, 27 Juni 2023

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Pembimbing I

Dr. Heni Pujiastuti, ST., MT
NIDN. 0828087201

Pembimbing II

Muhammad Khalis Ilmi, ST., Eng
NIDN. 0831089401

Mengetahui.

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM
FAKULTAS TEKNIK

Dekan,

Dr. H. Aji Syailendra Ubaidillah, ST., M.Sc
NIDN. 0806027101

**HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI
SKRIPSI**

**ANALISA DAYA DUKUNG PONDASI *BORED PILE* DENGAN
METODE ANALITIS DAN NUMERIK**

**(STUDI KASUS: PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG
INFRASTRUKTUR BASIC LIPI BANDUNG - JAWA BARAT)**

Disusun Oleh:

Muhamad Za'irurrahman
2019D1B150

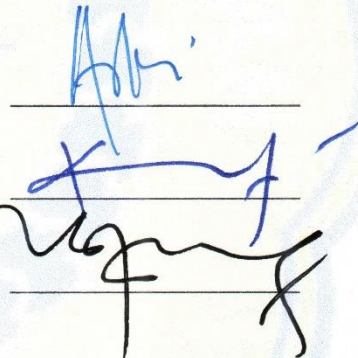
Telah dipertahankan di depan tim penguji

Pada hari Selasa, 27 Juni 2023

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Susunan Tim Penguji

1. Penguji I : Dr. Heni Pujiastuti, ST., MT
2. Penguji II : Muhammad Khalis Ilmi, ST., M. Eng
3. Penguji III : Ir. Isfanari, ST., MT



Mengetahui,

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM
FAKULTAS TEKNIK**

Dekan,



Dr. H. Aji Syailendra Ubaidillah, ST., M.Sc
NIDN. 0806027101

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir Skripsi dengan judul Analisa Daya Dukung Pondasi Tiang Bor Dengan Metode Analitis Dan Numerik (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Gedung Infrastruktur Basic Lipi Bandung - Jawa Barat) yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan Tugas Akhir Skripsi yang saya kutip dari hasil karya orang lain sebelumnya telah dituliskan dan dicantumkan sumbernya secara jelas sesuai norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila dikemudian hari ditemukan atau terbukti bahwa Tugas Akhir Skripsi ini bukan hasil karya saya sendiri, saya bersedia menerima sanksi dan sanggup dituntut sesuai hukum yang berlaku.

Mataram, 27 Juni 2023

Yang Membuat Pernyataan



Muhamad Za'irurrahman

NIM : 2019D1B150



MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN DAN
PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM
UPT. PERPUSTAKAAN H. LALU MUDJITAHID UMMAT

Jl. K.H.A. Dahlan No.1 Telp.(0370)633723 Fax. (0370) 641906 Kotak Pos No. 108 Mataram
Website : <http://www.lib.ummat.ac.id> E-mail : perpustakaan@ummat.ac.id

SURAT PERNYATAAN BEBAS
PLAGIARISME

Sebagai sivitas akademika Universitas Muhammadiyah Mataram, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : MUHAMAD ZA'IRURRAHMAN
NIM : 2019018150
Tempat/Tgl Lahir : SEJELA, 22 FEBRUARI 2000
Program Studi : TEKNIK SIPIL
Fakultas : TEKNIK
No. Hp : 0815 4722 1436
Email : mzairurrahman@gmail.com

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi/KTI/Tesis* saya yang berjudul :

ANALISA DAYA DUKUNG PONDASI BORED PILE DENGAN METODE ANALITIS DAN NUMERIK
(STUDI KASUS : PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG INFRASTRUKTUR BANC LIPI BANDUNG -
JAWA BARAT)

Bebas dari Plagiarisme dan bukan hasil karya orang lain. 47%

Apabila dikemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian dari Skripsi/KTI/Tesis* tersebut terdapat indikasi plagiarisme atau bagian dari karya ilmiah milik orang lain, kecuali yang secara tertulis disitasi dan disebutkan sumber secara lengkap dalam daftar pustaka, saya bersedia menerima sanksi akademik dan/atau sanksi hukum sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Muhammadiyah Mataram.

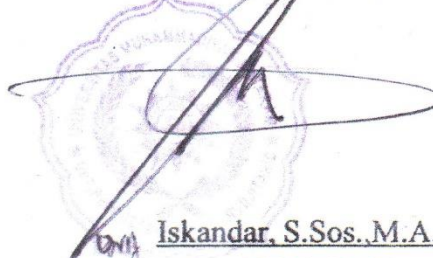
Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya tanpa ada paksaan dari siapapun dan untuk dipergunakan sebagai mana mestinya.

Mataram, 12 JULI 2023
Penulis



M. ZA'IRURRAHMAN
NIM. 2019018150

Mengetahui
Kepala UPT. Perpustakaan UMMAT



Iskandar, S.Sos., M.A.
NIDN. 0802048904



**MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN DAN
PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM
UPT. PERPUSTAKAAN H. LALU MUDJITAHID UMMAT**

Jl. K.H.A. Dahlan No.1 Telp.(0370)633723 Fax. (0370) 641906 Kotak Pos No. 108 Mataram
Website : <http://www.lib.ummat.ac.id> E-mail : perpustakaan@ummat.ac.id

**SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN
PUBLIKASI KARYA ILMIAH**

Sebagai sivitas akademika Universitas Muhammadiyah Mataram, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : MUHAMAD ZA'IRURRAHMAN
 NIM : 2019018150
 Tempat/Tgl Lahir : SEJELA, 22 FEBRUARI 2000
 Program Studi : TEKNIK SIPIL
 Fakultas : TEKNIK
 No. Hp/Email : 0815 4722 1436 / mzairurrahman@gmail.com
 Jenis Penelitian : Skripsi KTI Tesis

Menyatakan bahwa demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada UPT Perpustakaan Universitas Muhammadiyah Mataram hak menyimpan, mengalih-media/format, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (*database*), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di Repository atau media lain untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama *tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta* atas karya ilmiah saya berjudul:


ANALISA DAYA DUKUNG PONDASI BORED PILE DENGAN METODE ANALITIS DAN NUMERIK
 (STUDI KASUS : PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG INFRASTRUKTUR BASIC LIVI DANDUNG-
 JAWA BARA)

Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah ini menjadi tanggungjawab saya pribadi.
 Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya tanpa ada unsur paksaan dari pihak manapun.

Mataram, 12 JULI 2023
 Penulis

Mengetahui,
 Kepala UPT. Perpustakaan UMMAT


 M. ZA'IRURRAHMAN
 NIM. 2019018150


 Iskandar, S.Sos.,M.A. *wy*
 NIDN. 0802048904

HALAMAN MOTTO

“Barang siapa keluar untuk mencari sebuah ilmu, maka ia akan berada di jalan Allah hingga ia kembali.”

(HR. Tirmidzi)

“Orang yang hebat adalah orang yang memiliki kemampuan menyembunyikan kesusahan, sehingga orang lain mengira ia selalu senang.”

(Imam Syafi’i)

“Jangan menyerah dengan keadaan karena doa orang tua mu sangatlah dahsyat.”

(Muhamad Za’irurrahman)



PRAKATA

Alhamdulillahirabbil'alamiin, puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik serta hidayah-Nya, sehingga penyusunan skripsi ini dapat diselesaikan tepat pada waktunya dengan judul Analisa Daya Dukung Pondasi Tiang Bor Dengan Metode Analitis Dan Numerik (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Gedung Infrastruktur Basic Lipi Bandung - Jawa Barat) walapun sebenarnya masih jauh dari kata sempurna.

Penyusunan skripsi ini tidak akan dapat diselesaikan tanpa adanya dukungan dari pihak-pihak yang ikut serta membantu, oleh karena itu penyusun ingin menghanturkan ucapan terima kasih yang sebesar besarnya kepada:

1. Dr. Abdul Wahab selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Mataram.
2. Dr. Aji Syailendra Ubaidillah, M. Sc selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram.
3. Adryan Fitrayuda, ST., MT selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram.
4. Dr. Heni Pujiastuti, ST., MT selaku Dosen Pembimbing I.
5. Muhamad Khalis Ilmi, ST. M.Eng selaku Dosen Pembimbing II.
6. Segenap dosen dan karyawan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram.

Demikian ucapan terimakasih dari penyusun semoga kebaikan semua pihak yang berjasa dan membantu diberikan balasan oleh Allah SWT.

Mataram, 27 Juni 2023



Penyusun

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan segala puji syukur atas kehadiran Allah SWT serta doa dan dukungan entah itu dari moral maupun material dari orang – orang tercinta, akhirnya skripsi yang berjudul Analisa Daya Dukung Pondasi Tiang Bor Dengan Metode Analitis Dan Numerik (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Gedung Infrastruktur Basic Lipi Bandung - Jawa Barat) dapat diselesaikan tepat pada waktunya. Oleh karena itu, dengan rasa bangga saya ucapkan rasa syukur dan terimakasih kepada:

1. Allah SWT, atas izin dan karunianya maka skripsi dapat diselesaikan pada waktunya.
2. Kepada diri saya sendiri terimakasih sudah kuat dan sabar dalam menyelesaikan skripsi ini walaupun banyak rintangan dan kendala dilewati dalam proses pengerjaan dan alhamdulillah pada akhirnya skripsi ini dapat terselesaikan tepat pada waktunya.
3. Ayahanda Muhamad Gazali dan ibunda Laela Astuti yang senantiasa memberikan dukungan moral maupun material serta doa dan limpahan kasih sayang yang telah diberikan kepada saya.
4. Kepada Doniw, Ayuw, Adot, Pow, Aldie dan Cumiq terimakasih sudah membantu dan memberikan semangat ketika saya merasa lelah dalam proses pengerjaan skripsi ini.
5. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah memberikan bimbingan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. Semoga Allah SWT memberikan imbalan yang setimpal atas bantuan diberikan kepada penyusun.

ABSTRAK

Pondasi merupakan salah satu bagian dari konstruksi bangunan yang memiliki peranan yang sangat penting dan bertugas meletakkan bangunan serta meneruskan beban bangunan atas (*upper structure*) ke dasar tanah yang cukup kuat mendukungnya.

Tipe pondasi yang digunakan pada penelitian ini adalah pondasi tiang bor diameter 0,8 m dengan mutu beton K-300 dan panjang pondasi didapatkan melalui proses *trial* dan *error* pada panjang 6, 8, 10, dan 12 m, panjang tiang yang digunakan setelah proses *trial* dan *error* adalah 12 m. Untuk menghitung kapasitas daya dukung digunakan metode Analitis ((Metode O'Neil dan Reese (1989), Metode Skempton), Metode Broms dan metode numerik dengan bantuan *software* Plaxis.

Hasil dari analisis diperoleh nilai kapasitas dukung pondasi kelompok tiang kelompok (Q_g) untuk diameter tiang 0,8 m dengan panjang tiang 12 m pada tanah lempung dan pasir berdasarkan data SPT menggunakan metode Analitis ((Metode O'Neil dan Reese (1989), Metode Skempton) diperoleh nilai sebesar 708,390 ton. Sedangkan kapasitas dukung pondasi tiang horizontal menggunakan metode Broms diperoleh nilai sebesar 61,590 ton. Kapasitas dukung dengan menggunakan metode Numerik diperoleh nilai beban ultimit tiang kelompok (Q_q) sebesar 658,863 ton, hasil kapasitas dukung pondasi kelompok tiang (Q_g) dari kedua metode dengan perbandingan selisih 4,9 % memenuhi syarat yaitu lebih besar dari beban yang harus didukung (aksial) P sebesar 182,46 ton.

Kata kunci: pondasi tiang bor, kapasitas dukung, analitis, broms, numerik

ABSTRACT

The foundation is a crucial component of building construction, as it is responsible for positioning the structure and transferring the weight of the upper structure to the ground, which is robust enough to support it. In this investigation, a drilled pile foundation with a diameter of 0.8 m and K-300 concrete quality was used, and the length of the foundation was determined by trial and error at lengths of 6, 8, 10, and 12 m. The length of the pile used following trial and error was 12 meters. Analytical methods (the O'Neil and Reese (1989) method), the Skempton method, the Broms method, and numerical methods with Plaxis software are used to calculate carrying capacity. The results of the analysis obtained the value of the bearing capacity of the group pile group foundation (Q_g) for a pile diameter of 0.8 m and a pile length of 12 m on clay and sand using the Analytical method (O'Neil and Reese (1989) method, Skempton) obtained a value of 708,390 tons, while the bearing capacity of horizontal pile foundations using the Broms method obtained a value of 61,560 tons. Of the two methods, the one with a difference ratio of 4.9% satisfies the requirements, which is greater than the (axial) supporting load P of 182.46 tons.

Keywords: drilled pile foundation, bearing capacity, analytical, broms, numerical

MENGESAHKAN
SALINAN FOTO COPY SESUAI ASLINYA
MATARAM



DAFTAR ISI

COVER	i
HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING	ii
HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	iv
LEMBAR PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	v
LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH ..	vi
HALAMAN MOTTO	vii
PRAKATA	viii
HALAMAN PERSEMBAHAN	ix
ABSTRAK	x
ABSTRACT	xi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR NOTASI	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	6
2.1 Tinjauan Pustaka	6
2.1.1 Penelitaian Terdahulu	6
2.1.2 Tanah	8
2.1.3 Komposisi Tanah	8
2.1.4 Penyelidikan Tanah (<i>soil investigation</i>)	9
2.1.5 Pengujian Standard Penetration Test (SPT)	12
2.1.6 Pondasi	15

2.1.7	Jenis – Jenis Pondasi Tiang Bor (<i>Bored pile</i>)	22
2.2	Landasan Teori	27
2.2.1	Perencanaan Pondasi Tiang Bor (<i>Bored pile</i>)	27
2.2.2	Pelaksanaan Pekerjaan Pondasi Tiang Bor (<i>Bored pile</i>)	27
2.2.3	Teori Daya Dukung	29
2.2.4	Kapasitas Daya Dukung Pondasi Tiang Bor (<i>Bored pile</i>)	30
2.2.5	Kapasitas Daya Dukung Pondasi Tiang Bor Dengan Data SPT	30
2.2.6	Kapasitas Dukung Pondasi Tiang Bor Pada Tanah Granuler	32
2.2.6	Kapasitas Dukung Pondasi Tiang Bor Pada Tanah Kohesif	36
2.3	Kapasitas Daya Dukung Tiang Bor Menggunakan <i>Software</i> Plaxis	40
2.2.6	Faktor Keamanan	45
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		46
3.1	Lokasi Penelitian	46
3.2	Data Tanah Dan Teknis Tiang Bor (<i>Bored Pile</i>).....	47
3.3	Ketersediaan Data.....	49
3.4	Diagram Alir Penelitian	49
3.5	Tahapan Perencanaan Metode Analitis.....	53
3.6	Tahapan Perencanaan Metode Numerik	53
3.7	Parameter – Parameter Metode Analitis Dan Numerik	62
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN		64
4.1	Data Tanah Dan Tiang Bor (<i>Bored pile</i>).....	64
4.2	Perhitungan Daya Dukung Tiang Bor Menggunakan Data SPT (Metode Analitis)	66
4.3	Kapasitas Daya Dukung Tiang Bor Secara Horizontal	101
4.4	Pengecekan Kapasitas Dukung Terhadap Bebab Eksternal.....	106
4.5	Perhitungan Daya Dukung Tiang Bor Menggunakan <i>Software</i> Plaxis (Metode Numerik).....	109
4.5.1	Proses Input Data Titik <i>Bore-Hole</i> 1	111
4.5.2	Perbandingan Kapasitas Daya Dukung Tiang Bor Metode Analitis Dengan Metode Numerik	119
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		121

DAFTAR PUSTAKA..... 123

LAMPIRAN.....



DAFTAR TABEL

- Tabel 2. 1** Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Sekarang
- Tabel 2.2** Hubungan D_r , ϕ dan N dari pasir (Peck, Meyerhoff)
- Tabel 2.3** Hubungan D_r , ϕ dan N dari pasir (Terzaghi)
- Tabel 2.4** Nilai-nilai K/K_o untuk tiang bor
- Tabel 2.5** Nilai-nilai δ/ϕ' untuk tiang bor
- Tabel 2.6** Faktor keamanan yang disarankan
- Tabel 3.1** Resume hasil bor mesin
- Tabel 3.2** Jenis data dan sumber data yang digunakan
- Tabel 4.1** Hasil data pengujian NSPT dan jenis tanah
- Tabel 4.2a** Hitungan tahanan gesek (Q_{s2}) kedalaman 6 m
- Tabel 4.2b** Hitungan tahanan gesek (Q_{s2}) kedalaman 6 m
- Tabel 4.3a** Hitungan tahanan gesek (Q_{s2}) kedalaman 8 m
- Tabel 4.3b** Hitungan tahanan gesek (Q_{s2}) kedalaman 8 m
- Tabel 4.4a** Hitungan tahanan gesek (Q_{s2}) kedalaman 10 m
- Tabel 4.4b** Hitungan tahanan gesek (Q_{s2}) kedalaman 10 m
- Tabel 4.5a** Hitungan tahanan gesek (Q_{s2}) kedalaman 12 m
- Tabel 4.5b** Hitungan tahanan gesek (Q_{s2}) kedalaman 12 m
- Tabel 4.6** Rekapitulasi kapasitas dukung dengan metode Skempton (1866) dan metode O'Neil dan Reese pada panjang tiang bor 8, 10, dan 12 m.
- Tabel 4.7** Nilai – nilai n_h untuk tanah granuler ($c = 0$)
- Tabel 4.8** Hasil perhitungan daya dukung lateral tiang bor metode Broms
- Tabel 4.9** Parameter tiang bor dan pile cap untuk perhitungan metode numerik
- Tabel 4.10** Perbandingan nilai Q_g analitis dengan Q_g numerik

DAFTAR GAMBAR

- Gambar 2.1** Klasifikasi tanah berdasarkan tekstur
- Gambar 2.2** Alat Percobaan *Penetrasi Standard*
- Gambar 2.3** Contoh pondasi jika lapisan pendukung pondasi cukup dangkal
- Gambar 2.4** Rekapitulasi kapasitas dukung dengan metode Skempton (1866) dan metode O'Neil dan Reese pada panjang tiang bor 8, 10, dan 12 m.
- Gambar 2.5** Contoh pondasi jika lapisan pendukung pondasi berada sekitar 20 meter dibawah permukaan tanah
- Gambar 2.6** Contoh pondasi jika lapisan pendukung pondasi berada sekitar 30 meter dibawah permukaan tanah
- Gambar 2.7** Pondasi Tiang Bor (*Bored Pile*)
- Gambar 2.8** Jenis-Jenis Pondasi Tiang Bor (*Bored Pile*)
- Gambar 2.9** Pekerjaan *Bored Pile* dengan alat *Mini Crane*
- Gambar 2.10** *Bored Pile* Mesin Gawang
- Gambar 2.11** *Bored Pile* Manual
- Gambar 2.12** Langkah-langkah pengerjaan tiang bor dengan metode kering
- Gambar 2.13** Langkah-langkah pengerjaan tiang bor dengan metode basah
- Gambar 2.14** Langkah pengerjaan tiang bor dengan metode pemasangan *casing*
- Gambar 2.15** Model Pondasi Tiang Bor (Plaxis)
- Gambar 2.16** Tab Parameter Untuk Model Mohr-Coulumb (Plaxis)
- Gambar 3.1** Lokasi Proyek Pembangunan Gedung Infrastruktur BASICS LIPI
- Gambar 3.2** Denah bangunan Tower 2
- Gambar 3.3** Denah pondasi tiang bor Tower 2
- Gambar 3.4** Bagan Alir Metode Pelaksanaan Penelitian
- Gambar 3.5** Kotak dialog pengaturan global pada *software* Plaxis
- Gambar 3.6** *update Mesh Generation* sebelum
- Gambar 3.7** *Initial water pressure* pada *software* Plaxis
- Gambar 3.8** Kondisi *Active Pore Pressure*
- Gambar 3.9** kondisi *Effective Stresses*
- Gambar 3.10** Pemilihan titik nodal
- Gambar 3.11** Hasil kalkulasi dan besar nilai MSF

Gambar 3.12 Hasil kalkulasi dan besar nilai MSF

Gambar 4.2 Denah bangunan Tower 2

Gambar 4.3 Denah pondasi tiang bor Tower 2

Gambar 4.4 Pondasi Tiang Bor Kelompok PC 4

Gambar 4.5 Tahanan lateral ultimit tiang ddalam tanah granular (Broms, 1964)

Gambar 4.6 Kotak dialog pengaturan global pada *software* Plaxis

Gambar 4.7 *update Mesh Generation* sebelum melakukan kalkulasi perhitungan

Gambar 4.8 *Initial water pressure* pada *software* Plaxis

Gambar 4.9 Kondisi *Active Pore Pressure*

Gambar 4.10 kondisi *Effective Stresses*

Gambar 4.11 Pemilihan titik nodal

Gambar 4.12 Hasil kalkulasi dan besar nilai MSF

Gambar 4.13 *Output* besar penurunan yang terjadi

Gambar 4.14 Grafik perbandingan nilai Q_s analitis dengan metode numerik



DAFTAR NOTASI



A_b	: Luas penampang ujung bawah tiang (m ²)
A_s	: Luas selimut tiang (m ²)
c	: Kohesi tanah (kg/cm ²)
c_u	: Kohesi undrained (kN/m ²)
d	: Diameter tiang (m)
db	: Diameter ujung bawah tiang bor (m)
dr	: Lebar refrensi
E_g	: Efisiensi kelompok tiang
E_s	: Modulus elastisitas tanah di sekitar tiang (kN/m ²)
f_b	: tahanan ujung neto per satuan luas (kPa)
f_s	: tahanan gesek satuan (kN/m ²)
L	: Panjang tiang bor (m)
m	: Jumlah baris tiang
M_y	: Momen leleh (kN-m)
n'	: jumlah tiang dalam 1 baris
N_c	: Faktor kapasitas dukung
N-SPT	: Nilai N-SPT
n	: Jumlah tiang dalam satu baris
p_o	: Tekanan overburden efektif
Q_a	: Kapasitas daya dukung ijin tiang (kN)
Q_b	: Kapasitas dukung ultimit tiang (kN)
Q_s	: Kapasitas gesek ultimit tiang (kN)
Q_u	: Kapasitas dukung ultimit netto (kN)
Q_g	: kapasitas dukung kelompok tiang (ton)
μ	: faktor koreksi
π	: konstanta lingkaran (3,14)
α	: faktor adhesi
s	: jarak antar tiang (m)
W_p	: Berat tiang (kN)
z	: Kedalaman di tengah-tengah lapisan tanah (m)

DAFTAR LAMPIRAN

Gambar Struktur Pondasi Tiang Bor

Analisa Struktur

Data Hasil Pengujian SPT

Data Laboratorium



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Salah satu bagian struktur terpenting dari sebuah konstruksi atau bangunan adalah pondasi. Dikarenakan pondasi merupakan struktur yang memiliki peranan untuk meletakkan, menahan dan meneruskan beban dari bangunan atas ke lapisan tanah yang cukup kuat guna mendukung konstruksi tersebut. Ada beberapa syarat yang harus dipenuhi dalam perencanaan pondasi, dimana beban yang diterima pondasi dari struktur di atasnya dan diteruskan ke tanah tidak melampaui kekuatan tanah tersebut. Apabila beban konstruksi yang ditopang lebih besar dari kekuatan tanah dibawahnya, bisa dipastikan penurunan dan keruntuhan yang berlebihan dari tanah akan terjadi. Efek yang ditimbulkan dari permasalahan tersebut dapat mengakibatkan kerusakan dan kegagalan pada konstruksi yang berada diatas pondasi tersebut.

Dalam dunia konstruksi terdapat 2 macam pondasi, diantaranya yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam. Pondasi dangkal merupakan pondasi yang sering digunakan apabila beban pada konstruksi dikategorikan beban ringan dan kondisi tanah pada area konstruksi tersebut cukup baik. Adapun jenis-jenis pondasi dangkal yaitu pondasi batu kali, pondasi umpak, pondasi tapak (*foot plate*), hingga pondasi rollag bata. Sedangkan pondasi dalam adalah pondasi yang digunakan pada konstruksi yang dikategorikan memiliki beban yang berat serta kondisi dan keberadaan tanah keras yg cukup dalam dari permukaan tanah sehingga pondasi ini sangat cocok digunakan pada permasalahan tersebut. Jenis-jenis pondasi dalam yang sering dijumpai pada sebuah konstruksi beban berat meliputi pondasi tiang pancang, pondasi Piers dan pondasi tiang bor (*bored pile*).

Pondasi tiang bor atau *bored pile* merupakan salah satu jenis pondasi dalam yang memiliki karakteristik fisik seperti tiang dan proses pengerjaannya yang diawali dengan pekerjaan pengeboran, setelah itu lubang hasil pengeboran diisi dengan tulangan yang sudah dirakit sebelumnya kemudian dicor. Kuat dukung

bored pile terletak pada kontak antara badan tiang dengan tanah sekitarnya yaitu tekanan ujung tiang pada tanah yang ada dibawahnya (*end bearing capacity*) yang diperoleh dari tekanan ujung tiang dan kuat dukung geser yang didapatkan dari kuat dukung gesek antara badan tiang dengan tanah yang menyelimutinya (*friction bearing capacity*). Interaksi yang dihasilkan antara pondasi tiang bor dengan tanah disekitarnya menghasilkan kuat dukung yang mampu menopang serta memberikan keamanan pada struktur diatasnya (Jusi, 2015).

Studi kasus pada penelitian ini adalah proyek pembangunan Gedung Infrastruktur BASICS Lipi Bandung yang berlokasi Jl. Sangkuriang, Komplek Lipi Gd. 20, Jl. Cisitu Lama, Dago, Kecamatan Coblong, Kota Bandung, Jawa Barat 40135 Indonesia. Bangunan utama terdiri dari 3 buah bangunan yaitu bangunan gedung Tower 1, gedung Tower 2 dan gedung *Workshop*. Juga terdapat bangunan pendukung lainnya seperti *Power House*, GWT dll. Struktur Utama Gedung Tower 1 dan Tower 2 terdiri dari masing-masing massa bangunan yang terdiri dari empat (4) lantai sistem struktur Atas, 1 lantai basement dan 1 lantai dak atap beton dengan kuda kuda baja IWF sebagai struktur penutup atap untuk bagian dak yang tidak terdapat pelat beton. Berdasarkan karakteristik struktur bangunan dan juga area lokasi rencana bangunan terdapat banyak gedung-gedung eksisting, maka untuk pondasi dalam direkomendasikan menggunakan pondasi dalam tipe tiang bor.

Analisa daya dukung pondasi dimaksudkan untuk mengetahui kemampuan tanah dalam mendukung beban dari sebuah struktur, pada proyek pembangunan Gedung Infrastruktur BASICS Lipi Bandung jenis tanah yang diketahui dari hasil penyelidikan tanah berupa tanah lempung, lempung lanauan, pasir dan pasir berkerikil serta tipe pondasi yang digunakan adalah pondasi tiang bor.

Dari faktor tersebut muncul keinginan untuk mengetahui kemampuan tanah apakah dapat mendukung beban dari struktur proyek ini. Untuk menjawab hal tersebut, maka dilakukan analisa ulang daya dukung dari pondasi tiang bor dengan menggunakan metode analitis (Metode O'Neil dan Reese (1989), Metode Skempton, Broms) dan metode numerik dengan bantuan *software* Plaxis.

Dari penjabaran latar belakang diatas, maka dari itu peneliti memilih judul tugas akhir “Analisa Daya Dukung Pondasi *Bored Pile* Dengan Metode Analitis Dan Numerik”.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun beberapa masalah yang timbul dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana hasil perhitungan kapasitas daya dukung pondasi tiang bor (*bored pile*) dengan menggunakan metode analitis berdasarkan data *Standart Penetration Test* (SPT) pada proyek pembangunan Gedung Infrastruktur BASICS Lipi Bandung?
2. Bagaimana hasil perhitungan kapasitas daya dukung pondasi tiang bor (*bored pile*) dengan menggunakan metode numerik dengan bantuan aplikasi perangkat lunak Plaxis?
3. Berapa nilai perbandingan hasil perhitungan kapasitas daya dukung pondasi tiang bor dengan menggunakan metode analitis dan numerik?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan dari rumusan masalah yang sudah dijelaskan diatas, tujuan dari penelitian ini dapat dilihat sebagai berikut:

1. Mengetahui nilai kapasitas daya dukung pondasi tiang bor (*bored pile*) dengan menggunakan metode analitis berdasarkan data *Standart Penetration Test* (SPT) pada proyek pembangunan Gedung Infrastruktur BASICS Lipi Bandung.
2. Mengetahui nilai kapasitas daya dukung pondasi tiang bor (*bored pile*) dengan menggunakan metode numerik dengan bantuan aplikasi perangkat lunak Plaxis.
3. Mengetahui nilai perbandingan kapasitas daya dukung pondasi tiang bor dengan menggunakan metode analitis dan numerik.

1.4 Batasan Masalah

Pondasi adalah struktur yang bertujuan untuk menerima beban yang ada pada sebuah konstruksi. Pondasi juga terbagi menjadi beberapa jenis dan tipe yang berbeda, untuk mencapai tujuan yang dimaksudkan dari penelitian ini perlu adanya batasan masalah yang akan diuraikan, pembahasan yang ditinjau di batasi dapat dilihat dibawah ini:

1. Lokasi penelitian adalah proyek pembangunan Gedung Infrastruktur BASICS Lipi Bandung, Jawa Barat.
2. Tiang yang ditinjau yaitu berada pada area titik BH.1, hal ini dikarenakan letak titik BH.1 tepat berada diatas struktur gedung Tower 2 yang merupakan bangunan yang memiliki kapasitas terbesar diantara bangunan yang ada di proyek tersebut.
3. Jenis tanah pada lokasi penelitian berupa tanah lempung, pasir dan pasir berkerikil.
4. Pondasi yang digunakan adalah pondasi dalam jenis tiang bore (*bored pile*).
5. Diameter pondasi tiang bor sebesar 800 mm.
6. Perhitungan daya dukung pondasi tiang bor menggunakan metode analitis yaitu: Metode O'Neil dan Reese (1989), Metode Skempton dan Broms.
7. Perhitungan daya dukung pondasi tiang bor menggunakan metode numerik dengan bantuan *software* Plaxis.
8. Perhitungan kapasitas dukung tiang bor tidak meninjau dari bahan dan material tiang.
9. Data yang digunakan dalam menganalisis merupakan data SPT dan data laboratorium yang diperoleh pihak PT. PP (Persero) Tbk
10. Tidak meninjau dari segi aspek arsitektural, rencana anggaran biaya (RAB), dan manajemen konstruksi.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian dapat dilihat dibawah ini:

1. Memberikan informasi serta wawasan bagi pembaca tentang apa itu daya dukung pondasi tiang bor.

2. Dapat dijadikan referensi dan sumber bacaan bagi pembaca yang ingin membuat penelitian tugas akhir berkaitan dengan pondasi tiang bor.
3. Diharapkan dapat bermanfaat bagi owner ataupun perencana dalam hal menyumbangkan pemikiran-pemikiran untuk merencanakan pondasi.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

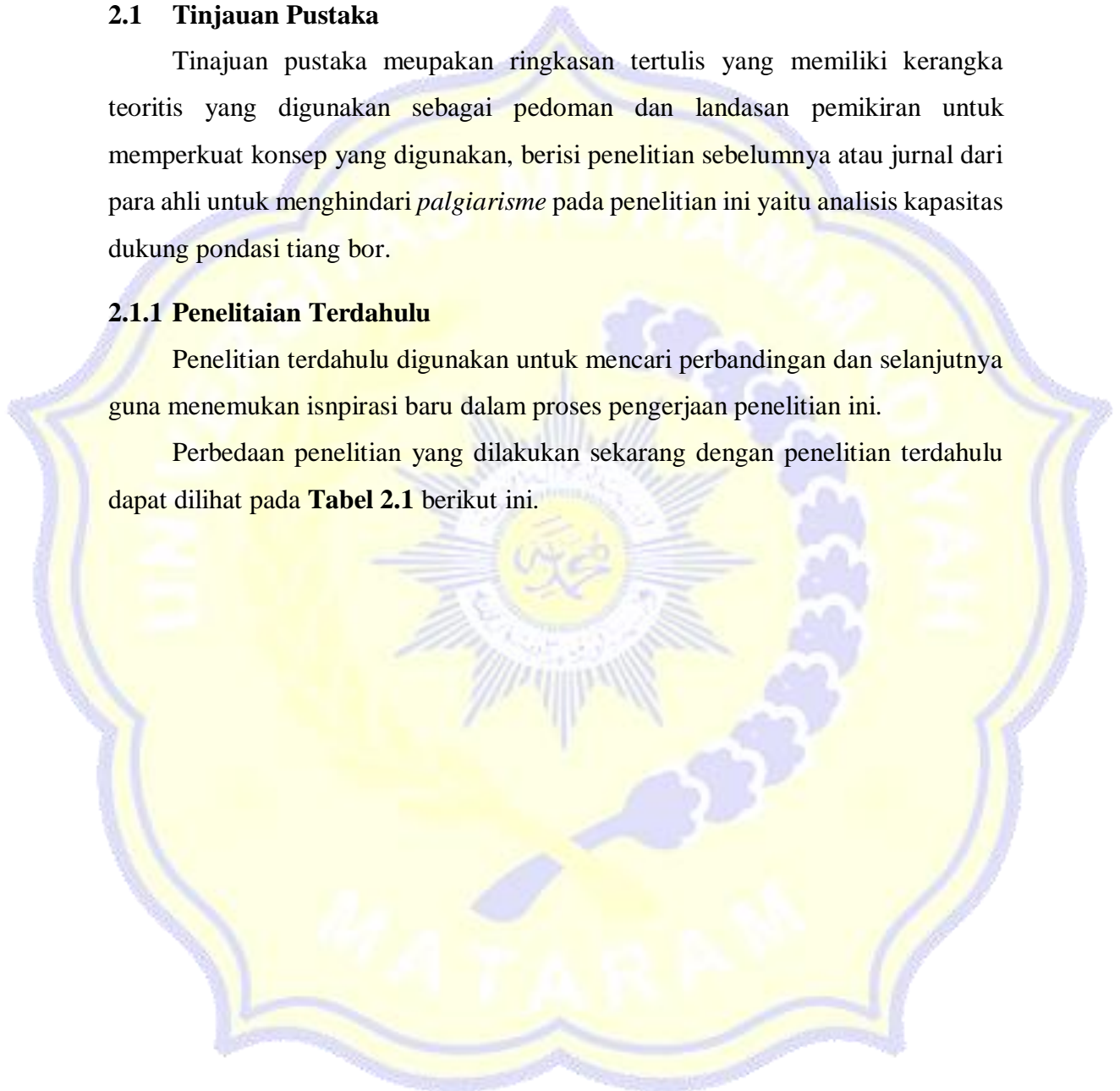
2.1 Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka merupakan ringkasan tertulis yang memiliki kerangka teoritis yang digunakan sebagai pedoman dan landasan pemikiran untuk memperkuat konsep yang digunakan, berisi penelitian sebelumnya atau jurnal dari para ahli untuk menghindari *plagiarisme* pada penelitian ini yaitu analisis kapasitas dukung pondasi tiang bor.

2.1.1 Penelitaian Terdahulu

Penelitian terdahulu digunakan untuk mencari perbandingan dan selanjutnya guna menemukan inspirasi baru dalam proses pengerjaan penelitian ini.

Perbedaan penelitian yang dilakukan sekarang dengan penelitian terdahulu dapat dilihat pada **Tabel 2.1** berikut ini.



Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Sekarang

Penelitian Terdahulu						Penelitian Yang Dilakukan
Peneliti	Hidayat (2018)	Dhiya'ul Haq (2018)	Idris (2019)	Ramadhani (2019)	Tamimi(2020)	Muhamad Za'irurrahman (2023)
Judul	Perencanaan Ulang Struktur Bawah Dengan Pondasi Bored Pile Pada Gedung White Hotel Sedan Yogyakarta	Analisis Kapasitas Dukung Fondasi Tiang Bor Kelompok Dengan Variasi Dimensi	Perencanaan PondasiTiang Bor Pada Rusunami SentralandBekasi Jawa Barat	Studi Perencanaan Pondasi Tiang Bor (<i>Bored Pile</i>) Pada Gedung Trans Mart Malang	Perencanaan Ulang Struktur Bawah Gedung Dengan Pondasi Bored Pile	Analisa Daya Dukung Pondasi <i>Bored Pile</i> Dengan Metode Analitis Dan Numerik
Metode	Metode Schmetmann, Metode Nottingham, Metode Mayerhoff dan Reese & Wright, Metode Numerik (SAP 2000)	Metode Statis (SPT & Lab), Metode Elemen Hingga, Metode Numerik (SAP 2000 & PLAXIS v8.s)	Metode Statis (SPT),Metode Mayerhoff, Metode Numerik (STAAD Pro V8i)	Metode Statis (SPT), Metode Mayerhoff, Metode Semi Empiris	Metode Skempton, Reese and Wright, Metode Numerik (ETABS)	Metode analitis (O'Neil dan Resse, Skempton), Metode numerik (<i>Plaxis 2D</i>)
Tujuan	Mengetahui Perbandingan Kapasitas Dukung Ultimit Hasil Desain Eksisting dengan Alternatif Desain Pondasi Bored Pile Kedalaman 18 m	Mengetahui Kapasitas Dukung dan Penurunan Pondasi dengan Variasi Diameter	Mengetahui Daya Dukung, Penurunan,dan Penulangan Pondasi Tiang Bor dan <i>Pilecap</i>	Mengetahui Daya Dukung , Jumlah Tulangan, dan Penurunan Pondasi Tiang Bor dan <i>Pilecap</i>	Mengetahui Daya Dukung Pondasi Bored Pile Dengan Variasi Dimensi	Mengetahui Nilai Daya Dukung Pondasi Tiang Bor Dengan Menggunakan Metode Analitis Dan Numerik
Hasil	Kapasitas Dukung Pondasi Tiang Ditentukan Oleh Kemampuan Material Tiang Untuk Menahan Beban Struktural. Tegangan Pada Tiang Lebih Kecil Dari Tegangan Ijin, Sehingga Pondasi Aman Digunakan..	Besarnya kapasitas dukung di pengaruhi oleh dimensi. Semakin besar ukuran diameter, maka daya dukung semakin besar. Untuk penurunan, semakin besar ukuran diameter, maka penurunan semakin kecil.	Berdasarkan Perhitungan Daya Dukung Digunakan Pondasi Dengan Kedalaman 20 dan 2 diameter yaitu 0,8 mdan 0,9 m	Pondasi Tiang Bor Dapat Digunakan Karena Pmax yang Dihasilkan Dari Gaya Eksentrisitas Lebih Kecil Dari Kapasitas Ijin Tiang.	Pondasi Tiang Bor Secara KeseluruhanAman Terhadap Beban Total Yang Akan Diterima	Hasil yang diharapkan pada penelitian ini adalah didapatkannya nilai daya dukung pondasi kelompok tiang bor secara keseluruhan dengan metode analitis (O'Neil dan Resse, Skempton) dan metode numerik (<i>Plaxis 2D</i>) yang aman terhadap nilai faktor aman dan kemampuan eksternal yang diterima.

(Sumber : Dhiya'ul Haq (2018), Hidayat (2018), Idris (2019), Ramadhani (2019), Tamimi (2020))

2.1.2 Tanah

Tanah adalah salah satu material yang mencakup semua bahan terdiri dari tanah lempung, pasir sampai berkrilik, dimanatanah memiliki sifat yang plastis, *homogeny, isotropis*.

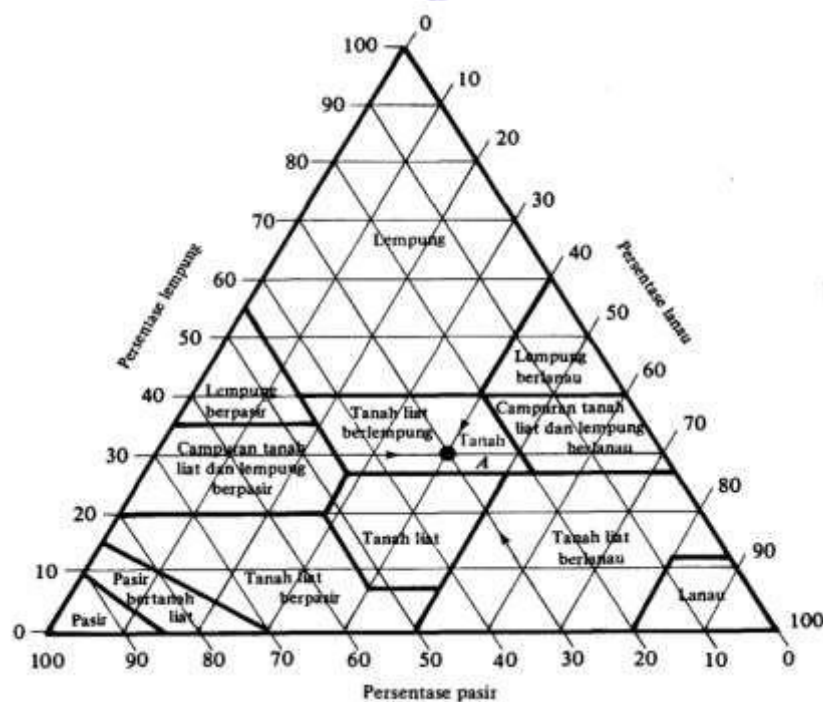
Peran tanah pada bidang teknik sipil sangat penting untuk merencanakan sebuah bangunan. Dalam bidang ini cara membedakan kategori tanah dipergunakan beberapa istilah seperti pasir, krikil, lanau dan lempung. Secara umum bangunan dibangun pada posisi atas dan ada juga di bawah permukaan tanah, oleh karena itu dibutuhkan sistem pondasi yang bertujuan untuk menyalurkan beban dari bangunan yang ditopangnya ke tanah (*Bowless, 1997*).

2.1.3 Komposisi Tanah

Di dalam bukunya Das (1995) menjelaskan definisi tanah sebagai material berupa beberapa agregat mineral-mineral padat yang tidak mengalami proses tersementasi antara satu dengan yang lainnya dan juga berasal dari bahan-bahan organik yang mengalami proses pelapukan disertai dengan zat cair dan gas lalu mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut. Tanah menjadi tumpuan awal bagi bangunan sehingga tanah memiliki peran sebagai pendukung pondasi dari bangunan. Maka dari itu, diperlukan tanah dengan kondisi yang cukup baik dalam menopang beban bangunan serta beban lain yang bekerja lalu menyebarkan beban tersebut secara merata.

Di dalam bukunya Braja M.Das (1995) dijelaskan partikel tanah memiliki ukuran yang beragam dengan variasi yang cukup besar, tanah juga pada umumnya dapat dibedakan menjadi beberapa jenis, hal ini dipengaruhi dari ukuran partikel yang paling dominan yang ada pada tanah tersebut, seperti tanah krikil (*gravel*), pasir (*sand*), lanau (*silt*), atau lempung (*clay*). Banyak organisasi mengembangkan beberapa sistem klasifikasi tanah berdasarkan tekstur dari tanah tersebut hal ini bertujuan untuk memenuhi kebutuhan mereka sendiri. Pada gambar 2.1 Departemen Pertanian Amerika (USDA) mengembangkan sebuah sistem klasifikasi tanah berdasarkan tekstur tanah. Penggunaan sistem ini berdasarkan ukuran batas butiran tanah seperti di bawah ini:

1. Pasir : Butiran berdiameter 2.0 s/d 0.05 mm
2. Lanau : Butiran berdiameter 0.05 s/d 0.002 mm
3. Lempung : Butiran berdiameter lebih kecil dari pada 0.002 mm



Gambar 2.1 Klasifikasi tanah berdasarkan tekstur
(Sumber: DAS, 1996)

2.1.4 Penyelidikan Tanah (*soil investigation*)

Pada proses perencanaan pondasi penting sekali agar dapat terlebih dahulu mengetahui keadaan maupun jenis dan sifat tanah tersebut. Apakah tanah pada lokasi rencana dapat menahan dengan baik beban di atasnya termasuk dari gaya vertikal dan horizontal. Berdasarkan dari maksud dan tujuannya, proses penyelidikan bisa dilakukan dengan cara menggali lubang (*trial-pit*), pengeboran, dan melakukan pengujian langsung di lapangan (*in-situ-test*). Berdasarkan data yang didapatkan, sifat - sifat teknis tanah dipelajari, setelah itu dipergunakan untuk

bahan pertimbangan dalam proses menganalisa daya dukung dan penurunan (Hardiyatmo, 1996).

Tuntutan kelitian penyelidikan tanah tergantung dari besar beban bangunan, tingkat keamanan yang diinginkan, kondisi lapisan tanah, dan dana yang tersedia untuk penyelidikan. Oleh karena itu, untuk bangunan-bangunan sederhana atau ringan, kadang-kadang tidak dibutuhkan penyelidikan tanah, karena kondisi tanah dapat diketahui berdasarkan pengalaman setempat (Hardiyatmo, 1996). Tujuan penyelidikan tanah , antara lain:

1. Menentukan daya dukung tanah menurut tipe fondasi yang dipilih.
2. Menentukan tipe dan kedalaman fondasi.
3. Untuk mengetahui posisi muka air tanah.
4. Untuk memprediksi besarnya nilai penurunan tanah.
5. Menentukan besarnya tekanan tanah terhadap dinding penahan tanah atau pangkal jembatan.
6. Menyelidiki kewanatan suatu struktur bila penyelidikan dilakukan pada bangunan yang telah ada sebelumnya.
7. Pada proyek jalan raya dan irigasi, penyelidikan tanah berguna untuk menentukan letak-letak saluran, gorong-gorong, penentuan lokasi dan macam bahan timbunan.

Penyelidikan tanah dibedakan menjadi dua jenis yaitu (Hardiyatmo, 1996):

1. Penyelidikan di lapangan

Jenis penyelidikan di lapangan seperti pengeboran (*Hand Boring* ataupun *Machine Boring*), *Cone Penetrometer Test* (Sondir), *Standard Penetration Test* (SPT), *Sand Cone Test* dan *Dynamic Cone Penetration*

2. Penyelidikan di laboratorium

Sifat-sifat fisik tanah dapat dipelajari dari hasil uji laboratorium pada sampel tanah yang diambil dari kegiatan pengeboran. Hasil yang diperoleh dapat digunakan untuk menghitung kapasitas daya dukung ultimit dan penurunan. Jenis penyelidikan di laboratorium terdiri dari uji *ujiindex* tanah (Atterberg Limit, Water Content, Specific Gravity, Sieve Analysis) dan

engineering properties tanah (Direct Shear Test, Triaxial Test, *Consolidation Test*, *Pearmeability Test*, *Compaction Test* dan CBR).

Dari hasil penyelidikan tanah diperoleh contoh tanah (*soil sampling*) yang dapat dibedakan menjadi dua yaitu (Hardiyatmo, 1996)

1. Contoh tanah tidak terganggu (*undisturbed soil*)

Suatu contoh tanah dikatakan tidak terganggu apabila contoh tanah itu dianggap masih menunjukkan sifat-sifat asli tanah tersebut. Sifat asli yang dimaksud adalah contoh tanah tersebut tidak mengalami perubahan pada strukturnya, kadar air, atau susunan kimianya. Contoh tanah seperti ini tidalah mungkin didapatkan, akan tetapi dengan menggunakan teknik-teknik pelaksanaan yang baik, maka kerusakan pada contoh tanah tersebut dapat diminimalisir . *Undisturbed soil* digunakan untuk percobaan *engineering properties*.

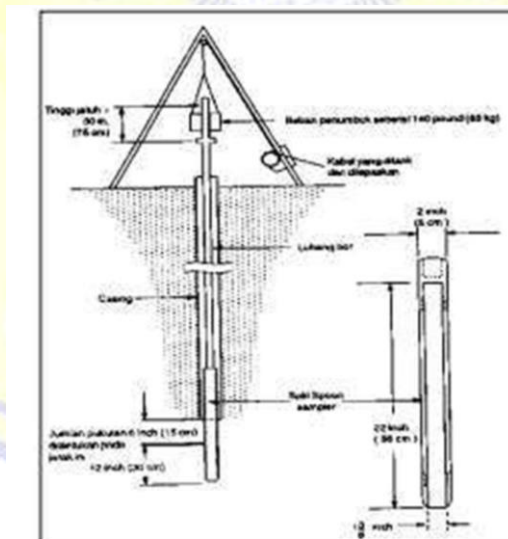
2. Contoh tanah terganggu (*disturbed soil*)

Contoh tanah terganggu adalah contoh tanah yang diambil tanpa adanya usaha-usaha tertentu untuk melindungi struktur asli tanah tersebut. *Disturbed soil* digunakan untuk percobaan uji *index properties* tanah.

2.1.5 Pengujian Standard Penetration Test (SPT)

Standard Penetration Test (SPT) sering digunakan untuk mendapatkan daya dukung tanah secara langsung di lokasi. Percobaan penetrasi standar (*standard 20 penetration test*) berasal dari Amerika Serikat. Pengujian langsung dilapangan dengan metode *Standard Penetration Test (SPT)* dilakukan dalam satu lubang bor dengan memasukkan tabung sampel yang berdiameter 35 mm sedalam 305 mm, kedalam tanah pada dasar lubang bor dengan memakai suatu beban penumbuk dengan berat 140 lb (63 kg) yang dijatuhkan dari ketinggian 30 in (75 cm). Setelah memasuki kedalam tanah 6 in (15 cm) jumlah pukulan ditentukan untuk memasukkannya kedalam sedalam 12 in (30cm) berikutnya. Jumlah pukulan ini disebut nilai N (*N value*) atau *Number of blows*, dengan satuan pukulan/kaki (*blows per foot*).

Pengujian *Standard Penetration Test* dilakukan setiap interval kedalaman pemboran 2 meter. Percobaan SPT relatif lebih sederhana bila dibandingkan dengan percobaan sondir. Selain itu, contoh tanah terganggu dapat diperoleh untuk identifikasi jenis tanah, sehingga interpretasi kuat geser dan deformasi tanah dapat diperkirakan dengan baik.



Gambar 2.2 Alat Percobaan *Penetrasi Standard*

(Sumber: Sosrodarsono & Nakazawa, 2005)

Pengamatan dan perhitungan SPT dilakukan sebagai berikut :

- a. Mula-mula tabung SPT dipukul ke dalam tanah sedalam 45 cm yaitu kedalaman yang diperkirakan akan terganggu oleh pengeboran.
- b. Kemudian untuk setiap kedalaman 15 cm dicatat jumlah pukulan yang dibutuhkan untuk memasukkannya.
- c. Jumlah pukulan untuk memasukkan *split spoon* 15 cm pertama dicatat sebagai N1. Jumlah pukulan untuk memasukkan 15 cm kedua adalah N2 dan jumlah pukulan untuk memasukkan 15 cm ketiga adalah N3 . Jadi total kedalaman setelah pengujian SPT adalah 45 cm dan menghasilkan N1, N2, dan N3.
- d. Angka SPT ditetapkan dengan menjumlahkan 2 angka pukulan terakhir (N2+N3) pada setiap interval pengujian dan dicatat pada lembaran *Drilling Log*.
- e. Setelah selesai pengujian, tabung SPT diangkat dari lubang bor ke permukaan tanah untuk diambil contoh tanahnya dan dimasukkan ke dalam kantong plastik untuk diamati di laboratorium.

Kemudian hasil dari pekerjaan bor dan SPT dituangkan dalam lembaran *drilling log*. Uji SPT dapat dihentikan jika jumlah pukulan melebihi 50 kali sebelum penetrasi 30 cm tercapai.

Tujuan Percobaan SPT yaitu :

- Untuk menentukan kepadatan relatif dan sudut geser (ϕ) lapisan tanah tersebut dari pengambilan contoh tanah dengan tabung.
- Dapat diketahui jenis tanah dan ketebalan dari setiap lapisan tanah.
- Untuk memperoleh data yang kumulatif pada perlawanan penetrasi tanah dan menetapkan kepadatan dari tanah yang tidak berkohesi yang biasanya sulit diambil sampelnya.

Tabel 2.2 Hubungan Dr, ϕ dan N dari pasir (Peck, Meyerhoff)

Nilai N	Kepadatan Relatif (Dr)		Sudut Geser Dalam	
			Menurut Peck	Menurut Meyerhoff
0-4	0,0-0,2	Sangat lepas	<28,5	<30
4-10	0,2-0,4	Lepas	28,5-30	30-35
10-30	0,4-0,6	Sedang	30-36	35-40
30-50	0,6-0,8	Padat	36-41	40-45
> 50	0,8-1,0	Sangat padat	> 41	> 45

(Sumber: Sosrodarsono, 2000)

Tabel 2.3 Hubungan Dr, ϕ dan N dari pasir (Terzaghi)

Relative Density (Dr)	N
Very Soft / Sangat Lunak	< 2
Soft / Lunak	2 – 4
Medium / Kenyal	4 – 8
Stiff / Sangat Kenyal	8 – 15
Hard / Keras	15 – 30
Padat	> 30

(Sumber: Sosrodarsono, 2000)

Keuntungan dan kerugian pengujian SPT (*Standard Penetration Test*) adalah sebagai berikut:

1. Keuntungan:

- Dapat diperoleh nilai N dan contoh tanah (terganggu).
- Prosedur pengujian sederhana, dapat dilakukan secara manual.
- Dapat digunakan pada sembarang jenis tanah dan batuan lunak.
- Pengujian SPT pada pasir, hasilnya dapat digunakan secara langsung untuk memprediksi kepadatan relatif dan kapasitas daya dukung tanah.

2. Kerugian:

- Sampel dalam tabung SPT diperoleh dalam kondisi terganggu.
- Nilai N yang diperoleh merupakan data sangat kasar, bila digunakan untuk tanah lempung.
- Derajat ketidak pastian hasil uji SPT yang diperoleh bergantung pada kondisi alat dan operator.
- Hasil tidak dapat dipercaya dalam tanah yang mengandung banyak kerikil.

2.1.6 Pondasi

Pondasi adalah bagian terendah dari bangunan yang meneruskan beban bangunan ke tanah atau batuan yang berada di bawahnya. (Hardiyatmo, 1996).

Pondasi adalah bagian terendah dari bangunan yang meneruskan beban bangunan ke tanah atau batuan yang berada di bawahnya. (Hardiyatmo, 1996). Terdapat dua kalsifikasi pondasi, yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam. Pondasi dangkal dapat diartikan sebagai pondasi yang mendukung bebannya secara langsung seperti: pondasi telapak, pondasi memanjang dan pondasi rakit. Pondasi dalam dapat diartikan sebagai pondasi yang meneruskan beban bangunan ke tanah keras atau batuyang letaknya relative jauh dari permukaan tanah, contohnya pondasi sumuran dan pondasi tiang.

Semua konstruksi yang direkayasa untuk bertumpu pada tanah harus didukung oleh suatu pondasi. Pondasi ialah bagian dari suatu sistem rekayasa yang meneruskan beban yang ditopang oleh suatu pondasi dan berat sendiri kepada dan kedalam tanah dan batuan yang terletak dibawahnya (Bowles, 1997).

Istilah struktur-atas umumnya dipakai untuk menjelaskan bagian sistem yang direkayasa yang membawa beban kepada pondasi atau struktur –bawah. Istilah struktur-bawah memiliki arti bahwa struktur yang di rekayasa dibagian bawah dari suatu bangunan atau struktur yang berfungsi menerima beban dari struktur-atas dan bebannya sendiri, lalu menyalurkan beban tersebut ke bagian dasar bangunan itu yaitu tanah keras atau batu. Untuk merancang atau merekayasa suatu pondasi atau struktur-bawah banyak yang harus dipertimbangkan dan syarat

yang dipenuhi. Berikut persyaratan dan langkah-langkah minimum untuk mereancang ataupun merekayasa pondasi menurut Joseph E. Bowles (1997):

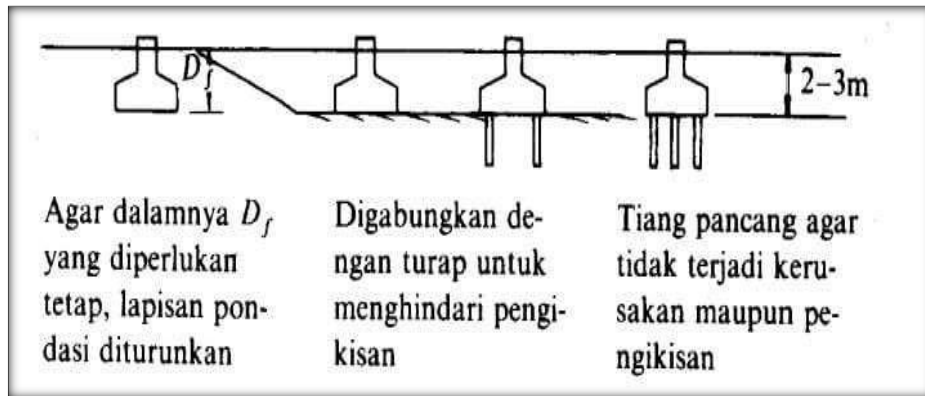
- 1) Menentukan lokasi tapak dan posisi muatan. Perkiraan kasar beban-beban pondasi biasanya disediakan oleh nasabah atau dihitung sendirinya (*in-house*). Tergantung dari kepelikan sistem beban atau tapak, maka dapat dimulai membuat tinjauan kepustakaan untuk mengetahui bagaimana orang lain berhasil mengadakan pendekatan tase masalah yang sama.
- 2) Pemeriksaan fisik atas tapak tentang adanya setiap masalah geologis atau masalah-masalah lain, bukti-bukti dari kemungkinan lain adanya permasalahan. Lengkapilah hal-hal ini dengan segala data pertanahan yang telah diperoleh sebelumnya.
- 3) Menetapkan program eksplorasi lapangan dan penyusun pengujian pelengkap lapangan yang perlu atas dasar temuan, serta menyusun program uji laboratorium.
- 4) Menentukan parameter racangan tanah yang perlu berdasarkan pengintegrasian data uji, asas-asas, ilmiah dan pertimbangan rekayasa. Hal ini mungkin melibatkan analisa computer yang bersifat sederhana atau rumit. Untuk masalah-masalah yang kompleks, bandingkanlah data yang dianjurkan dengan kepustakaan yang pernah diterbitkan atau gunakanlah konsultan geoteknis yang lain agar hasil-hasilnya member prespektif menurut sumber luar.
- 5) Membuat rancang pondasi dengan menggunakan parameter-parameter tanah menurut langkah no.4. Laksanakan interaksi yang erat dengan semua pihak yang berkepentingan (nasabah, para rekayasa, arsitek, kontraktor) sehingga sistem struktur-bawah di rancang secara tidak berlebihan dan resiko dijaga agar berada pada tingkat-tingkat yang dapat diterima.

Sosrodarsono dan Nakazawa (1980) menjelaskan, bahwa untuk memilih pondasi yang sesuai, perlu diperhatikan apakah pondasi tersebut cocok untuk digunakan dalam berbagai keadaan dilapangan dan apakah pondasi tersebut memungkinkan untuk diselesaikan secara ekonomis dan efisien dengan jadwal kerja. Apabila keadaan-keadaan tersebut ikut serta dalam pertimbangan dalam menentukan pondasi, hal-hal berikut ini perlu dipertimbangkan:

- 1) Keadaan tanah pondasi
- 2) Batasan-batasan akibat konstruksi di atasnya
- 3) Batasan-batasan dari sekelilingnya.
- 4) Waktu dan biaya pekerjaan.

Dari hal-hal di atas, jelas bahwa keadaan tanah pondasi pada urutan no.1 yang merupakan keadaan paling penting dan perinciannya. Berikut ini adalah jenis-jenis pondasi yang sesuai dengan keadaan tanah pondasi yang bersangkutan (Sosrodarsono dan Nakazawa, 1980):

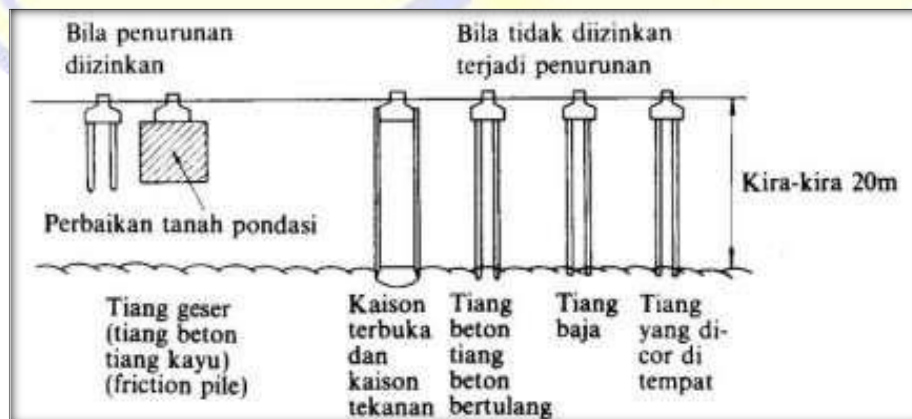
- 1) Bila tanah pendukung pondasi terletak pada permukaan tanah atau 2-3 meter dibawah permukaan tanah (Gambar 2.3), dalam hal ini pondasinya adalah pondasi telapak (*spread foundation*).
- 2) Bila tanah pendukung pondasi tanah terletak pada kedalaman 10 meter dibawah permukaan tanah, dalam hal ini pondasi yang dipakai pondasi tiang atau pondasi tiang apung (*floating pile foundation*) untuk memperbaiki tanah pondasi (Gambar 2.4). Jika memakai tiang, maka tiang baja atau tiang beton yang dicor ditempat (*cast in place*) kurang ekonomis, karena tiang kurang panjang.
- 3) Bila tanah pondasi terletak pada kedalaman 20 meter dibawah permukaan tanah, dalam hal ini tergantung dari penurunan (*settlement*) yang diizinkan, dapat dipakai pondasi seperti Gambar 2.5. Apabila tidak boleh terjadi penurunan, biasanya dipakai pondasi tiang pancang (*pile driven foundation*). Tetapi bila terdapat batu besar (*cobble stones*) pada lapisan antara, pemakaian kaison lebih menguntungkan.
- 4) Bila tanah pendukung pondasi terletak pada kedalaman sekitar 30 meter dibawah permukaan tanah, biasanya dipakai kaison terbuka, tiang baja atau tiang yang dicor di tempat, seperti diperlihatkan dalam Gambar 2.6. Tetapi apabila tekanan atmosfer yang bekerja ternyata kurang dari 3 kg/cm^3 digunakan juga kaison tekanan.
- 5) Bila tanah pendukung pondasi terletak pada kedalaman lebih dari 40 meter dibawah permukaan tanah, dalam hal ini yang paling baik adalah tiang baja dan tiang beton yang dicor ditempat (*cast in place*).



Gambar 2.3 Contoh pondasi jika lapisan pendukung pondasi cukup dangkal
(Sumber: Sosrodarsono dan Nakazawa, 2000).

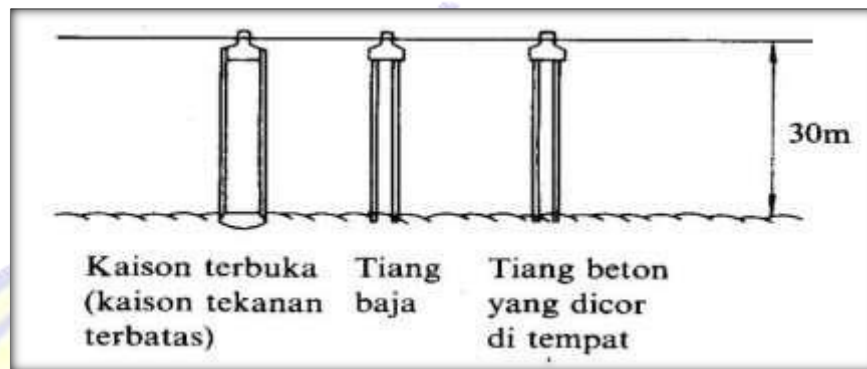


Gambar 2.4 Contoh pondasi jika lapisan pendukung pondasi berada sekitar 10 meter dibawah permukaan tanah
(Sumber: Sosrodarsono dan Nakazawa, 2000).



Gambar 2.5 Contoh pondasi jika lapisan pendukung pondasi berada sekitar 20 meter dibawah permukaan tanah

(Sumber: Sosrodarsono dan Nakazawa, 2000).



Gambar 2.6 Contoh pondasi jika lapisan pendukung pondasi berada sekitar 30 meter dibawah permukaan tanah

(Sumber: Sosrodarsono dan Nakazawa, 2000).

2.1.1 Pondasi Tiang Bor (*Bored Pile*)

Pondasi tiang bor adalah jenis pondasi dalam yang menggunakan metode pembuatan tiang dengan cara mengebor tanah menggunakan mesin bor khusus. Proses ini melibatkan penetapan lubang pada tanah hingga mencapai lapisan yang memiliki kekuatan yang memadai. Kemudian, tiang beton yang kuat dibuat dengan memasukkan tulangan besi ke dalam lubang yang telah dibor dan menumpahkan beton secara bertahap saat tiang bor ditarik ke atas.

Pondasi tiang bor memiliki karakteristik khusus, hal ini diakibatkan karena pada saat pelaksanaannya yang dapat mengakibatkan perbedaan perilakunya di bawah pembebanan dibandingkan dengan pondasi tiang pancang. Hal-hal yang mengakibatkan perbedaan tersebut diantaranya:

- Proses pekerjaan pondasi tiang bor dilakukan dengan menggali lubang bor kemudian mengisinya dengan adukan beton, sedangkan tiang pancang proses pekerjaannya dilakukan dengan cara memancang tiang ke tanah dengan mendesak tanah disekitarnya (*displacement pile*).

- b. Adukan beton yang digunakan pada pekerjaan tiang bor dicor dalam keadaan basah dan beton tersebut mengalami proses *curing* di bawah tanah.
- c. Dalam kondisi tertentu penggunaan casing diperlukan guna memperoleh kestabilan dinding lubang bor.
- d. Dalam kondisi tertentu penggunaan *slurry* dibutuhkan untuk mendapatkan kestabilan lubang bor yang bertujuan membentuk lapisan lumpur pada dinding hasil galian yang mempengaruhi mekanisme gesekan tiang antara tanah disekitarnya.
- e. Metode penggalian lubang bor tersebut harus disesuaikan dengan kondisi tanah rencana pekerjaan (Rahardjo 2000).



Gambar 2.7 Pondasi Tiang Bor (*Bored Pile*)

(Sumber: Dokumentasi pribadi)

Keuntungan dalam pemakaian tiang bor (*bored pile*) dibandingkan dengan tiangpancang adalah:

1. Pada proses pekerjaan pondasi tiang bor tidak menimbulkan polusi suara serta getaran yang beresiko membahayakan dan menimbulkan kerusakan pada bangunan disekitarnya.
2. Dapat mengurangi kebutuhan material beton dan tulangan *dowel* yang ada

pada struktur *pile cap*. Struktur kolom juga dapat secara langsung di letakkan pada bagian atas tiang bor. yang ada

3. Kedalaman tiang dapat disesuaikan dengan kebutuhan yang diperlukan.
4. Tanah pada rencana pekerjaan dapat diperiksa serta dicocokkan dengan hasil data yang diperoleh dari laboratorium.
5. Pondasi tiang bor dapat diaplikasikan untuk menembus batuan keras, sedangkan pondasi tiang pancang akan mengalami kendala jika pada saat proses pemancangan menembus lapisan batu keras.
6. Diameter tiang bor dapat disesuaikan dan dibuat lebih besar, ujung bawah tiang dapat juga dibuat lebih besar hal ini bertujuan untuk memperbesar kapasitas dukung dari pondasi tersebut.

Meskipun pondasi tiang bor memiliki beberapa keuntungan, seperti yang telah disebutkan sebelumnya, ada beberapa kerugian yang perlu dipertimbangkan sebelum memilih metode ini. Beberapa kerugian potensial dari pondasi tiang bor adalah sebagai berikut:

1. Biaya yang lebih tinggi, pembuatan pondasi tiang bor biasanya lebih mahal daripada pondasi konvensional, seperti pondasi strip atau pondasi telapak. Proses pembuatan tiang bor melibatkan penggunaan mesin bor khusus dan kebutuhan akan bahan-bahan tambahan, seperti tulangan besi. Hal ini dapat meningkatkan biaya keseluruhan proyek konstruksi.
2. Pada proses pekerjaan pengecoran tiang bor (*bored pile*) dipengaruhi oleh kondisi cuaca.
3. Kualitas mutu beton hasil pengecoran jika tidak terjamin keseragamannya, dapat mengurangi nilai kapasitas dukung tiang bor, terutama apabila kedalaman dari tiang bor cukup jauh dari permukaan.
4. Tanah yang ada pada lubang bor dapat terganggu apabila air masuk ke dalamnya, hal tersebut dapat memperkecil nilai kapasitas dukung tiang bor (Hardiyatmo, 2015:398).

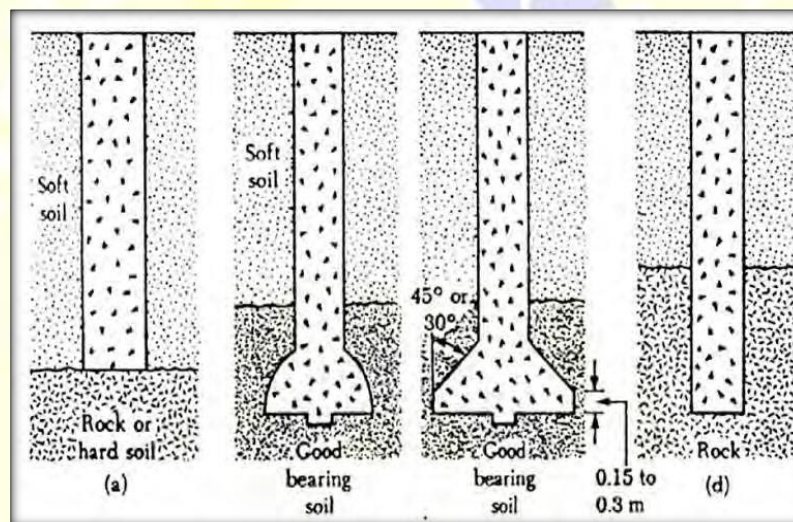
Penting untuk mencatat bahwa setiap proyek konstruksi memiliki kebutuhan dan tantangan yang unik. Sebelum memutuskan penggunaan pondasi tiang bor, penting untuk melakukan analisis menyeluruh tentang kondisi tanah, beban

struktural, anggaran, dan faktor-faktor lain yang relevan untuk memastikan metode pondasi yang dipilih adalah yang paling sesuai dan efektif dalam konteks proyek tersebut.

2.1.7 Jenis – Jenis Pondasi Tiang Bor (*Bored pile*)

Ada berbagai jenis pondasi bore pile yaitu:

- a. *Bored pile* lurus yang diperuntukan untuk tanah keras.
- b. *Bored pile* yang memiliki ujung lebih besar dan berbentuk bel.
- c. *Bored pile* yang memiliki ujung lebih besar dan berbentuk trapezium.
- d. *Bored pile* lurus yang diperuntukan untuk tanah berbatu.



Gambar 2.8 Jenis-Jenis Pondasi Tiang Bor (*Bored Pile*)

(Sumber: Sosrodarsono dan Nakazawa, 2000)

Ada beberapa jenis alat dan metode dalam pengerjaan pondasi tiang bor (*bored pile*), namun pada dasarnya sama diantaranya:

1. *Bored Pile Mini Crane*

Bored pile mini crane merujuk pada penggunaan kran mini dalam proses pembuatan pondasi tiang bor. Kran mini merupakan jenis kran yang lebih kecil dan kompak, dirancang untuk digunakan di area yang terbatas atau sulit dijangkau oleh kran konvensional yang lebih besar.

Dalam konteks pembuatan pondasi tiang bor, penggunaan *bored pile mini crane* mengacu pada penggunaan kran mini untuk membantu dalam proses pengeboran dan penarikan tiang bor. Kran mini digunakan untuk mengangkat dan menurunkan mesin bor khusus dan perlengkapan lainnya yang dibutuhkan untuk pembuatan tiang bor. Hal ini memungkinkan akses yang lebih mudah dan efisien ke area konstruksi yang sempit atau terbatas.



Gambar 2.9 Pekerjaan *Bored Pile* dengan alat *Mini Crane*
(Sumber: CV. Jogjacamp, 2017)

2. *Bored Pile* Mesin Gawang

Bored pile mini crane merujuk pada penggunaan kran mini dalam proses pembuatan pondasi tiang bor. Kran mini merupakan jenis kran yang lebih kecil dan kompak, dirancang untuk digunakan di area yang terbatas atau sulit dijangkau oleh kran konvensional yang lebih besar.

Dalam konteks pembuatan pondasi tiang bor, penggunaan *bored pile mini crane* mengacu pada penggunaan kran mini untuk membantu dalam proses pengeboran dan penarikan tiang bor. Kran mini digunakan untuk mengangkat dan menurunkan mesin bor khusus dan perlengkapan lainnya yang dibutuhkan untuk pembuatan tiang bor. Hal ini memungkinkan akses yang lebih mudah dan efisien ke area konstruksi yang sempit atau terbatas.



Gambar 2.10 *Bored Pile* Mesin Gawang

(Sumber: CV. Jogjacamp, 2017)

3. *Bored Pile* Manual/ *Strauss Pile*

Bored pile manual atau *Strauss pile* adalah jenis pondasi tiang bor yang menggunakan metode manual tanpa menggunakan mesin bor atau mesin gawang. Metode ini ditemukan oleh Friedrich Ernst Adolf Strauss, seorang insinyur Jerman, pada tahun 1900.

Dalam *bored pile manual* atau *Strauss pile*, proses pembuatan tiang bor dilakukan secara manual dengan menggunakan alat yang disebut "tajam bor" (*auger*). Tajam bor ini biasanya berbentuk spiral dengan ujung runcing yang digerakkan dengan tangan atau dengan bantuan alat pengayak tangan.



Gambar 2.11 *Bored Pile* Manual

(Sumber: CV. Jogjacamp, 2017)

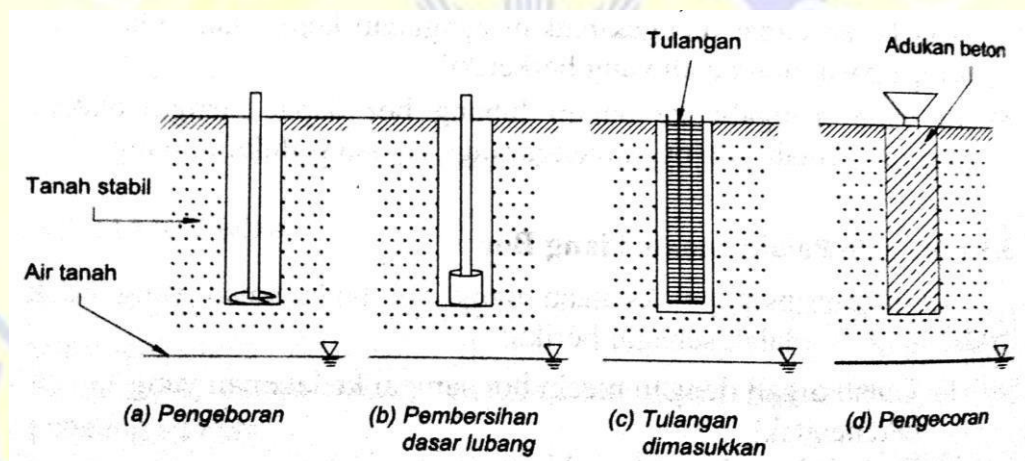
Berikut prinsip-prinsip dalam pelaksanaan pekerjaan tiang bor pada tanah yang tidak mudah longsor dapat dilihat dibawah ini:

- a. Pengeboran tanah dilakukan dengan mesin bor hingga kedalaman yang sudah ditentukan.
- b. Area dasar dari lubang bor harus dibersihkan.
- c. Besi tulangan yang sudah dirakit sebelumnya dimasukkan ke dalam lubang bor.
- d. Lubang bor diisi/dicor dengan material beton

Terdapat tiga metode dalam pelaksanaan pekerjaan pembuatan tiang bor, yaitu sebagai berikut:

1. Metode Kering

Penggunaan metode kering ini pada umumnya dilakukan apabila pada tanah di atas muka air tanah yang ketika dibor dinding lubangnya tidak longsor, seperti pada jenis tanah lempung kaku *homogeny*.

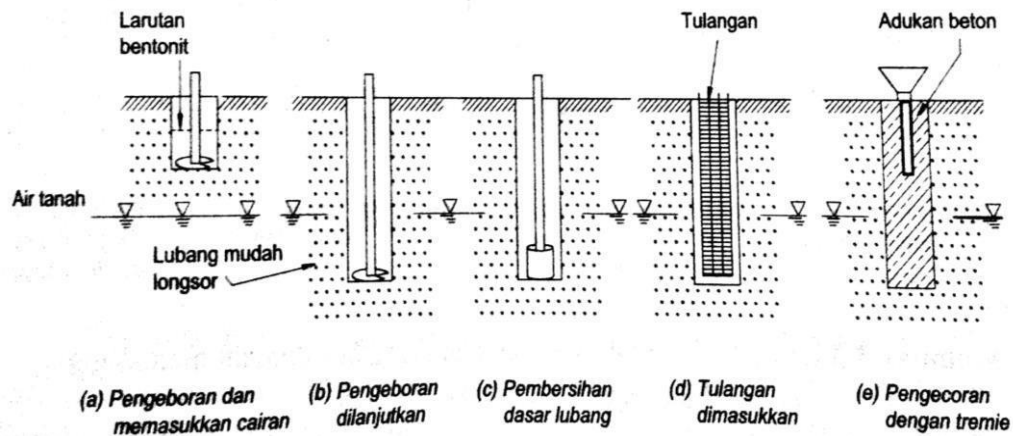


Gambar 2.12 Langkah-langkah pengerjaan tiang bor dengan metode kering

(Sumber: Hardiyatmo, 2015)

2. Metode Basah

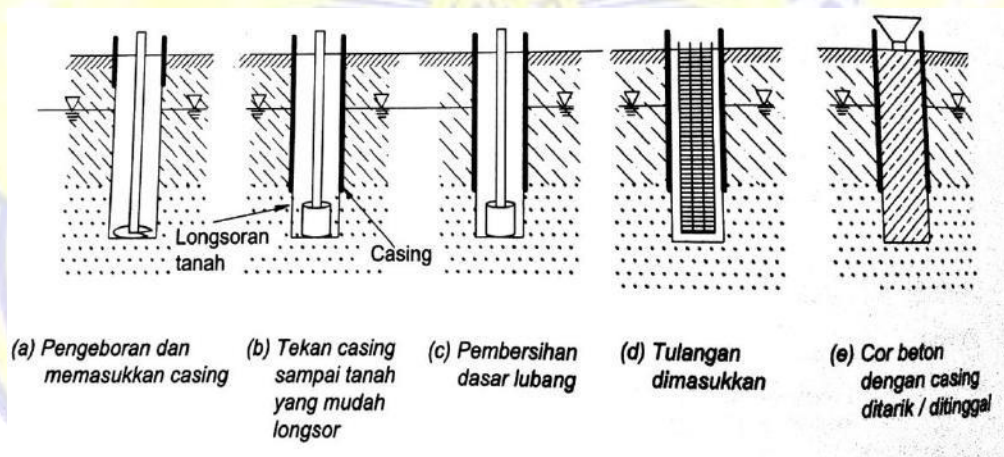
Metode basah akan dilakukan jika saat pengeboran lubang rencana pondasi tiang bor melewati muka air tanah, sehingga lubang bor akan selalu longsor jika dinding tanah disekitar pengeboran tidak ditahan. Pencegahan yang dapat dilakukan agar lubang tidak longsor, di dalam lubang bor tersebut akan diisi dengan larutan tanah lempung/*bentonite*.



Gambar 2.13 Langkah-langkah pengerjaan tiang bor dengan metode basah
(Sumber: Hardiyatmo, 2015)

3. Metode *Casing*

Metode ini biasa digunakan apabila lubang bor mudah longsor, contohnya kondisi tanah di lokasi adalah pasir bersih di bawah muka air tanah. Untuk menahan agar lubang tidak longsor digunakan pipa selubung baja (*casing*).



Gambar 2.14 Langkah-langkah pengerjaan tiang bor dengan metode pemasangan casing

(Sumber: Hardiyatmo, 2015)

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Perencanaan Pondasi Tiang Bor (*Bored Pile*)

Daya dukung pondasi tiang bor mengikuti rumus umum yang diperoleh dari penjumlahan tahanan ujung dan tahanan selimut tiang. Sebagaimana formula umum dapat dinyatakan dalam bentuk:

$$Q_u = Q_p + Q_s \quad (2.1)$$

dengan,

Q_u : Daya dukung ultimit tiang (ton).

Q_p : Daya dukung ultimit ujung tiang (ton).

Q_s : Daya dukung ultimit selimut tiang (ton) (Rahardjo, 2000).

2.2.2 Pelaksanaan Pekerjaan Pondasi Tiang Bor (*Bored Pile*)

Ketahanan dan kualitas sebuah pondasi tiang bergantung pada proses pelaksanaannya. Pemilihan alat yang digunakan harus sesuai standar yang ada, cara dan tahapan pelaksanaan (*workmanship*) yang baik serta pengawasan yang teliti pada proses pelaksanaan pekerjaan pondasi tiang bor sangatlah penting.

Pada pekerjaan pondasi tiang bor melibatkan beberapa tahapan serta proses yang perlu diikuti sesuai syarat-syarat yang ada. Berikut merupakan tahapan – tahapan umum dalam pelaksanaan pekerjaan pondasi tiang bor:

1. Persiapan dan Perencanaan:
 - Melakukan survei tanah dan analisis geoteknik untuk menentukan karakteristik tanah dan desain pondasi yang sesuai.
 - Menyusun rencana pelaksanaan pekerjaan pondasi tiang bor, termasuk jadwal, peralatan, dan material yang diperlukan.
2. Pembersihan Area:
 - Membersihkan area yang akan menjadi lokasi pondasi tiang bor dari vegetasi, bebatuan, dan material yang menghalangi.
3. Pengeboran Lubang:
 - Menggunakan alat bor yang sesuai, membuat lubang di tanah dengan diameter dan kedalaman yang telah ditentukan dalam desain.

- Selama proses pengeboran, memantau dan mengumpulkan sampel tanah untuk analisis lebih lanjut jika diperlukan.
4. Pembersihan Lubang:
 - Setelah pengeboran selesai, membersihkan lubang dari material yang longgar atau lumpur yang terbentuk selama proses pengeboran.
 5. Pemasangan Tiang Beton:
 - Menurunkan tiang beton ke dalam lubang dengan menggunakan alat pengangkat atau crane.
 - Memastikan tiang berada dalam posisi yang tepat dan tegak lurus.
 6. Penguatan:
 - Jika diperlukan, memasang tulangan baja ke dalam tiang untuk meningkatkan kekuatannya.
 - Pastikan tulangan terhubung dengan baik ke struktur pondasi lainnya.
 7. Pencampuran dan Pengisian Beton:
 - Mencampur beton sesuai dengan spesifikasi desain.
 - Mengisi lubang dengan beton menggunakan metode yang sesuai, seperti menggunakan pompa beton atau tremie pipe.
 - Pastikan beton terdistribusi dengan baik di sekitar tiang dan tidak ada rongga udara yang terperangkap.
 8. Perawatan dan Pematatan:
 - Setelah pengisian beton selesai, melakukan pematatan beton dengan menggunakan alat pemadat atau vibrator.
 - Melindungi pondasi dari curah hujan yang berlebihan dengan penggunaan pelindung sementara seperti terpal atau penutup plastik.

Selama seluruh proses pelaksanaan pekerjaan pondasi tiang bor, penting untuk mematuhi standar keselamatan yang relevan dan melibatkan tenaga kerja yang terampil dan berpengalaman. Dalam beberapa kasus, pengujian beban juga dapat dilakukan setelah selesainya pondasi untuk memverifikasi kapasitas dukung yang telah diestimasi.

2.2.3 Teori Daya Dukung

Menurut Hardiyatmo (1996), analisis daya dukung mempelajari kemampuan tanah dalam mendukung beban pondasi struktur yang terletak di atasnya. Daya dukung menyatakan tahanan geser tanah untuk melawan penurunan akibat pembebanan, yaitu tahanan geser yang dapat dikerahkan oleh tanah di sepanjang bidang-bidang gesernya.

Persyaratan-persyaratan yang harus dipenuhi dalam perancangan pondasi adalah:

1. Faktor aman terhadap keruntuhan akibat terlampauinya daya dukung harus dipenuhi. Dalam hitungan daya dukung, umumnya digunakan faktor aman 3.
2. Penurunan pondasi harus masih dalam batas-batas nilai yang ditoleransikan. Khususnya penurunan yang tak seragam (*differential settlement*) harus tidak mengakibatkan kerusakan pada struktur.

Untuk terjaminnya stabilitas jangka panjang, perhatian harus diberikan pada peletakan dasar pondasi. Pondasi harus diletakkan pada kedalaman yang cukup untuk menanggulangi risiko erosi permukaan, gerusan, kembang susut tanah, dan gangguan tanah di sekitar pondasi lainnya.

Analisis-analisis daya dukung dilakukan dengan cara pendekatan untuk memudahkan hitungan. persamaan-persamaan yang dibuat, dikaitkan dengan sifat-sifat tanah dan bentuk bidang geser yang terjadi saat keruntuhan. Analisisnya dilakukan dengan menganggap bahwa tanah berkelakuan sebagai bahan bersifat plastis. Konsep ini pertama kali diperkenalkan oleh Prandtl (1921), yang kemudian dikembangkan oleh Terzaghi (1943), Meyerhoff (1955), De Beer dan Vesic (1958). Persamaan-persamaan daya dukung tanah yang diusulkan, umumnya didasarkan pada persamaan Mohr-Coulomb:

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \varphi \quad (2.2)$$

dengan,

τ : s = Tahanan geser tanah

c : Kohesi tanah

φ : Sudut gesek dalam tanah

σ : Tegangan normal

2.2.4 Kapasitas Daya Dukung Pondasi Tiang Bor (Bored Pile)

Pondasi tiang ataupun *bored pile* berfungsi menyalurkan beban dari struktur atas ke tanah di bawahnya melalui dua mekanisme, yaitu melalui daya dukung ujung tiang dan juga daya dukung selimut tiang. Menurut *Vesic (1977)*, pondasi dalam atau pondasi tiang dibutuhkan untuk keadaan sebagai berikut:

- a. Lapisan tanah bagian atas sangat kompresibel dan terlalu lemah untuk memikul beban dari gedung sehingga harus dipikul oleh lapisan tanah yang terletak lebih dalam.
- b. Jika ada gaya horizontal, pondasi tiang menahan momen namun juga tetap menahan beban vertical dari atas.
- c. Jika lapisan tanah di bawah struktur merupakan tanah yang ekspensif dan mudah runtuh.
- d. Struktur yang diharapkan dapat menahan gaya angkat air (*uplift*) yang besar, misalnya menara transmisi dan *offshore* platforms.
- e. Abutment dan pier pada jembatan, digunakan pondasi tiang untuk menghindari penurunan kapasitas daya dukung tanah yang mungkin terjadi pada pondasi dangkal akibat adanya erosi tanah.

Daya dukung ultimit pondasi bore pile dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$Q_u = Q_P + Q_S \quad (2.3)$$

2.2.5 Kapasitas Daya Dukung Pondasi Tiang Bor Dengan Data SPT

Standart Penetration Test (SPT) telah memperoleh popularitas dimana-mana sejak tahun 1927 dan telah diterima sebagai uji tanah rutin di lapangan. SPT dapat dilakukan dengan cara yang relatif mudah sehingga tidak membutuhkan keterampilan khusus dari pemakainnya.

Metode pengujian tanah dengan SPT termasuk cara yang cukup ekonomis untuk memperoleh informasi mengenai kondisi di bawah permukaan tanah dan diperkirakan 80% dari desain pondasi untuk gedung bertingkat menggunakan cara

ini. Karena banyaknya data SPT, korelasi empiris telah banyak memperoleh kemajuan.

Alat uji ini terdiri dari beberapa komponen yang sederhana, mudah ditransportasikan, dipasang dan mudah memeliharanya. Pandangan para ahli masih sama yaitu bahwa alat ini akan terus dipakai untuk penyelidikan tanah rutin karena relative masih ekonomis dan dapat diandalkan (Rahardjo, 2000).

Standart Penetration Test (SPT) adalah sejenis percobaan dinamis dengan memasukan suatu alat yang dinamakan *split spoon* ke dalam tanah. Dengan percobaan ini akan diperoleh kepadatan relative (*relative density*), sudut geser tanah (θ) berdasarkan nilai jumlah pukulan (N). Perkiraan kapasitas daya dukung pondasi bore pile pada tanah pasir dan *silt* didasarkan pada data uji lapangan SPT, ditentukan dengan perumusan Meyerhoff.

Data tanah sangat diperlukan dalam merencanakan kapasitas daya dukung (*bearing capacity*) dari tiang sebelum pembangunan dimulai.

Tahanan ujung ultimit tiang (Q_b) dihitung dengan persamaan:

$$Q_b = A_b \cdot f_b \quad (2.4)$$

Tahanan gesek dinding tiang (Q_s) dihitung dengan persamaan:

$$Q_s = A_s \cdot f_s \quad (2.5)$$

Kapasitas daya dukung ultimit tiang (Q_u) adalah jumlah dari tahanan ujung ultimit tiang (Q_b) dan tahanan gesek dinding tiang (Q_s) antara sisi tiang dan tanah di sekitarnya dinyatakan dalam persamaan berikut ini (Hardiyatmo, 2010):

$$Q_u = Q_b + Q_s = A_b \cdot f_b + A_s \cdot f_s \quad (2.6)$$

dengan,

Q_b : Tahanan ujung ultimit tiang

Q_s : Tahanan gesek dinding tiang

A_b : Luas ujung tiang bawah

A_s : Luas selimut tiang

f_b : Tahanan ujung satuan tiang

f_s : Tahanan gesek satuan tiang

2.2.6 Kapasitas Dukung Pondasi Tiang Bor Pada Tanah Granuler

Menurut Hardiyatmo (2015) pemasangan tiang dengan cara dipancang, getaran dan beban kejut yang terjadi saat pemancangan menyebabkan tanah granuler memadat, sehingga menambah tahanan ujungnya. Namun, kejadian ini tidak terjadi bila tiang dipasang dengan mengebor tanah lebih dulu. Akibat pengeboran, tanah granuler di sekitar lubang bor dapat terganggu kepadatannya.

1. Metode O'Neil dan Reese (1989)

a. Tahanan ujung ultimit

$$Q_b = A_b f_b \quad (2.7)$$

O'Neil dan Reese (1989) merekomendasikan tahanan ujung tiang bor pada penurunan 5% dari diameter dasar tiang pada pasir:

$$f_b = 0,60 \sigma_r N_{60} \leq 4500 \text{ kPa} \quad (2.8)$$

dengan,

A_b : Luas dasar tiang bor (m²)

f_b : Tahanan ujung neto per satuan luas (kPa)

N_{60} = Nilai SPT rata-rata antara ujung bawah tiang bor sampai 2db di bawahnya, tidak perlu dikoreksi terhadap *overburden*

db : Diameter ujung bawah tiang bor (m)

σ_r : Tegangan referensi = 100 kPa

Jika tiang bor dasarnya berdiameter lebih dari 120 cm, maka besarnya f_b dapat mengakibatkan penurunan lebih besar dari 25 mm (1 inci). Untuk memenuhi syarat penurunan ijin, O'Neil dan Reese (1989) menyarankan f_b direduksi menjadi f_{br} dengan:

$$f_{br} = 4,17(d_r/d_b)f_b ; \text{ bila } d_b \geq 1200 \text{ mm} \quad (2.9)$$

dengan,

d_r : Lebar referensi = 300 mm

db : Lebar ujung bawah tiang bor

Nilai tahanan ujung satuan yang dipakai dalam perancangan adalah f_{br} . Sebagai alternatif, O'Neil dan Reese (1989) menyarankan untuk melakukan analisis penurunan, kemudian merubah perancangan tiang

sedemikian hingga penurunannya masih dalam batas-batas toleransi. Jika penurunan toleransi dibolehkan lebih besar atau lebih kecil dari 25 mm, dan diameter tiang dimana penurunan berlebihan menjadi masalah, maka cara-cara penyesuaian dalam analisis hitungan f_b perlu dilakukan.

b. Tahanan gesek ultimit

$$f_s = \beta p_o' \quad (2.10)$$

$$\beta = K \tan \delta \quad (2.11)$$

dengan,

f_s : Tahanan gesek satuan (Kn/m²)

p_o' : Tekanan *overbuden* di tengah-tengah lapisan tanah (Kn/m²)

δ : Sudut gesek antara tanah dan tiang (derajat)

Metode ini disebut juga dengan metode β . Nilai K/K_o ditunjukkan dalam **tabel 2.4** dan rasio δ/ϕ' ditunjukkan dalam **tabel 2.5**. Koefisien β juga dapat dihitung dengan menggunakan persamaan yang disarankan oleh O'Neil dan Reese (1989):

$$\beta = 1,5 - 0,135\sqrt{z/dr} \quad \text{dengan } 0,25 \leq \beta \leq 1,2 \quad (2.12a)$$

dengan,

dr : Lebar referensi = 300 mm

z : Kedalaman di tengah-tengah lapisan tanah (m)

Tabel 2.4 Nilai-nilai K/K_o untuk tiang bor

Metode Pelaksanaan	K/K_o
Pelaksanaan kering dengan gangguan dinding lubang bor kecil, pengecoran cepat	1
Pelaksanaan dengan cairan – cara kerja baik	1
Pelaksanaan dengan cairan – cara kerja buruk	0,67
Dengan pipa selubung di bawah air	0,83

(Sumber : Kulhawy, 1991)

Tabel 2.5 Nilai-nilai δ/ϕ' untuk tiang bor

Metode Pelaksanaan	δ/ϕ'
Lubang terbuka atau dengan pipa selubung sementara	1
Metode dengan cairan (<i>slurry method</i>) – minimum <i>slurry cake</i>	1
Metode dengan cairan (<i>slurry method</i>) – maksimal <i>slurry cake</i>	0,8
Pipa selubung permanen	0,7

(Sumber : Kulhawy, 1991)

Bila lebar referensi $dr = 300$ m disubstitusikan ke persamaan (2.16a)

$$\beta = 1,5 - 0,245\sqrt{z} \quad \text{dengan } 0,25 \leq \beta \leq 1,2 \quad (2.12b)$$

Jika $N_{60} \leq 15$, maka β dalam persamaan (2.19) dikalikan dengan $N_{60} / 15$, atau

$$\beta = N_{60} / 15 (1,5 - 0,245\sqrt{z}) \quad \text{untuk } N_{60} \leq 15 \quad (2.12c)$$

N_{60} adalah N -SPT yang tidak dikoreksi terhadap overburden dan hanya dikoreksi oleh prosedur (alat) di lapangan.

Beberapa nilai β untuk tanah non-koheusif yang disarankan oleh Reese dkk (2006) :

1. Untuk pasir :

$$\beta = 0,25, \text{ jika } z > 26,14 \text{ m} \quad (2.12d)$$

2. Untuk pasir yang banyak mengandung kerikil :

$$\beta = 2 - 0,15(z)^{0,75} \quad \text{dengan } 0,25 \leq \beta \leq 1,8 \quad (2.12e)$$

3. Untuk pasir berkerikil atau kerikil :

$$\beta = 0,25, \text{ jika } z > 26,5 \text{ m} \quad (2.12f)$$

Untuk pasir dan pasir berkerikil, fungsi β mencapai batasnya pada kedalaman $z = 1,5$ m dan 26 m, karena itu pembuatan batas-batas lapisan tanah harus dalam zonazona diantaranya. Selain itu, batas lapisan juga harus dibuat pada permukaan air tanah. Batas-batas tambahan juga harus dibuat pada setiap interval 6 m, dan dimana batas dari lapisan pasir

berakhir. Setelah itu, analisis didasarkan pada macam tanahnya (lempung atau batuan).



2.2.7 Kapasitas Dukung Pondasi Tiang Bor Pada Tanah Kohesif

Pekerjaan pengeboran tanah pada pemasangan tiang menyebabkan perubahan kuat geser tanah lempung. Hal ini, karena proses pembuatan lubang saat pengeboran melonggarkan tanah, sehingga tahanan ujung tiang menjadi berkurang. Selain itu karena tekanan tanah lateral menjadi berkurang di dekat dinding lubang bor, pada lempung terjadi pengembangan dan aliran air menuju ke permukaan dinding lubang bor. Proses pengecoran beton ke dalam lubang bor, juga menyebabkan pelunakan tanah lempung, sehingga mengurangi kuat geser lempung (Hardiyatmo, 2015).

1. Metode Skempton

- Tahanan ujung ultimit (Q_b)

Tahanan ujung satuan tiang bor (f_b) menurut Skempton (1966) dinyatakan oleh persamaan :

$$f_b = \mu c_b N_c \quad (2.13a)$$

Tahanan ujung ultimit:

$$Q_b = A_b f_b \quad (2.13b)$$

atau,

$$Q_b = \mu A_b c_b N_c \quad (2.13c)$$

dengan,

Q_b : tahanan ujung ultimit (kN)

μ : faktor koreksi, dengan $\mu = 0,8$ untuk $d < 1$ m, dan $\mu = 0,75$ untuk $d > 1$ m

A_b : luas penampang ujung bawah tiang (m^2)

c_b : kohesi tanah di bawah ujung tiang pada kondisi *tak terdrainase (underated)* (kN/m^2)

N_c : faktor kapasitas dukung ($N_c = 9$)

$$A_b = 1/4 \pi d^2 \quad (2.14)$$

dengan,

A_b : luas penampang ujung bawah tiang (m^2)

π : konstanta lingkaran (3,14)

d : diameter tiang (m)

Untuk menghitung tahanan ujung, Skempton (1966) menyarankan faktor kapasitas dukung $N_c = 9$. Kedalaman penembusan tiang pada lapisan pendukung disarankan paling sedikit 5 kali diameter tiang. Jika tanah termasuk jenis tanah lempung retak-retak, maka c_b diambil nilai minimumnya.

- Tahanan gesek ultimit (Q_s)

Tahanan gesek tiang dinyatakan oleh persamaan:

$$Q_s = A_s f_s \quad (2.15)$$

$$f_s = c_d = \alpha c_u \quad (2.16)$$

dengan,

f_s : tahanan gesek per satuan luas (kN/m^2)

c_d : adhesi (kN/m^2)

α : faktor adhesi

c_u : kohesi tak terdrainase (*undrained*) (kN/m^2)

Untuk menghitung tahanan gesek sisi tiang bor, Skempton (1966) menyarankan faktor adhesi $\alpha = 0,45$. Dengan demikian, persamaan tahanan gesek sisi tiang bor menjadi:

$$Q_s = 0,45 c_u A_s \quad (2.17)$$

dengan,

c_u : kohesi tak terdrainase di sepanjang tiang (kN/m^2)

A_s : luas selimut tiang (m^2)

$$A_s = \pi \times d \quad (2.18)$$

dengan,

A_s : luas selimut tiang (m^2)

π : konstanta lingkaran (3,14)

d : diameter tiang (m)

Faktor adhesi pada tiang bor yang ujung bawahnya dibesarkan dapat diambil lebih kecil. Hal ini karena waktu pelaksanaan pekerjaannya yang lebih lama. Umumnya, tiang harus segera dicor sesudah pengeboran. Air yang dipakai untuk membantu proses pengeboran mengakibatkan penurunan faktor adhesi. Untuk tiang bor yang bentuknya membesar pada bagian bawah, disarankan agar tahanan geseknya (Q_s) diabaikan pada lokasi bagian atas pembesaran ujung sampai berjarak 1 kali diameter tiang, dihitung dari batas atas bagian yang dibesarkan.

- Kapasitas dukung ultimit (Q_u)

Kapasitas dukung ultimit tiang bor dinyatakan oleh persamaan:

$$Q_u = Q_b + Q_s - W_p \quad (2.19)$$

dengan,

Q_u : Kapasitas dukung ultimit netto (kN)

Q_b : Kapasitas dukung ultimit (kN)

Q_s : Kapasitas gesek ultimit (kN)

$$W_p = \frac{1}{4} \pi d^2 L \gamma_{\text{beton}} \quad (2.20)$$

dengan,

W_p : Berat tiang (kN)

π : konstanta lingkaran (3,14)

d : diameter tiang (m)

L : Panjang tiang (m)

γ_{beton} : berat volume beton (kN/m³)

- Kapasitas dukung ijin (Q_a)

Kapasitas dukung ijin tiang bor dinyatakan oleh persamaan:

$$Q_a = Q_u / F \quad (2.21)$$

dengan,

Q_a : kapasitas dukung ijin tiang (ton)

Q_u : kapasitas dukung ultimit netto (kN)

F : faktor kapasitas ijin tiang (2,5)

- Jarak antar tiang (s)

Jarak antar tiang dinyatakan oleh persamaan:

$$s = 3 \times d \quad (2.22)$$

dengan,

s : jarak antar tiang (m)

d : diameter tiang (m)

- Efisiensi kelompok tiang (E_g)

Efisiensi kelompok tiang dinyatakan oleh persamaan:

$$E_g = 1 - \theta \frac{(n'-1)m + (m-1)n'}{90mn'} \quad (2.23)$$

dengan,

E_g : efisiensi kelompok tiang

m : jumlah baris tiang

n' : jumlah tiang dalam 1 baris

nilai θ didapatkan dengan persamaan:

$$\theta = \arctan d/s \quad (2.24)$$

dengan,

d : diameter tiang (m)

s : jarak antar tiang (m)

- Kapasitas dukung kelompok tiang (Q_g)

Kapasitas dukung ultimit kelompok tiang dengan memperhatikan faktor efisiensi dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan, yaitu:

$$Q_g = E_g \times n \times Q_u \quad (2.25)$$

dengan,

Q_g : kapasitas dukung kelompok tiang (ton)

n : jumlah tiang dalam kelompok

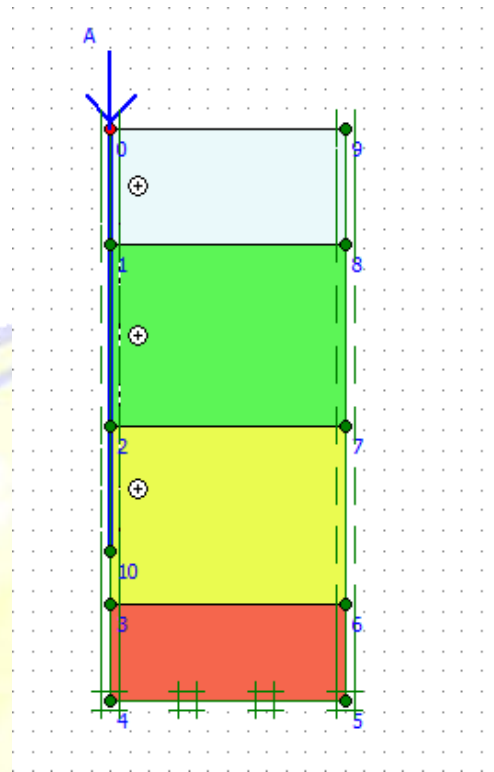
Q_u : kapasitas dukung ultimit netto tiang tunggal (ton)

2.3 Kapasitas Daya Dukung Tiang Bor Menggunakan *Software Plaxis*

1. Pemodelan Pada Program Plaxis

Plaxis merupakan salah satu aplikasi perangkat lunak yang digunakan dalam bidang geoteknik dan rekayasa tanah. Aplikasi ini digunakan untuk melakukan analisis dan pemodelan numerik terkait perilaku tanah dan struktur terhadap beban dan kondisi lingkungan tertentu. Plaxis sangat berguna dalam desain dan analisis berbagai struktur geoteknik seperti pondasi, dinding penahan tanah, terowongan, embung, dan lain sebagainya. Plaxis memiliki antarmuka yang *intuitif* yang memungkinkan pengguna untuk membuat model geoteknik secara visual dengan menggambarkan lapisan tanah, bangunan, beban, dan kondisi batas yang berbeda. Aplikasi ini juga menyediakan berbagai metode analisis seperti analisis stabilitas, analisis deformasi, analisis aliran air, analisis dinamik, dan sebagainya.

Hasil dari perhitungan *Plaxis* didapat secara otomatis berdasarkan prinsip penulisan angka yang benar. Plaxis dapat digunakan guna melakukan pemodelan dan analisis semua permasalahan geoteknik seperti *slope stability*, *seepage*, dan konsolidasi. Plaxis juga dapat memodelkan dan menganalisis struktur geoteknik dan interaksi tanah dengan struktur seperti pondasi dangkal, pondasi dalam, dinding penahan tanah, ankur (*anchor*), dan sebagainya. Dalam menggunakan program tanah yang akan dipilih dan menguasai teori serta konsep mengenai mekanika tanah dan rekayasa pondasi. Secara garis besar langkah-langkah pemodelan dan analisis menggunakan Plaxis terdiri dari :1. *General Setting*, 2. *Geometry*, 3. *Material Properties*, 4. *Initial Condition*,5. *Calculation*. Sebelum melakukan perhitungan secara numerik, maka harus terlebih dahulu dirancang pemodelan dari pondasi tiang pancang yang akan dianalisis seperti terlihat pada gambar (2.15) dibawah ini.



Gambar 2.15 Model Pondasi Tiang Bor (Plaxis)

(Sumber: Nasution, 2016)

Material yang dipergunakan dalam pemodelan tersebut meliputi material tanah dan pondasi yang mempunyai sifat-sifat teknis dari masing-masing material yang mempengaruhi perilakunya. Dalam program Plaxis, sifat-sifat tersebut diwakili oleh parameter dan pemodelan yang spesifik. Tanah dan batuan mempunyai kecenderungan perilaku yang non-linier dalam kondisi pembebanan. Pemodelan dalam program ini sangat terbatas dalam memodelkan perilaku tanah, sehingga lebih umum digunakan untuk struktur yang padat dan kaku di dalam tanah. Input parameter berupa modulus *elastisitas* E dan *Poisson* rasio μ dari material yang bersangkutan.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (2.26)$$

$$\mu = \frac{\epsilon_h}{\epsilon_v} \quad (2.27)$$

Simulasi geoteknik dengan menggunakan metode elemen hingga secara implisit melibatkan kesalahan pemodelan dan kesalahan numerik yang tidak dapat dihindari. Akurasi dari keadaan sebenarnya di lapangan sangat bergantung pada keahlian pengguna dalam memodelkan permasalahan, pemahaman terhadap model-model, penentuan parameter yang akan digunakan dan kemampuan untuk melakukan interpretasi dari hasil analisis menggunakan program Plaxis tersebut. Di dalam program Plaxis ada beberapa jenis pemodelan tanah beberapa diantaranya adalah model *soft soil*, *hardening soil*, *jointed rock*, *Hoek* dan *Brown* serta model tanah *Mohr – Coulomb*.

Material yang dipergunakan dalam pemodelan tersebut meliputi material tanah dan material pondasi, dimana masing-masing material mempunyai sifat- sifat teknis yang mempengaruhi perilakunya. Pada program Plaxis, sifat-sifat tersebut diwakili oleh parameter dan pemodelan yang spesifik. Pemodelan ini mengasumsikan bahwa perilaku tanah bersifat *isotropis elastis linier* berdasarkan hukum *Hooke*. Namun demikian, model ini sangat terbatas dalam memodelkan perilaku tanah, sehingga umum digunakan untuk struktur yang padat dan kaku di dalam tanah.

2. Model *Mohr – Coulomb*

Pemodelan *Mohr – Coulomb* mengasumsikan bahwa perilaku tanah bersifat plastis sempurna, dengan menetapkan suatu nilai tegangan batas, dimana pada titik tersebut tegangan tidak lagi dipengaruhi oleh regangan. Model elastik- plastik *Mohr – Coulomb* melibatkan lima parameter masukan, yaitu : E dan μ untuk elastisitas tanah; ϕ dan c untuk plastisitas tanah dan Ψ sebagai sudut dilatasi. Model *Mohr – Coulomb* ini merupakan urutan pertama dalam pendekatan perilaku tanah dan disarankan untuk menggunakan model ini untuk analisis pertama dari masalah yang dipertimbangkan. Untuk setiap lapisan yang memperkirakan rata-rata kekakuan yang konstan sehingga perhitungan cenderung relatif cepat dan

dapat diperoleh kesan pertama deformasi. Selain lima parameter model yang disebutkan di atas, kondisi tanah awal memiliki peran penting dalam masalah tanah yang paling deformasi. Tegangan horizontal kondisi awal tanah harus dihasilkan dengan memilih nilai K_0 yang tepat.

3. Pemilihan Parameter

a. Tanah

Model tanah yang dipilih yaitu model *Mohr – Coulomb*, dimana perilaku tanah dianggap elastis dengan parameter yang dibutuhkan yaitu :

1. Modulus elastisitas, E (*stiffness modulus*).

Nilai perkiraan modulus elastisitas dapat diperoleh dari pengujian SPT (*Standart Penetration Test*). Nilai modulus elastis yang dihubungkan dengan nilai SPT, sebagai berikut :

$$E_s = 6(N + 5)k/ft^2 \quad (\text{untuk pasir berlempung}) \quad (2.28)$$

dengan,

E_s' : Modulus elastisitas efektif (kN/m²)

N : Nilai N-SPT

$$E_s = 10(N + 15) k/ft^2 \quad (\text{untuk pasir}) \quad (2.29)$$

dengan,

E_s' : Modulus elastisitas efektif (kN/m²)

N : Nilai N-SPT

Hasil hubungan yang diperoleh adalah modulus elastisitas undrained (E_s) sedangkan input yang dibutuhkan adalah modulus elastisitas efektif (E_s'). Dengan menggunakan rumusan yang menggabungkan kedua modulus elastisitas tersebut, maka diperoleh yaitu:

$$E_s = 0,8 E_s' \quad (2.30)$$

dengan,

E : Modulus elastisitas undrained (kN/m²)

E_s' : Modulus elastisitas efektif (kN/m²)

N : Nilai N-SPT

2. *Poisson's ratio* (μ) diambil 0,2 – 0,4

3. Sudut geser dalam (ϕ) didapat dari hasil pengujian laboratorium.

Hubungan antara sudut geser dalam (ϕ) dengan nilai SPT setelah dikoreksi menurut Peck, Hanson dan Thornburn, 1974 adalah:

$$\phi(\text{derajat}) = 27,1 + 0,3N_{cor} - 0,00054N^2_{cor} \quad (2.31)$$

dengan:

N_{cor} : nilai N-SPT setelah dikoreksi

4. Kohesi (c) di dapat dari hasil pengujian laboratorium.
5. Sudut dilantansi (Ψ) diasumsikan sama dengan nol.

Tanah lempung normal konsolidasi tidak memiliki sudut dilantansi, tetapi pada tanah pasir, besar sudut ini tergantung pada kepadatan relatif (D_r) dan sudut geser dalamnya yang dinyatakan dengan persamaan berikut:

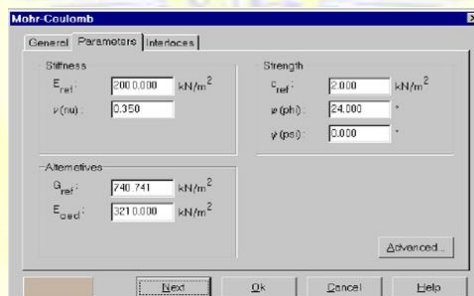
$$\Psi = \phi - 30 \quad (2.32)$$

dengan

Ψ : Sudut dilantansi ($^\circ$)

ϕ : Sudut geser dalam ($^\circ$)

6. Berat isi tanah γ (kN/m³) didapat dari hasil pengujian laboratorium
 - b. Tiang Bor (*Bored Pile*)



Gambar 2.16 Tab Parameter Untuk Model Mohr-Coulomb (Plaxis)

(Sumber: Nasution,2016)

2.3.1 Faktor Keamanan

Untuk memperoleh kapasitas ijin tiang, maka diperlukan untuk membagi kapasitas ultimit dengan faktor keaman. Faktor keaman ini perlu diberikan dengantujuan :

1. Untuk memberikan keamanan terhadap ketidak pastian metode hitungan yang digunakan.
2. Untuk memberikan keamanan terhadap variasi kuat geser dan kompresibilitas tanah. Untuk meyakinkan bahwa bahan tiang cukup amandalam mendukung beban yang bekerja.
3. Untuk meyakinkan bahwa penurunan total yang terjadi pada tiang tunggalatau kelompok masih tetap dalam batas-batas toleransi.
4. Untuk meyakinkan bahwa penurunan tidak seragam diantara tiang-tiang masih dalam batas toleransi.

Dari hasil banyak pengujian-pengujian beban tiang, baik tiang pancang maupun tiang bor yang berdiameter kecil sampai sedang (600 mm), penurunan akibat beban bekerja (*working load*) yang terjadi lebih kecil dari 10 mm untuk faktor keaman yang tidak kurang dari 2,5 (Tomlinson, 1977). Besarnya beban bekerja (*working load*) atau kapasitas tiang ijin (Q_a) dengan memperhatikan keamanan terhadap keruntuhan adalah nilai kapasitas ultimit (Q_u) dibagi dengan faktor keamanan (SF) yang sesuai.

Tabel 2.5 Faktor keamanan yang disarankan

Klasifikasi Struktur	Kontrolbaik	Kontrol Normal	Kontrol Jelek	Kontrol sangatjelek
Monumental	2,3	3	3,5	4
Permanaen	2	2,5	2,8	3,4
Sementara	1,4	2	2,4	2,8

(Sumber: Hardiyatmo, 2002)

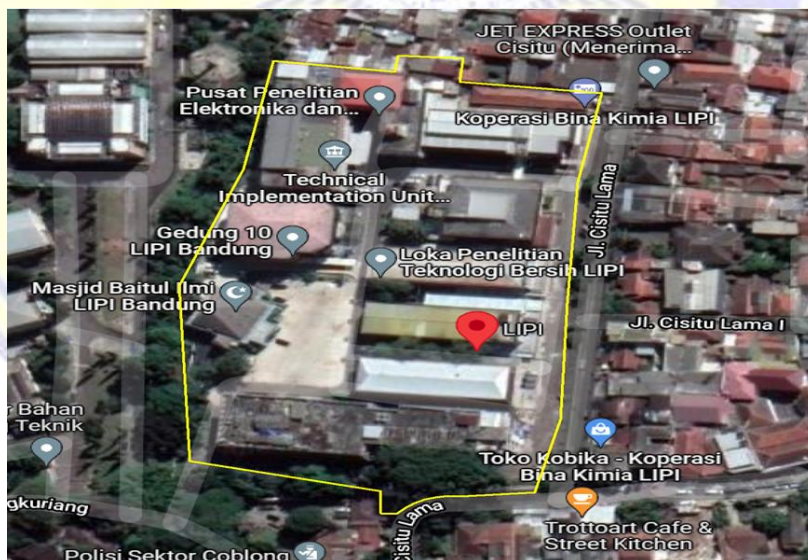
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Proyek Pembangunan Gedung Infrastruktur BASICS LIPI pada intinya berupa pengadaan dua buah gedung/menara yang di dalamnya akan berisi fasilitas-fasilitas riset, berupa ruangan ruangan laboratorium lengkap dengan peralatan riset, dan fasilitas pendukung inovasi, seperti *Inovation space*, *co-working space*, *showroom* hasil riset, dll.

Lokasi proyek Pembangunan Gedung Infrastruktur BASICS LIPI ini dibangun dalam kawasan LIPI Bandung yang berada di Jl. Sangkuriang Komplek Lipi Gd. 20, Jl. Cisitu Lama, Dago, Kecamatan Coblong, Kota Bandung, Jawa Barat 40135 Indonesia.

Berdasarkan hasil penyelidikan tanah pada titik bor dalam BH-01 dan BH-02, diketahui bahwa pondasi pada proyek Pembangunan Gedung Infrastruktur BASICS LIPI ini menggunakan jenis pondasi tiang bor dengan spesifikasi mutu beton tiang bore K-300, panjang tiang bor 13700 mm dengan diameter 800 mm.



Gambar 3.1 Lokasi Proyek Pembangunan Gedung Infrastruktur BASICS LIPI

3.2 Data Tanah Dan Teknis Tiang Bor (Bored Pile)

Pengujian dilakukan hingga mencapai kedalaman 30 m, penempatan titik penyelidikan disesuaikan dengan kebutuhan dan berdasarkan petunjuk dari tim ahli pelaksana, berikut resume hasil pengujian pada BH.1 ada di bawah ini :

Tabel 3.1 Resume hasil bor mesin

No. BH	Depth (m)	Decription	SPT
BH.1	0.00 – 0.50	PASANGAN BETON	-
	0.50 – 2.00	LEMPUNG KERIKIL WARNA ABU KEHITAMAN	-
	2.00 – 4.00	LEMPUNG WARNA COKLAT KEHITAMAN	4
	4.00 – 6.00	LEMPUNG	2
	6.00– 8.00	PASIR, TUFFA, WARNA COKLAT	4
	8.00 – 10.00	PASIR HALUS, TUFFA, GRAVEL WARNA COKLAT	2
	10.00 – 12.00	PASIR, GRAVEL WARNA COKLAT KEKUNINGANN,	5
	12.00 – 13.50	PASIR, GRAVEL WARNA COKLAT, SEDANG	17
	13.50 – 30.00	PASIR, GRAVEL WARNA COKLAT, SANGAT PADAT	42 s/d 60

(Sumber: CV. Java Konsul,2021)

Data teknis tiang bor yang ada pada proyek Pembangunan Gedung Infrastruktur BASICS LIPI adalah sebagai berikut:

1. Dimensi Tiang : Ø 800 mm
2. Mutu Beton Tiang Bor : K-300

3.3 Ketersediaan Data

Adapun pengumpulan data pada penelitian adalah pengumpulan data secara sekunder dan diperoleh dari beberapa sumber, yaitu sebagai berikut:

Tabel 3.2 Jenis data dan sumber data yang digunakan

No.	Jenis Data	Sumber
1	Data Geoteknik (2021) - Data penyelidikan tanah Nspt - Data klasifikasi tanah - Data laboratorium	CV. Java Konsul
2	Data Gambar Struktur Proyek (2021)	PT. PP (Persero) Tbk
3	Data Analisa Perencanaan Struktur (2021)	PT. Pandu Persada

Dari data sekunder yang diperoleh dari beberapa pihak akan digunakan sebagai keperluan analisis dalam penelitian ini, yaitu sebagai berikut:

1. Data geoteknik (2021), digunakan untuk mengetahui stabilitas dan daya dukung tanah dalam menerima beban struktur dan data tersebut dapat digunakan dalam perhitungan daya dukung pondasi seperti gaya aksial dan horizontal dengan menggunakan beberapa metode yang akan digunakan dalam penelitian ini.
2. Data gambar struktur proyek (2021), digunakan untuk mengetahui detail spesifikasi pondasi dan titik koordinat pondasi yang akan di analisis.
3. Data analisa perencanaan struktur (2021), digunakan untuk data perhitungan beban struktur atas yang akan digunakan pada permodelan analisa daya dukung dan penurunan pondasi dengan bantuan software Plaxis 2D.

3.4 Diagram Alir Penelitian

Untuk memudahkan pengerjaan analisis maka dibuat diagram alir pelaksanaan penelitian. Beberapa tahapan dimulai dari pengumpulan data dan studi literatur, analisa perhitungan kapasitas daya dukung, hingga tahap pembahasan hasil dan kesimpulan. Adapun penjabarannya ialah sebagai berikut.

1. Pengumpulan data

Ketersediaan data dalam proses analisis merupakan hal yang penting. Pengumpulan data dilakukan secara sekunder yang diperoleh dari pihak CV. Java Konsul, PT. PP dan PT. Pandu Persada. Data tersebut meliputi data analisa struktur, gambar struktur, SPT dan data laboratorium.

2. Studi literatur

Dalam analisis diperlukan studi literatur sebagai acuan dan referensi dari proses analisis yang dilakukan. Studi literatur yang digunakan merupakan buku-buku dan hasil penelitian sebelumnya yang memiliki isi dan teori yang berhubungan dengan penelitian.

3. Pengolahan data

Data-data yang sudah didapatkan diolah guna menghitung kapasitas dukung tiang bor dengan menggunakan metode analitis dan metode numerik dengan bantuan *software* Plaxis.

4. Analisa daya dukung tiang bor dengan metode analitis

Proses analisa menggunakan metode analitis berdasarkan dari data SPT, perhitungan kapasitas dukung pondasi tiang bor menggunakan metode dO'Neil dan Reese (1989), metode Skempton.

5. Analisa daya dukung tiang bor dengan metode numerik

Proses analisa menggunakan metode numerik dilakukan dengan bantuan *software* plaxis, langkah awal dilakukan dengan membuat parameter-parameter tanah dan tiang bor lalu menginputnya guna mengetahui kapasitas dukung pondasi tiang bor.

6. Kontrol analisa

Kontrol analisa dilakukan setelah tahapan analisa selesai, hal ini bertujuan guna mengetahui nilai analisis apakah sudah memenuhi syarat faktor aman kapasitas dukung pondasi tiang bor.

7. Hasil analisis dan pembahasan

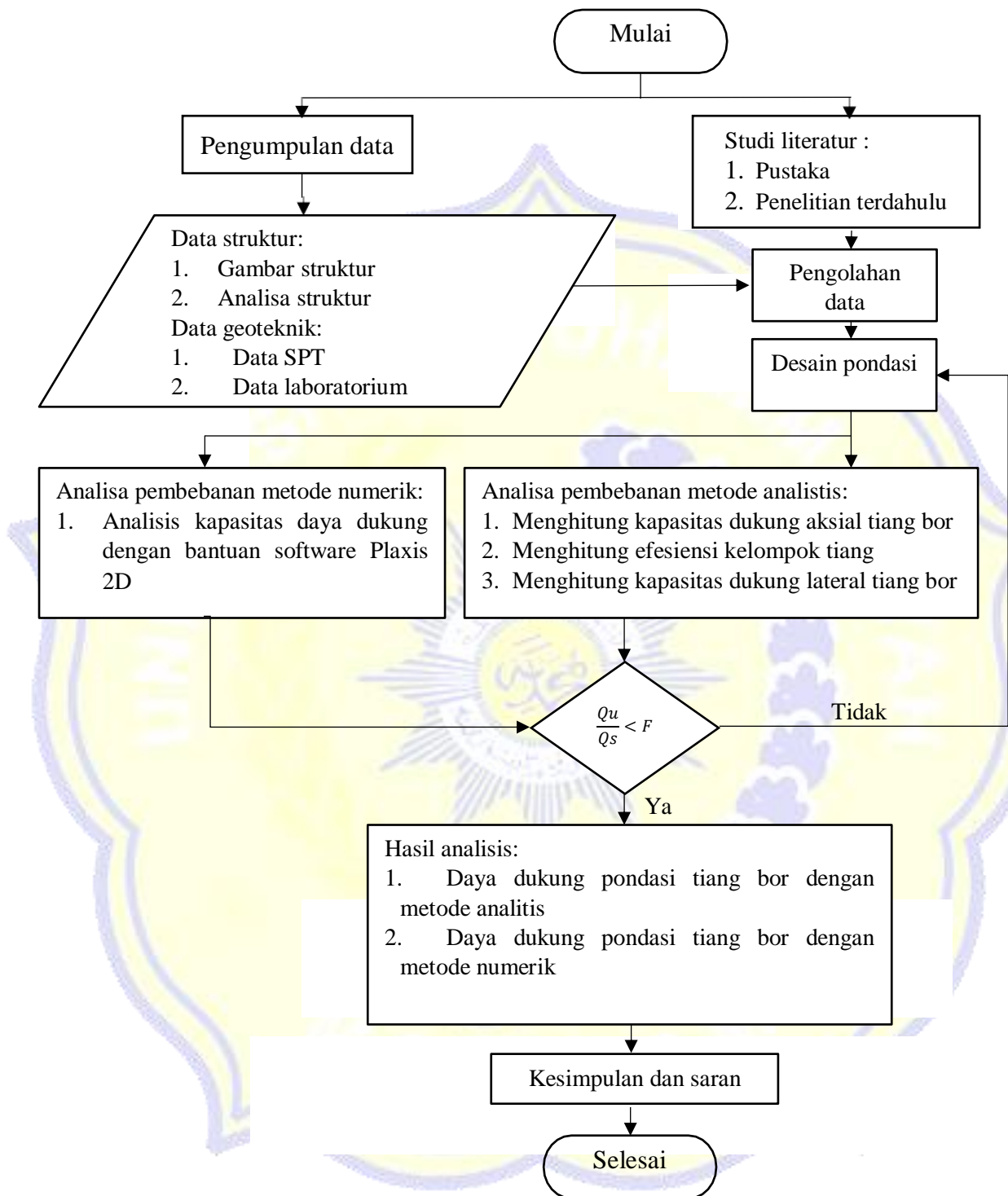
Kedua hasil analisis dari metode analitis dan numerik dibandingkan lalu dijabarkan guna mendapatkan hasil *final*.

8. Kesimpulan dan saran

Kesimpulan berisi hasil akhir dari penelitian dengan penjabaran yang ringkas namun point dari hasil penelitian dapat dipahami dengan mudah. Saran merupakan pendapat atau anjuran mengenai isi penelitian kepada pembaca.

Adapun diagram alir dalam penelitian ini disajikan pada **Gambar 3.4**.





Gambar 3.4 Bagan Alir Metode Pelaksanaan Penelitian

3.5 Tahapan Perencanaan Metode Analitis

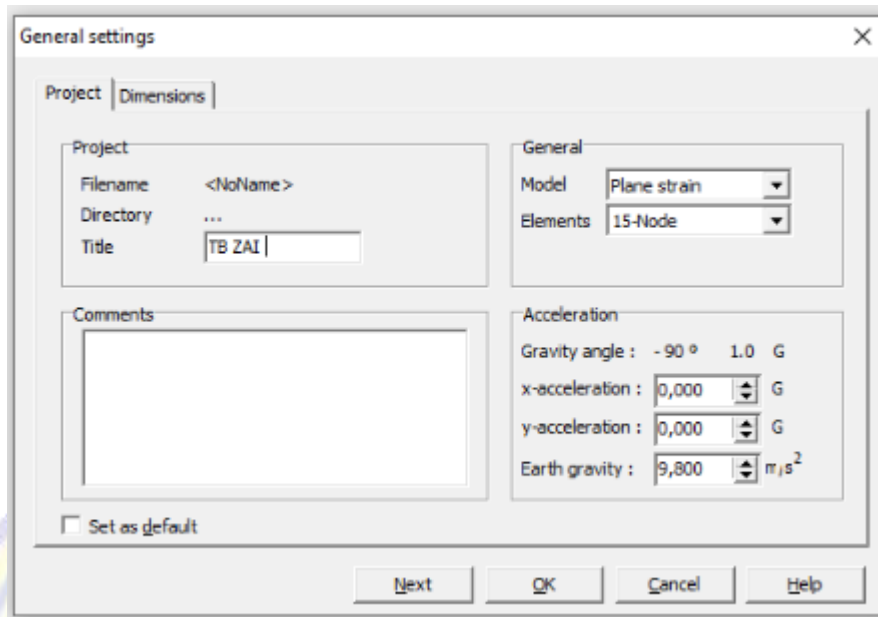
Metode analitis merupakan metode yang digunakan guna menentukan besar resultan vektor secara matematis dengan menggunakan sebuah metode atau rumus. Adapun langkah-langkah dari perencanaan metode analitis dari penelitian ini ialah sebagai berikut:

1. Melakukan penyelidikan geoteknik, tujuan dari penyelidikan geoteknik adalah untuk mengetahui karakteristik tanah di lokasi tersebut.
2. Menghitung kapasitas daya dukung ultimit tiang bor dengan menggunakan beberapa metode yang sudah ada lalu dilakukan pengecekan terhadap faktor aman.
3. Menghitung beban lateral yang bekerja pada pondasi tiang bor.
4. Melakukan pengecekan beban yang bekerja pada struktur bangunan yang disalurkan melalui pondasi tiang apakah lebih kecil dari kekuatan pondasi tiang yang telah dihitung sesuai dengan faktor aman.






3.6 Tahapan Perencanaan Metode Numerik


Metode numerik adalah sebuah teknik penyelesaian masalah yang diformulasikan secara matematis dengan cara operasi hitungan dan dalam prakteknya perlu bantuan komputer atau sebuah *software* untuk menyelesaikan hitungan tersebut. Dalam perhitungan ini menggunakan bantuan *software* Plaxis, berikut tahapan proses metode numerik dengan bantuan *software* Plaxis:

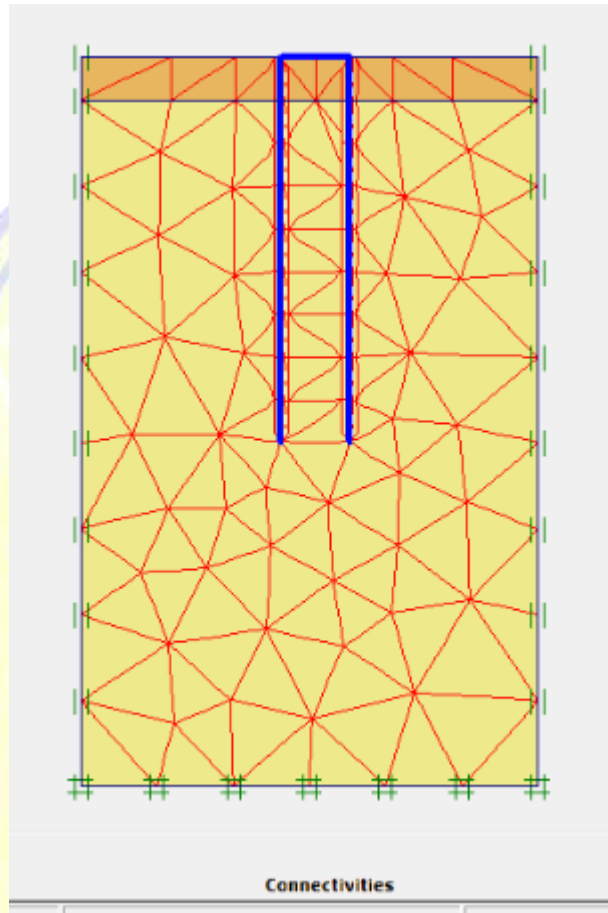
1. Mengatur parameter dasar di jendela pengaturan global dengan menggunakan model *Mohr – Coulumb* yaitu analisis *plane strain*.



Gambar 3.5 Kotak dialog pengaturan global pada *software* Plaxis

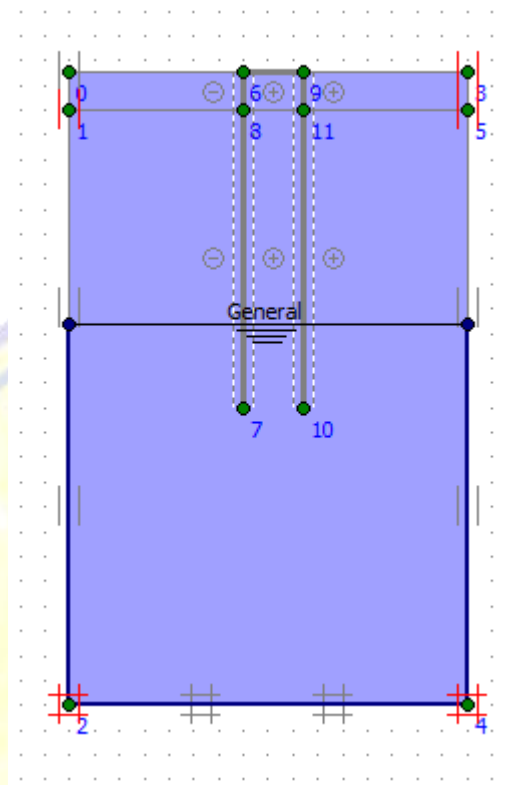
2. Setelah itu permodelan lapisan tanah dapat digambar menggunakan garis geometri , setelah setiap lapisan tanah dibuat sesuai kedalaman masing-masing selanjutnya diinput data material tanah dengan menggunakan tombol material set  untuk setiap lapisan tanah. Setelah selesai menginput data material tanah, data setiap lapisan kemudian dimasukkan ke lapisan tanah masing-masing dengan cara seret data yang telah diinput ke permodelan geometri awal.
3. Selanjutnya menggambar pondasi tiang menggunakan tombol pelat , setelah selesai menggambar tiang kemudian bentuk kondisi batas setiap lapisan dengan menggunakan tombol jepit *standard fixities*  maka akan terbentuk jepit penuh pada bagian dasar dan jepit rol pada sisi vertikal.
4. Setelah langkah-langkah diatas selesai dilakukan maka kemudian proses penginputan nilai beban dapat dilakukan dengan tombol , setelah digambarkan makan pada bagian ujung beban di klik 2 kali untuk menginput nilai beban.

- Langkah selanjutnya adalah membagi elemen menjadi beberapa bagian yang beraturan sehingga mempermudah perhitungan dengan tombol *Mesh Generation* .



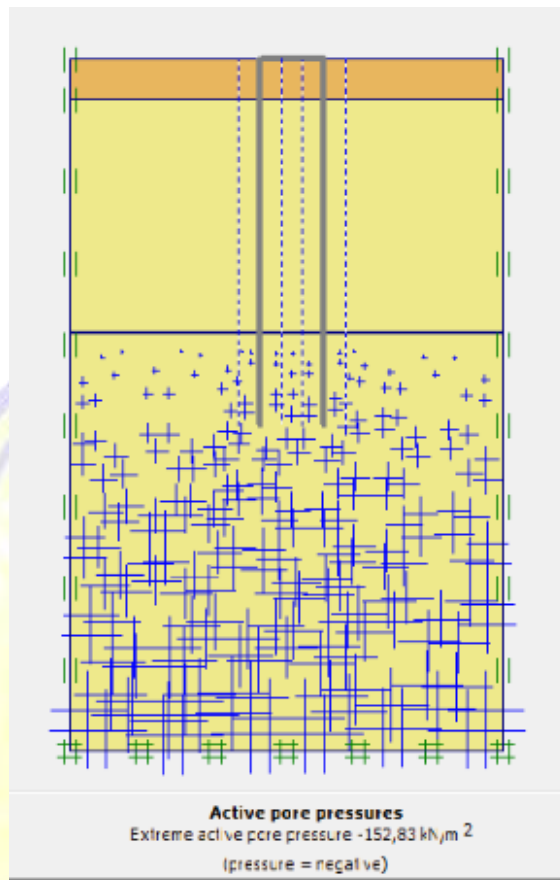
Gambar 3.6 *update Mesh Generation* sebelum melakukan kalkulasi perhitungan.

Kemudian klik tombol *initial conditiona* untuk melakukan permodelan muka air tanah dengan menggunakan tombol *phreatic level* untuk menggambar kedalaman muka air tanah.

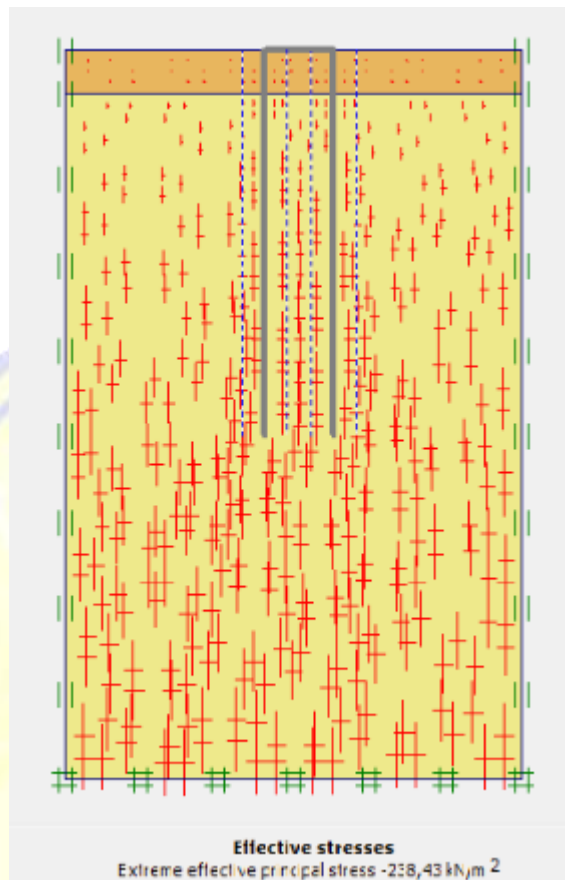


Gambar 3.7 *Initial water pressure* pada software Plaxis

Kemudian klik tombol *generate water pressure* untuk mendefinikan tekanan air tanah, lalu akan muncul diagram *active pore pressure*, klik *update* maka akan kembali ke tampilan awal. Bar selanjutnya klik *initial pore pressure* dan *generate pore pressure* maka akan muncul diagram untuk *effective stresses*.



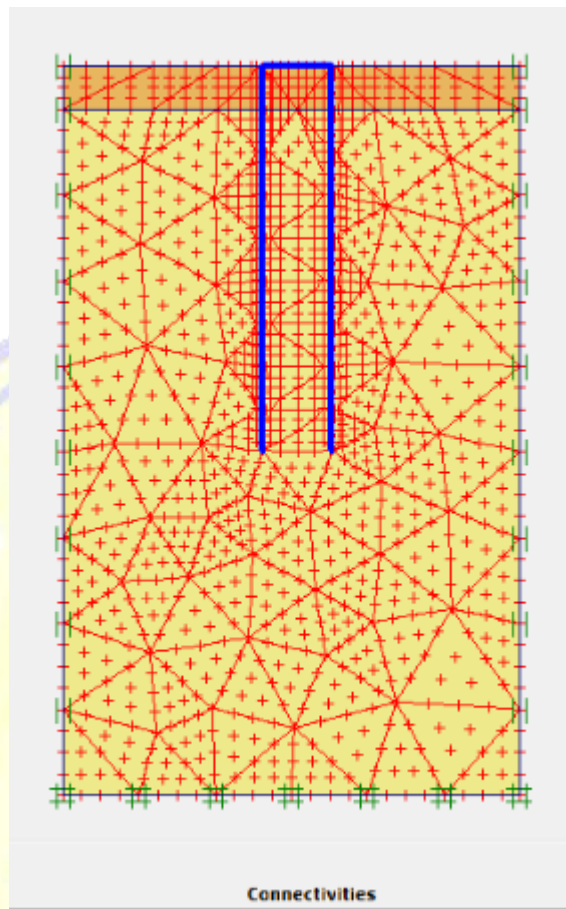
Gambar 3.8 Kondisi *Active Pore Pressure*



Gambar 3.9 kondisi *Effective Stresses*

Setelah muncul *initial stresses* kemudian klik ok lalu diupdate, akhirnya tekan *calculate yes* dan akan muncul kotak dialog perhitungan.

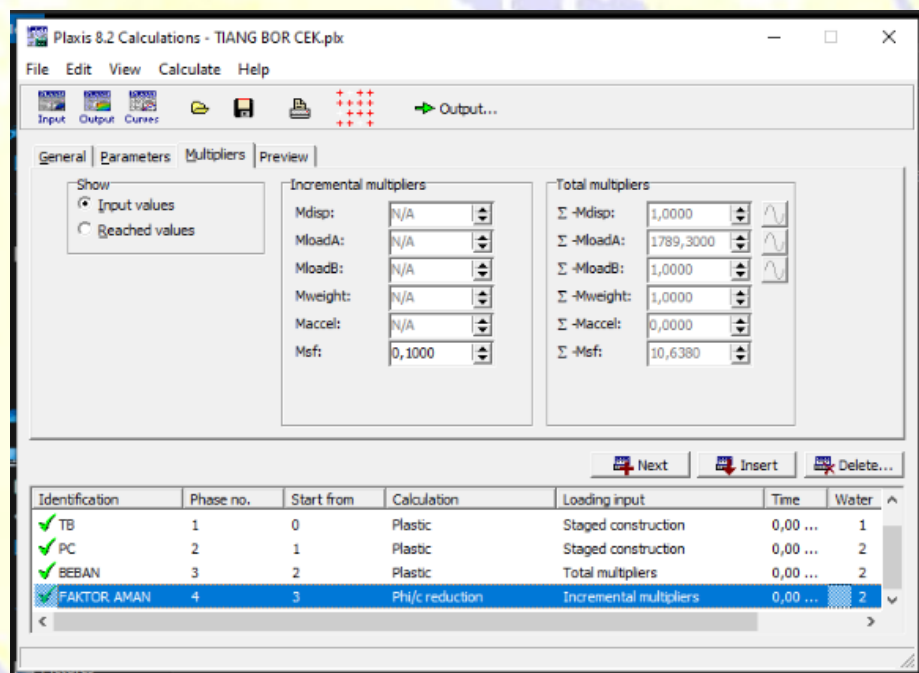
6. Kemudian lakukan pemilihan titik node sebagai titik yang ditinjau, yang terletak diujung atas tiang kemudian diupdate, kemudian klik *parameters*, lalu *define*, dan aktifkan beban dengan cara mengklik ujung beban yang telah digambar dan klik update.



Gambar 3.10 Pemilihan titik nodal

7. Dalam tampilan *window calculation* terdapat beberapa *phase* yang akan dikerjakan dari awal hingga akhirnya diperoleh nilai $\sum Msf$
 - *Phase 1*: pada *phase* ini merupakan kondisi tanah awal, karena merupakan *phase* yang digunakan untuk *stage construction* yang memodelkan konstruksi. Pada *phase* ini menggunakan nama tiang bor, karena penginputan nilai struktur tiang bor.
 - *Phase 2*: pada *phase* ini merupakan kondisi tanah awal, karena merupakan *phase* yang digunakan untuk *stage construction* yang memodelkan konstruksi. Pada *phase* ini menggunakan nama *pile cap*, karena penginputan nilai struktur *pile cap*.

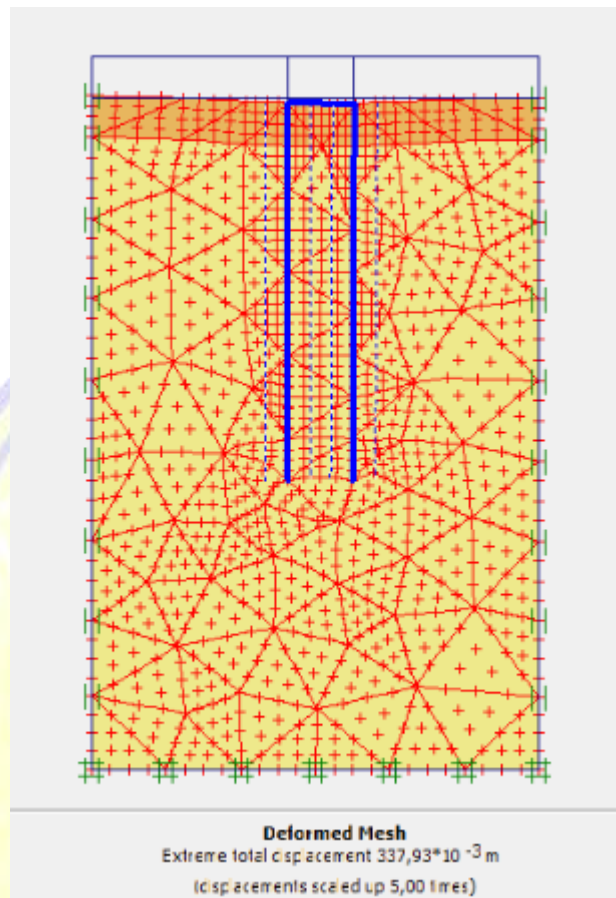
- *Phase 3*: pada *phase* ini merupakan *phase* yang digunakan untuk menginput nilai beban serta lanjutan model konstruksi pada *phase 1*, oleh sebab itu dinamakan *phase* Beban
 - *Phase 4*: merupakan *phi/c reduction* yang digunakan untuk mensimulasikan kondisi dimana berkurangnya nilai *phi* sebelum konsolidasi sehingga didapatkan angka aman, oleh sebab itu *phase* ini diberi nama Faktor Keamanan.
8. Langkah selanjutnya adalah proses *calculation* akan berlangsung, tunggu beberapa saat kemudian tekan *yes* untuk menyelesaikan proses *calculation*, setelah perhitungan berlangsung maka akan diperoleh nilai MSF dan besar penurunannya seperti gambar dibawah ini:



Gambar 3.11 Hasil kalkulasi dan besar nilai MSF

Dari hasil perhitungan dengan menggunakan *software* Plaxis didapatkan nilai $\sum Msf$. Nilai $\sum Msf$ kemudian dikalikan dengan nilai beban P yang diperoleh dari hasil data analisa struktur.

9. Untuk melihat *visualisai* besar penurunan yang terjadi klik simbol output yang ada di bagian atas jendela bar.



Gambar 3.12 Hasil kalkulasi dan besar nilai MSF

3.7 Parameter – Parameter Metode Analitis Dan Numerik

Berikut merupakan parameter – parameter yang digunakan dalam proses analisa daya dukung tiang bor menggunakan metode analitis (metode Skempton dan metode O’Neil & Reese) dan metode Numerik (*software* Plaxis).

Tabel 3.3 Parameter tiang bor untuk perhitungan metode analitis

Keterangan	Rumus	Satuan
Luas dasar tiang bor (A_b)	$\frac{1}{4} \pi d^2$	m ²
Tahanan ujung neto per satuan luas (f_b)	$0,60 \sigma_r N_{60}$	kPa
Tahanan ujung ultimit (Q_b)	$A_b f_b$	kN
Luas selimut tiang (A_s)	keliling tiang x <i>interval</i> kedalaman	m ²
Tahanan gesek satuan maksimum (f_s)	$\beta p_o'$	kN/m ²
Tahanan gesek ultimit (Q_s)	$0,45 C_u A_s$	kN
Berat tiang (W_p)	$\frac{1}{4} \pi d^2 L \gamma_{beton}$	kN
Kapasitas dukung ultimit (Q_u)	$Q_b + Q_s - W_p$	kN
kapasitas dukung ijin (Q_a)	Q_u / F	kN
Efisiensi kelompok tiang (E_g)	$1 - \theta \frac{(n' - 1)m + (m - 1)n'}{90mn'}$	-
Kapasitas dukung kelompok tiang (Q_g)	$E_g \times n \times Q_u$	kN

Tabel 3.4 Parameter tiang bor dan pile cap perhitungan metode numerik

TIANG BOR		
Keterangan	Rumus	Satuan
Ukuran tiang	0,8 x 0,8	m ²
Panjang tiang	-	m
Mutu beton tiang (f'c)	-	Mpa
Luas penampang (A)	$\frac{1}{4} \pi d^2$	m ²
Modulus elastisitas tiang (E)	$4700\sqrt{f'c}$	Mpa kN/m ²
Momen inersia tiang (I)	$\frac{1}{4} \pi r^4$	m ²
EA	E x A	kN/m ²
EI	E x I	kN.m ² /m
PILE CAP		
Keterangan	Rumus	Satuan
Luas penampang pile cap	P x L	m ²
mutu beton pile cap (f'c)	-	Mpa
Modulus elastis pile cap (E)	$4700\sqrt{f'c}$	Mpa kN/m ²
Momen Inersia pilecap (I)	$\frac{1}{12} bh^3$	m ⁴
EA	E x A	kN/m ²
EI	E x I	kN.m ² /m
Angka posion	-	
Berat sendiri tiang/m	-	kN
Berat volume tanah basah (γb)	-	kN/m ³
Berat volume tanah kering (γd)	-	kN/m ³
Beban vertikal gedung (P)	-	kN/m ²