

TUGAS AKHIR

**STUDI PARAMETRIK PENURUNAN ELASTIS
PONDASI BORED PILE AKIBAT PERBEDAAN
LAPISAN TANAH DENGAN METODE ELEMEN
HINGGA PROYEK JALAN TOL MEDAN-
KUALANAMU-TEBING TINGGI**

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat-Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Sipil Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

SUGALUH WISNU MURTI
1307210274



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2018

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Sugaluh Wisnu Murti

NPM : 1307210274

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Studi Parametrik penurunan elastis pondasi *bored pile* akibat perbedaan lapisan tanah dengan metode elemen hingga proyek jalan tol Medan-Kualanamu-Tebing tinggi

Bidang ilmu : Geoteknik

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 15 Oktober 2018

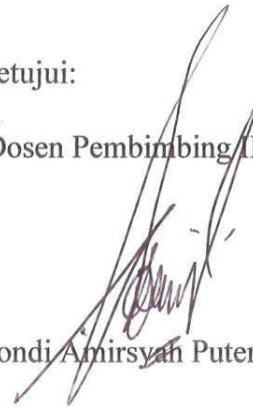
Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I / Penguji



M. Husin Gultom, ST, MT

Dosen Pembimbing II/Penguji



Tondi Amirsyah Putera, ST, MT

Dosen Pembanding I / Penguji



Dr. Fahrizal Zulkarnain, ST, MSc

Dosen Pembanding II/Penguji



Ir. Zurkiyah, MT

Program Studi Teknik Sipil
Ketua,



Dr. Fahrizal Zulkarnain, ST, MSc

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Sugaluh Wisnu Murti
Tempat /Tanggal Lahir : Tembung / 16 Februari 1995
NPM : 1307210274
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil,

menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

“Studi parametrik penurunan elastis pondasi *bored pile* akibat perbedaan lapisan tanah dengan metode elemen hingga proyek jalan tol Medan-Kualanamu-Tebing tinggi”,

bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 15 Oktober 2018

Saya yang menyatakan,



Sugaluh Wisnu Murti

ABSTRAK

STUDI PARAMETRIK PENURUNAN ELASTIS PONDASI BORED PILE AKIBAT PERBEDAAN LAPISAN TANAH DENGAN METODE ELEMEN HINGGA PROYEK JALAN TOL MEDAN-KUALANAMU-TEBING TINGGI

Sugaluh Wisnu Murti

1307210274

M. Husin Gultom, ST, MT

Tondi Amirsyah P, ST, MT

Pondasi tiang bor (*bored piled*) adalah bagian dari suatu sistem rekayasa yang meneruskan beban yang di topang oleh pondasi dan beratnya sendiri kepada tanah dan batuan yang terletak dibawahnya. Dalam pemilihan pondasi sangat dibutuhkan pengetahuan tentang jenis tanah, daya dukung pondasi yang harus lebih besar dari pada beban yang bekerja pada pondasi baik beban statik maupun beban dinamik, penurunan yang akan ditimbulkan akibat pembebanan tidak boleh melebihi penurunan yang diijinkan dan pengendalian mutu menjadi salah satu kunci penting keberhasilan pondasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui daya dukung pondasi dan besarnya penurunan yang terjadi pada pondasi. Pada penelitian ini digunakan metode analitis dan penurunan elastis kemudian menggunakan bantuan program analisis (*software Plaxis*). Data tanah yang diperoleh berupa data *Standard penetration test* (SPT) yang dikorelasikan kedalam parameter-parameter tanah yang dibutuhkan dalam program analisis. Berdasarkan data *Standard penetration test* (SPT) dan parameter kuat geser tanah dan dihitung dengan beberapa metode diperoleh hasil perhitungan untuk data *Standard penetration test* (SPT) dengan menggunakan metode Vesic pada titik BH-1 Qijin = 676,7 ton, BH-2 Qijin = 648,8 ton, BH-3 Qijin = 640,5 ton. Untuk parameter kuat geser tanah menggunakan program analisis pada pada titik BH-1 = 620,7 ton, BH-2 = 510,7 ton, BH-3 = 416,7 ton. Sedangkan Untuk penurunan elastis tiang tunggal pada titik BH-1 S = 12,62 mm, titik BH-2 S = 13,11 mm dan titik BH-3 S = 12,98 mm. Dengan program Analisis (*software Plaxis*) titik BH-1 S = 23,04 mm, titik BH-2 S = 16,19 mm dan titik BH-3 S = 20,64 mm.

Kata kunci: Daya dukung, *Bored pile*, Penurunan, Vesic, Plaxis.

ABSTRACT

PARAMETRIC STUDY OF ELASTIC REDUCTION BORED FOUNDATION PILE DUE TO DIFFERENCES IN SOIL LAYERS WITH METHODS FINAL ELEMENTS OF TOLL ROAD PROJECTS MEDAN-KUALANAMU-TEBING TINGGI

Sugaluh Wisnu Murti
1307210274
M. Husin Gultom, ST, MT
Tondi Amirsyah P, ST, MT

Bored piled foundation is part of an engineering system that forwards the load supported by the foundation and its own weight to the soil and rocks located below it. In the selection of foundations, knowledge of soil types is needed, the carrying capacity of the foundation that must be greater than the load that works on the foundation both static and dynamic loads, the reduction that will result from loading cannot exceed the allowable decrease and quality control becomes one of the key important foundation success. This study aims to determine the carrying capacity of the foundation and the amount of reduction that occurs at the foundation. In this study, analytical and elastic reduction methods were used then using the help of an analysis program (Plaxis software). Land data obtained in the form of Standard penetration test (SPT) data are correlated into the soil parameters needed in the analysis program. Based on the data of the Standard penetration test (SPT) and the parameters of soil shear strength and calculated by several methods, the results of calculations for the Standard penetration test (SPT) data using the Vesic method at the point of BH-1 $Q_{ijin} = 676.7$ tons, BH-2 $Q_{ijin} = 648,8$ ton, BH-3 $Q_{ijin} = 640.5$ tons. For soil shear strength parameters using the analysis program at the point BH-1 = 620.7 tons, BH-2 = 510.7 tons, BH-3 = 416.7 tons. Whereas for elastic reduction of single pole at point BH-1 $S = 12.62$ mm, point BH-2 $S = 13.11$ mm and point BH-3 $S = 12.98$ mm. With the Analysis program (software Plaxis) point BH-1 $S = 23.04$ mm, point BH-2 $S = 16.19$ mm and point BH-3 $S = 20.64$ mm.

Keywords: Bearing capacity, bored pile, settlement, Vesic, Plaxis.

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Studi Parametrik penurunan elastis pondasi *Bored pile* akibat perbedaan lapisan tanah dengan metode elemen hingga proyek jalan tol Medan-Kualanamu-Tebing tinggi” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Muhammad Husin Gultom, ST, MT, selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Tondi Amirsyah Putera, ST, MT, selaku Dosen Pembimbing II dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. Fahrizal Zulkarnain, ST, MT, selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, sekaligus sebagai Ketua Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Ibu Ir. Zurkiyah, MT, yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Ibu Hj. Irma Dewi, ST, MSi, selaku Sekretaris Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Munawar Alfansury Siregar, ST, MT, selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

7. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu ketekniksipilan kepada penulis.
8. Kedua Orang Tua saya yang telah membesarkan, mendidik, dan memberikan kasih sayang yang sangat besar kepada saya serta senantiasa selalu mendoakan saya untuk dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
9. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
10. Sahabat-sahabat penulis: Agung trisna, Pardamean Manonggak simamora, Nur Fitriani, kelas Geoteknik Malam dan seluruh angkatan 2013 yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia konstruksi teknik sipil.

Medan, 15 Oktober 2018



Sugali Wisnu Murti

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR NOTASI	xiii
DAFTAR SINGKATAN	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Ruang Lingkup	2
1.4. Tujuan	3
1.5. Manfaat Penulisan	3
1.6. Sistematika Pembahasan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Tanah	5
2.2. Penyelidikan Tanah (<i>Soil Invertigasi</i>)	5
2.2.1. Pengujian Penetrasi Kerucut Statis (Sondir)	7
2.2.2. Pengujian Penetrasi Standar (SPT)	8
2.3. Pondasi	11
2.4. Pengertian Pondasi Tiang	15
2.5. Pelaksanaan Pondasi Tiang Bor	16
2.6. Kapasitas Daya Dukung	21
2.6.1. Tiang Dukung Ujung Dan Tiang Gesek	21
2.6.2. Kapasitas Daya Dukung Bored pile	22
2.6.3. Persamaan Daya Dukung Kelompok Tiang	26
2.7. Faktor Keamanan	29

2.8.	Penurunan tiang elastis (<i>Elastic Settlement</i>)	30
2.9.	Penurunan Tiang Kelompok	34
2.10.	Parameter Tanah	34
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		
3.1.	Diagram Alir Penelitian	39
3.2.	Data Umum Proyek	40
3.3.	Lokasi Titik Pengeboran	41
3.4.	Pengumpulan Data	42
3.5.	Analisis Data Tanah	42
3.6.	Analisis Parameter Tanah	44
3.7.	Menghitung Daya Dukung Dan Penurunan Dengan Metode Elemen Hingga	49
3.7.1.	Pemodelan Geometri	49
3.7.2.	Kondisi Batas	49
3.7.3.	Input Parameter Tanah	50
3.7.4.	Penyusunan Jaring Elemen	51
3.7.5.	Kondisi Awal	52
3.7.6.	Kalkulasi	52
BAB 4 ANALISA DAN PEMBAHASAN		
4.1.	Perhitungan Daya Dukung Menggunakan Data Parameter	54
4.1.1.	Perhitungan Pada Titik BH-1	54
4.1.2.	Perhitungan Pada Titik BH-2	58
4.1.3.	Perhitungan Pada Titik BH-3	61
4.2.	Perhitungan Daya Dukung Kelompok Tiang	65
4.2.1.	Penurunan Pada Titik BH-1	65
4.2.2.	Penurunan Pada Titik BH-2	65
4.2.3.	Penurunan Pada Titik BH-3	66
4.3.	Perhitungan Penurunan Elastis (<i>Elastic Settlement</i>)	66
4.3.1.	Penurunan Pada Titik BH-1	66
4.3.2.	Penurunan Pada Titik BH-2	67
4.3.3.	Penurunan Pada Titik BH-3	69
4.4.	Hasil Program Analisis	70

4.5. Perbandingan Hasil Perhitungan	73
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Kesimpulan	75
5.2. Saran	77
DAFTAR PUSTAKA	78
LAMPIRAN	
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Faktor daya dukung	23
Tabel 2.2	Hubungan dari nilai sudut geser dan nilai N	24
Tabel 2.3	Nilai faktor daya dukung	24
Tabel 2.4	Parameter rencana tiang untuk tanah lempung	26
Tabel 2.5	Faktor keamanan	30
Tabel 2.6	Parameter elastik tanah	32
Tabel 2.7	Nilai koefisien empiris	33
Tabel 2.8	Korelasi N-SPT dengan modulus elastisitas tanah lempung	35
Tabel 2.9	Korelasi N-SPT dengan modulus elastisitas tanah pasir	36
Tabel 2.10	Hubungan jenis tanah dan poisson ratio	36
Tabel 2.11	Hubungan jenis tanah dengan berat isi tanah kering	37
Tabel 2.12	Nilai koefisien permeabilitas tanah	38
Tabel 3.1	Data hasil pengeboran (BH-1)	43
Tabel 3.2	Data hasil pengeboran (BH-2)	43
Tabel 3.3	Data hasil pengeboran (BH-3)	44
Tabel 3.4	Parameter (BH-1)	46
Tabel 3.5	Parameter (BH-2)	47
Tabel 3.6	Parameter (BH-3)	48
Tabel 4.1	Hasil perhitungan daya dukung BH-1	57
Tabel 4.2	Hasil perhitungan daya dukung BH-2	61
Tabel 4.3	Hasil perhitungan daya dukung BH-3	65
Tabel 4.4	Perbandingan daya dukung	74
Tabel 4.5	Perbandingan penurunan tiang	74

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Rincian konus ganda	8
Gambar 2.2	Pengujian penetrasi standar (SPT)	10
Gambar 2.3	Skema urutan pengujian penetrasi standar (SPT)	11
Gambar 2.4	Macam-macam tipe pondasi	12
Gambar 2.5	<i>Overbreak</i> diameter lubang bor akibat longsoran tanah	18
Gambar 2.6	Tiang ditinjau dari cara mendukung bebannya	21
Gambar 2.7	Tipikal pengaturan kelompok pondasi tiang	27
Gambar 2.8	Skematik mobilisasi tekanan	28
Gambar 2.9	Jenis distribusi tahanan kulit sepanjang tiang	31
Gambar 2.10	Gambar dimensi kelompok tiang	34
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	39
Gambar 3.2	Denah Lokasi Proyek Pembangunan Jalan Tol Medan Kualanamu Tebing Tinggi Seksi 6	40
Gambar 3.3	Lokasi titik pengeboran BH-1	41
Gambar 3.4	Lokasi titik pengeboran BH-2	41
Gambar 3.5	Lokasi titik pengeboran BH-3	42
Gambar 3.6	Pemodelan geometri	49
Gambar 3.7	Penetapan batas pada geometri	50
Gambar 3.8	Input parameter	51
Gambar 3.9	Penyusunan jaring mesh	51
Gambar 3.10	Hasil perhitungan	52
Gambar 3.11	Tahapan perhitungan	52
Gambar 4.1	Penurunan dengan beban rencana 300 ton	71
Gambar 4.2	Penurunan dengan beban rencana 600 ton	71
Gambar 4.3	Kurva perbandingan penurunan antara titik BH-1, BH-2 dan BH-3 menggunakan program analisis	73

DAFTAR NOTASI

A_p	= Luas penampang tiang (m)
c	= Kohesi
C_u	= Kohesi undrained
C_p	= Koefisien empiris
C_s	= Konstanta Empiris
D	= Diameter tiang (m)
E_s	= Modulus elastisitas tanah disekitar tiang
E_b	= Modulus elastisitas tanah didasar tiang
E_p	= Modulus elastisitas dari bahan tiang
H	= Kedalaman (m)
I_{rr}	= Indeks kekakuan berkurang
I_{ws}	= Faktor pengaruh
I_{wp}	= Faktor Pengaruh tertentu
I_r	= Indeks kekakuan
K	= Faktor kekakuan tiang
K_o	= Koefisien tekanan tanah
L	= Panjang tiang (m)
L_i	= Panjang lapisan tanah yang ditinjau (m)
N	= Harga SPT lapangan
N_o	= Faktor daya dukung
P	= Luas selimut tiang
P_a	= Tekanan atmosfir (kN/m^2)
Q_{wp}	= Beban yang dipikul ujung tiang di bawah kondisi beban kerja
Q_{ws}	= Beban yang dipikul kulit tiang di bawah kondisi beban kerja
$Q_b = Q_p$	= Kapasitas tahanan di ujung tiang (kN)
Q_s	= Kapasitas tahanan kulit (kN)
Q_{ult}	= Kapasitas tahanan <i>ultimate</i> (kN)
$Q_{all} = Q_{izin}$	= Kapasitas tahanan izin (kN)
q_{wp}	= Beban titik per satuan luas ujung tiang

q_c	= Tahanan ujung sondir
q_p	= Tahanan ujung batas tiang
q'	= Tegangan
SF	= Faktor keamanan
S	= Penurunan pondasi (mm)
σ_o	= Tegangan efektif
α	= Koefisien adhesi antara tanah dan tiang
ϕ	= sudut geser dalam ($^\circ$)
γ_{sat}	= Berat isi tanah jenuh
γ_{dry}	= Berat isi tanah kering
$\nu = \mu$	= Poisson Ratio
ψ	= Sudut dilatansi
Δ	= Regangan volumetrik rata-rata

DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN

EI	= Elastisitas dengan Inersia
EA	= Elastisitas dengan Luas
Dr	= Kepadatan relatif
FK	= Faktor keamanan
Kx	= Permeabilitas arah x
Ky	= Permeabilitas arah y
SPT	= Standard penetration test
Ux	= Koordinat titik arah x
Uy	= Koordinat titik arah y

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Di Indonesia peranan investasi infrastruktur transportasi sebagai suatu generator suatu pertumbuhan ekonomi telah menjadi perhatian sejak lama, karena salah satu bentuk investasi transportasi di antaranya adalah melalui pembangunan jalan tol. Pembangunan jalan tol di Indonesia dimulai pada tahun 1975. Hal tersebut didorong dengan keinginan negara dalam memperlancar lalu lintas, meningkatkan pelayanan distribusi barang dan jasa guna menunjang pertumbuhan ekonomi, meningkatkan pemerataan hasil pembangunan dan keadilan, dan meringankan beban dana pemerintah melalui partisipasi pengguna jalan. manfaat yang diharapkan dari pembangunan jalan tol itu sendiri adalah meningkatkan aksesibilitas, pengaruh pada perkembangan wilayah dan peningkatan ekonomi, adanya keuntungan berupa penghematan biaya operasi kendaraan, waktu dan pengembalian investasi melalui pendapatan tol yang tergantung pada kepastian tarif tol.

Bentuk dan struktur tanah merupakan suatu peranan yang penting dalam suatu pekerjaan konstruksi yang harus dicermati karena kondisi ketidaktentuan dari tanah berbeda-beda. Sebelum melaksanakan suatu pembangunan konstruksi yang pertama-tama dilaksanakan dan dikerjakan dilapangan adalah pekerjaan pondasi (struktur bawah). Dalam perencanaan pondasi ada beberapa kegiatan yang dilakukan antara lain, *soil investigation* dan perencanaan desain pondasi. Tujuan dilaksanakan *soil investigation* adalah untuk mendapatkan karakteristik dan parameter-parameter tanah yang mempengaruhi keadaan tanah lokasi bangunan tersebut. Karena pada prinsipnya suatu bangunan tidak akan dapat dibangun di tanah yang tidak mampu menerima beban gedung tersebut karena akan menyebabkan terjadinya penurunan (*settlement*) dari konstruksi bangunan tersebut, atau dengan kata lain stabilitas bangunan tersebut akan terganggu.

Pondasi sebagai struktur bawah secara umum dapat dibagi dalam 2 (dua) jenis, yaitu pondasi dalam dan pondasi dangkal. Pemilihan jenis pondasi tergantung kepada jenis struktur atas apakah termasuk konstruksi beban ringan atau beban berat dan juga tergantung pada jenis tanahnya. Pondasi *Bored pile* adalah jenis pondasi dalam, *Bored pile* berinteraksi dengan tanah untuk menghasilkan daya dukung yang mampu memikul dan memberikan keamanan pada struktur atas. Maka harus diperhatikan dalam mendesain sistem pondasi daya dukung pondasi harus lebih besar dari beban yang bekerja pada pondasi dan besarnya penurunan pondasi harus lebih kecil dari penurunan yang diijinkan. Untuk menghasilkan daya dukung dan penurunan pondasi *Bored Pile* yang akurat maka diperlukan suatu penyelidikan tanah yang akurat juga. Oleh sebab itu penulis mencoba mengkonsentrasikan Tugas Akhir ini dalam suatu Studi Parametrik Penurunan Elastis Pondasi *Bored Pile* Akibat Perbedaan Lapisan Tanah Dengan Metode Elemen Hingga Proyek Jalan Tol Medan-Kualanamu-Tebing Tinggi.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang dikemukakan di atas, maka permasalahan dalam tugas akhir ini sebagai berikut:

1. Bagaimana perhitungan dan perbandingan daya dukung pondasi *bored pile* berdasarkan data korelasi parameter dan program Plaxis ?
2. Berapakah besar penurunan elastis (*elastic settlement*) yang terjadi pada pondasi *bored pile* ?
3. Berapakah besar kapasitas kelompok ijin pada pondasi *bored pile* ?

1.3. Ruang lingkup

Pada pelaksanaan proyek pembangunan Jalan Tol Medan - Kualanamu - Tebing Tinggi, terdapat banyak permasalahan yang dapat ditinjau dan dibahas, maka didalam laporan ini sangatlah perlu kiranya diadakan suatu pembatasan masalah. Tujuannya menghindari kekaburan serta penyimpangan dari masalah yang dikemukakan sehingga semuanya yang dipaparkan tidak menyimpang dari

tujuan semula. Walaupun demikian, hal ini tidaklah berarti akan memperkecil arti dari pokok-pokok masalah yang dibahas disini, melainkan hanya karena keterbatasan belaka. Namun dalam penulisan laporan ini permasalahan yang ditinjau hanya dibatasi pada :

1. Proyek Jalan Tol Medan-Kualanamu-Tebing Tinggi.
2. Untuk kondisi tanah yang ditinjau hanya pada BH1, BH2 dan BH3.
3. Menggunakan data *Standart Penetration Test* (SPT) dan data Parameter.
4. Analitis daya dukung menggunakan metode Vesic.
5. Menghitung Efisiensi tiang kelompok menggunakan persamaan Vesic.

1.4. Tujuan

Adapun tujuan penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Menghitung dan membandingkan daya dukung pondasi *bored pile* berdasarkan data korelasi parameter dan program Plaxis.
2. Menghitung penurunan (*elastic settlement*) yang terjadi pada pondasi *bored pile*.
3. Menghitung kapasitas kelompok ijin pondasi *bored pile*.

1.5. Manfaat Penulisan

Ada dua manfaat yang dapat diperoleh dalam penulisan tugas akhir ini yaitu manfaat teoritis dan manfaat praktis.

1. Manfaat teoritis dalam penulisan tugas akhir ini adalah menerapkan ilmu pengetahuan dalam teknik sipil.
2. Menambah pengetahuan praktis keteknisipilan dari pembimbing, sehingga menambah pengetahuan bagi penulis yang nantinya dapat di aplikasikan selama di lapangan dan diharapkan bermanfaat sebagai khasanah perkembangan ilmu pengetahuan di bidang geoteknik, terutama pondasi pile penulis dan pihak-pihak terkait.

1.6. Sistematika Pembahasan

Laporan tugas akhir ini terdiri dari lima bab dengan rincian bab sebagai berikut:

BAB - I PENDAHULUAN

Pada bab ini dibahas mengenai latar belakang, rumusan masalah, ruang lingkup, tujuan, manfaat penulisan dan sistematika penulisan.

BAB - II TINJAUAN PUSATAKA

Bab ini berisikan tentang teori-teori dasar yang mendukung studi yang digunakan dalam laporan tugas akhir.

BAB - III METODOLOGI

Bab ini berisi metodologi penelitian, pengumpulan dan interpretasi data yang akan digunakan dalam tugas akhir ini.

BAB - IV ANALISIS DAN PERHITUNGAN

Bab ini berisi tentang analisis dan perhitungan kapasitas daya dukung pondasi dan penurunan elastis pondasi *bored pile* berdasarkan data yang dikumpulkan.

BAB - V KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi tentang kesimpulan dan saran mengenai studi kasus pada laporan tugas akhir ini.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tanah

Dalam pandangan Teknik Sipil tanah adalah himpunan mineral, bahan organik dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*), yang terletak diatas batuan dasar (*bedrock*). Ikatan antara butiran yang relatif lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida-oksida yang mengendap-ngendap diantara partikel-partikel. Ruang diantara partikel-partikel dapat berisi air, udara, ataupun keduanya (Hardiyatmo, 2008).

Dalam pengertian teknik secara umum, tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut (Das, Braja M. 1995).

Dalam bukunya Braja M. Das (1995) menjelaskan ukuran dari partikel tanah adalah sangat beragam dengan variasi yang cukup besar, tanah umumnya dapat disebut sebagai kerikil (*gravel*), pasir (*sand*), lanau (*silt*), atau lempung (*clay*), tergantung pada ukuran partikel yang paling dominan fakta tanah tersebut. Untuk menerangkan tentang tanah berdasarkan ukuran-ukuran partikelnya, beberapa organisasi telah mengembangkan batasan-batasan ukuran golongan jenis tanah (*soil-separate-size limits*).

2.2. Penyelidikan Tanah (*Soil Investigation*)

Penyelidikan tanah di lapangan dibutuhkan untuk data perancangan pondasi bangunan, seperti bangunan gedung, dinding penahan tanah, bendungan, jalan, dermaga, dan lain-lain. Bergantung pada maksud dan tujuannya, penyelidikan dapat dilakukan dengan cara-cara menggali lubang-cobaan (*trial-pit*), pengeboran, dan pengujian langsung dilapangan (*in-situ test*). Dari data yang diperoleh, sifat-

sifat teknis tanah dipelajari, kemudian digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam menganalisis daya dukung dan penurunan (Hardiyatmo, 1996).

Tuntutan ketelitian penyelidikan tanah tergantung dari besarnya 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 tanahnya dapat diketahui berdasarkan pengalaman setempat (Hardiyatmo, 1996). Tujuan penyelidikan tanah, antara lain:

- 1) Menentukan daya dukung tanah menurut tipe pondasi yang dipilih.
- 2) Menentukan tipe dan kedalaman pondasi.
- 3) Untuk mengetahui posisi muka air tanah.
- 4) Untuk meramalkan besarnya penurunan.
- 5) Menentukan besarnya tekanan tanah terhadap dinding penahan tanah atau pangkal jembatan.
- 6) Menyelidiki keamanan 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 ada 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 Penetrometer*.

- 2) Penyelidikan di laboratorium

Sifat-sifat fisik tanah dapat dipelajari dari hasil uji Laboratorium pada sampel tanah yang diambil dari pengeboran. Hasil yang diperoleh dapat digunakan untuk menghitung kapasitas daya dukung ultimit dan penurunan. Jenis penyelidikan di laboratorium terdiri dari uji *index properties* tanah (*Atterberg Limit*, *Water Content*, *Spesific Gravity*, *Sieve Analysis*) dan *engineering properties* tanah (*Direct Shear Test*, *Triaxial Test*, *Consolidation Test*, *Permeability 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 tidaklah mungkin bisa didapatkan, akan tetapi dengan menggunakan teknik-teknik pelaksanaan yang baik, maka kerusakan-kerusakan pada contoh tanah tersebut dapat diminimalisir. *Undisturbed soil* digunakan untuk percobaan *engineering properties*.

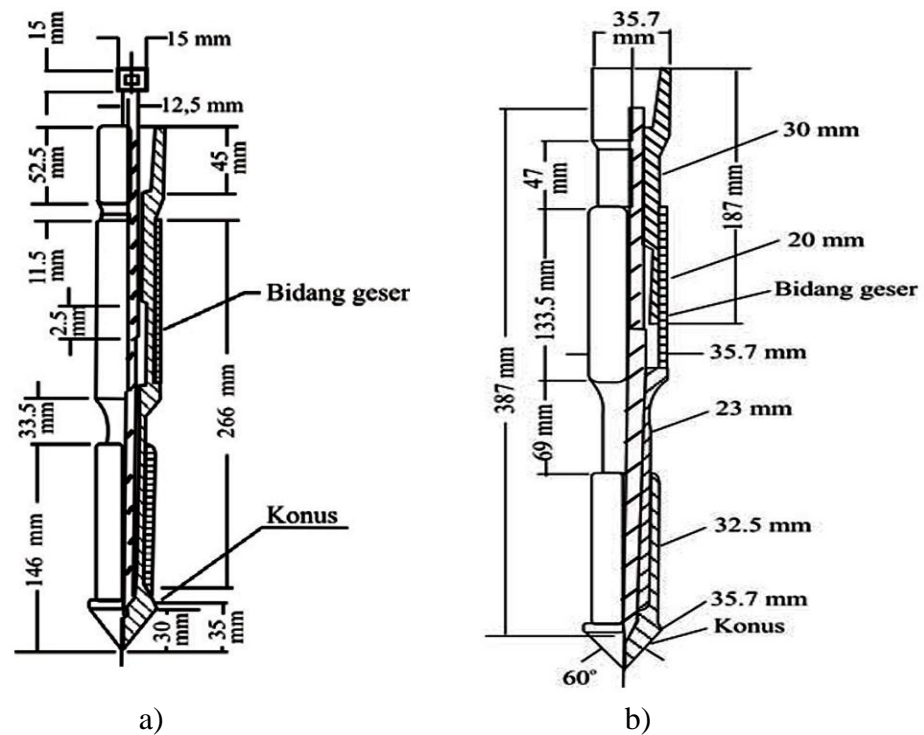
2) Contoh tanah terganggu (*disturbed soil*)

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.

2.2.1. Pengujian Penetrasi Kerucut Statis (Sondir)

Uji Penetrasi Kerucut Statis atau Uji Sondir banyak digunakan di Indonesia. Pengujian ini berguna untuk menentukan lapisan-lapisan tanah berdasarkan ketahanan ujung konus dan daya lekat tanah setiap kedalaman pada alat sondir (SNI 2827, 2008).

Hasil penyelidikan dengan Sondir ini digambarkan dalam bentuk grafik yang menyatakan hubungan antara kedalaman setiap lapisan tanah dengan perlawanan penetrasi konus atau perlawanan tanah terhadap konus yang dinyatakan dalam gaya persatuan panjang. Konus yang digunakan harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut (Gambar 2.1):



Gambar 2.1: Rincian konus ganda, (a) Keadaan tertekan, (b) Keadaan terbentang (SNI 2827, 2008).

dimana:

- 1) Ujung konus bersudut $60^\circ \pm 5^\circ$.
- 2) Ukuran diameter konus adalah $35,7 \text{ mm} \pm 0,4 \text{ mm}$ atau luas proyeksi konus = 10 cm^2 ; bagian runcing ujung konus berjari-jari kurang dari 3 mm.
- 3) Konus ganda harus terbuat dari baja dengan tipe dan kekerasan yang cocok untuk menahan abrasi dari tanah.

2.2.2. Pengujian Penetrasi Standar (SPT)

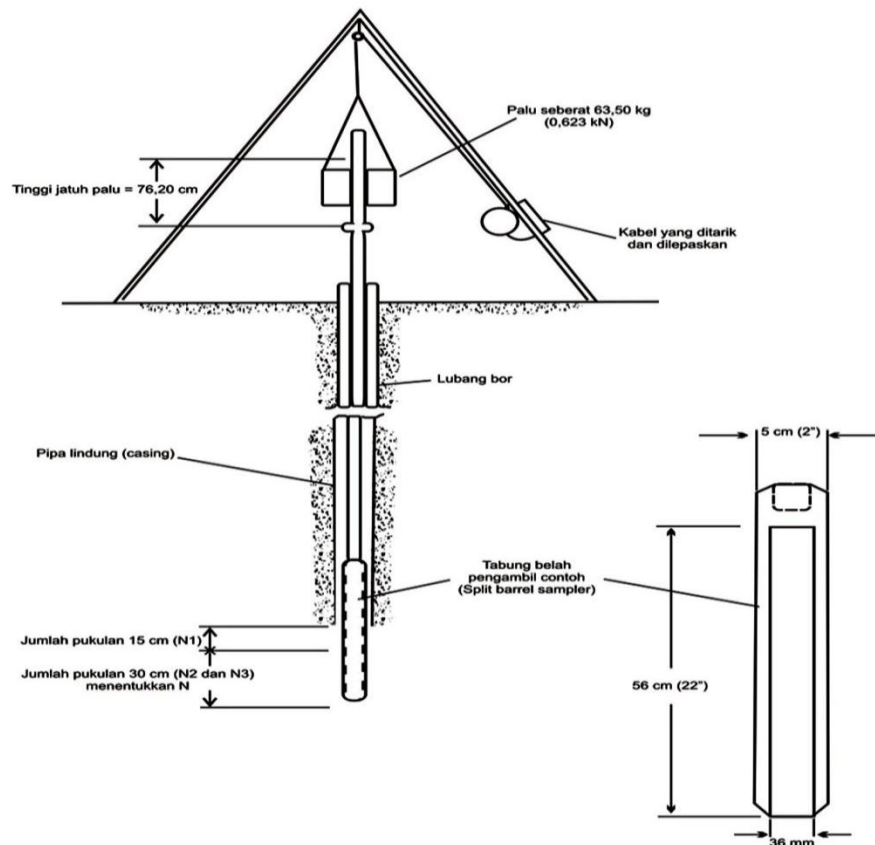
Tujuan Pengujian Penetrasi Standar yaitu untuk menentukan kepadatan relatif dan sudut geser lapisan tanah tersebut dari pengambilan contoh tanah dengan tabung, dapat diketahui jenis tanah dan ketebalan dari setiap lapisan tanah tersebut, untuk memperoleh data yang kumulatif pada perlawanan penetrasi tanah dan menetapkan kepadatan dari tanah yang tidak berkoheesi yang biasanya sulit diambil sampelnya.

Pengujian Penetrasi Standar (SPT) adalah suatu metode uji yang dilaksanakan bersamaan dengan pengeboran untuk mengetahui, baik perlawanan dinamik tanah maupun pengambilan contoh terganggu dengan teknik penumbukan. Uji SPT terdiri atas uji pemukulan tabung belah dinding tebal ke dalam tanah, disertai pengukuran jumlah pukulan untuk memasukkan tabung belah sedalam 300 mm vertikal. Dalam sistem beban jatuh ini digunakan palu dengan berat 63,5 kg, yang dijatuhkan secara berulang dengan tinggi jatuh 0,76 m. Pelaksanaan pengujian dibagi dalam tiga tahap, yaitu berturut-turut setebal 150 mm untuk masing-masing tahap (SNI 4153, 2008).

a. Persiapan Pengujian

Lakukan persiapan pengujian SPT di lapangan dengan tahapan sebagai berikut (Gambar 2.2):

- 1) Pasang blok penahan (*knocking block*) pada pipa bor.
- 2) Beri tanda pada ketinggian sekitar 75 cm pada pipa bor yang berada di atas penahan.
- 3) Bersihkan lubang bor pada kedalaman yang akan dilakukan pengujian dari bekas-bekas pengeboran.
- 4) Pasang *split barrel sampler* pada pipa bor, dan pada ujung lainnya disambungkan dengan pipa bor yang telah dipasang blok penahan.
- 5) Masukkan peralatan uji SPT ke dalam dasar lubang bor atau sampai kedalaman pengujian yang diinginkan.
- 6) Beri tanda pada batang bor mulai dari muka tanah sampai ketinggian 15 cm, 30 cm dan 45 cm.



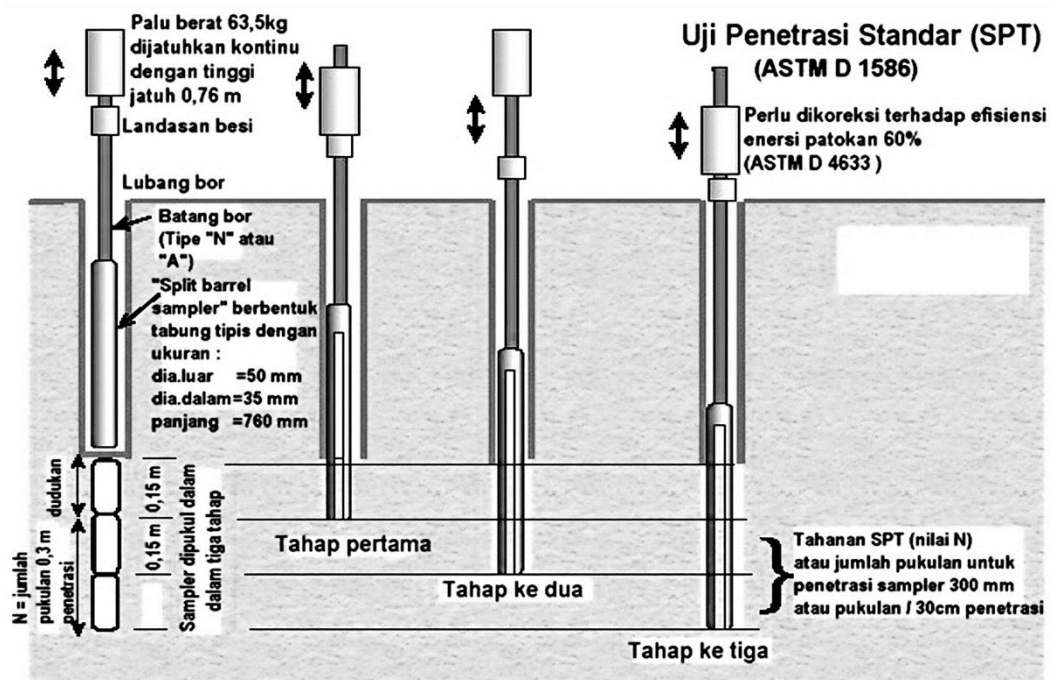
Gambar 2.2: Pengujian penetrasi standar (SPT) (SNI 4153, 2008).

b. Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan dengan tahapan sebagai berikut (Gambar 2.3):

- 1) Pengujian dilakukan pada setiap perubahan lapisan tanah atau pada interval sekitar 1,50 m s.d 2,00 m atau sesuai keperluan.
- 2) Pengikat palu (hammer) ditarik menggunakan tali sampai pada tanda yang telah dibuat sebelumnya (kira-kira 75 cm).
- 3) Melepaskan tali sehingga palu jatuh bebas menimpa penahan, Ulangi 2) dan 3) berkali-kali sampai mencapai penetrasi 15 cm.
- 4) Menghitung jumlah pukulan atau tumbukan N pada penetrasi 15 cm yang pertama.
- 5) Mengulangi 2), 3), 4) dan 5) sampai pada penetrasi 15 cm yang ke-dua dan ke-tiga.
- 6) Mencatat jumlah pukulan N pada setiap penetrasi 15 cm:

- 15 cm pertama dicatat N1
 - 15 cm ke-dua dicatat N2
 - 15 cm ke-tiga dicatat N3
 - Jumlah pukulan yang dihitung adalah $N2 + N3$. Nilai N1 tidak diperhitungkan karena masih kotor bekas pengeboran;
- 7) Bila nilai N lebih besar dari pada 50 pukulan, hentikan pengujian dan tambah pengujian sampai minimum 6 meter.
 - 8) Catat jumlah pukulan pada setiap penetrasi 5 cm untuk jenis tanah batuan.



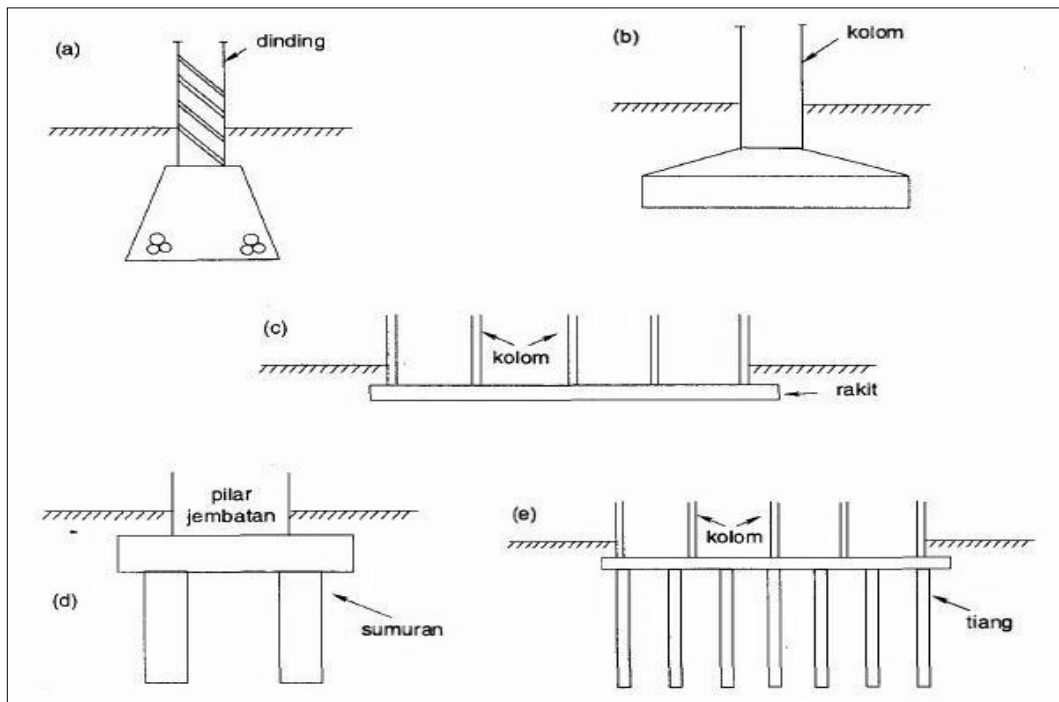
Gambar 2.3: Skema urutan pengujian penetrasi standar (SPT) (SNI 4153, 2008).

2.3. Pondasi

Pondasi adalah bagian terendah dari bangunan yang meneruskan beban bangunan ke tanah atau batuan yang berada di bawahnya (Hardiyatmo, 1996). Terdapat dua klasifikasi pondasi, yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam. Pondasi dangkal didefinisikan sebagai pondasi yang mendukung bebannya secara langsung, seperti: pondasi telapak, pondasi memanjang dan pondasi rakit. Pondasi dalam didefinisikan sebagai pondasi yang meneruskan beban bangunan ke tanah keras atau batu yang terletak relatif jauh dari permukaan, contohnya pondasi

sumuran dan pondasi tiang. Macam-macam contoh tipe pondasi diberikan dalam Gambar 2.4.

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 beratnya sendiri kepada dan kedalam tanah dan batuan yang terletak dibawahnya (Bowles, 1997).



Gambar 2.4: Macam-macam tipe pondasi:
(a) Pondasi memanjang, (b) Pondasi telapak, (c) Pondasi rakit,
(d) Pondasi sumuran, (e) Pondasi tiang.

Istilah struktur-atas umumnya dipakai untuk menjelaskan bagian sistem yang direkayasa yang membawa beban kepada pondasi atau struktur-bawah. Istilah struktur-atas mempunyai arti khusus untuk bangunan-bangunan dan jembatan-jembatan, akan tetapi, pondasi tersebut dapat juga hanya menopang mesin-mesin, mendukung peralatan industrial, bertindak sebagai alas untuk papan iklan, dan sejenisnya. Karena sebab-sebab inilah maka lebih baik melukiskan suatu pondasi itu sebagai bagian tertentu dari sistem rekayasaan komponen-komponen pendukung beban yang mempunyai bidang antara (*interfacing*) terhadap tanah.

Menurut Joseph E. Bowles (1997) langkah-langkah berikut ialah persyaratan minimum untuk merancang suatu pondasi:

- 1) Menentukan lokasi tapak dan posisi dari muatan. Perkiraan kasar dari 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 atas masalah yang sejenis.
- 2) Pemeriksaan fisik atas tapak tentang adanya setiap masalah geologis atau masalah-masalah lain, bukti-bukti dari kemungkinan 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 rancangan tanah yang perlu berdasarkan pengintegrasian data uji, asas-asas, ilmiah, dan pertimbangan rekayasa. Hal ini mungkin melibatkan analisis komputer 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 memberikan perspektif menurut sumber luar.
- 5) Membuat rancangan pondasi dengan menggunakan parameter-parameter tanah menurut langkah nomor 4. Laksanakan interaksi yang erat dengan semua pihak yang berkepentingan (nasabah, para perekayasa, arsitek, kontraktor) sehingga sistem struktur-bawah itu tidak dirancang secara berlebihan dan risiko dijaga agar berada pada tingkat-tingkat yang dapat diterima.

Sedangkan menurut Sosrodarsono dan Nakazawa (1980) untuk memilih pondasi yang memadai, perlu diperhatikan apakah pondasi itu cocok untuk berbagai keadaan dilapangan dan apakah pondasi itu memungkinkan untuk diselesaikan secara ekonomis sesuai dengan jadwal kerjanya. Bila keadaan

tersebut ikut dipertimbangkan dalam menentukan macam 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 no1 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 dalam hal ini pondasinya adalah pondasi telapak (*spread foundation*).
- 2) Bila tanah pendukung pondasi terletak pada kedalaman 10 meter dibawah permukaan tanah, dalam hal ini dipakai pondasi tiang atau pondasi tiang apung (*floating pile foundation*) untuk memperbaiki tanah pondasi. Jika memakai tiang, maka tiang baja atau tiang beton yang dicor ditempat (*cast in place*) kurang ekonomis, karena tiang tersebut 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. Apabila tidak boleh terjadi penurunan, biasanya digunakan 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 di bawah permukaan tanah, biasanya dipakai kaison terbuka, tiang baja atau tiang yang dicor di tempat. Tetapi apabila tekanan atmosfer yang bekerja ternyata kurang dari 3 kg/cm^2 digunakan juga kaison tekanan.
- 5) Bila tanah pendukung pondasi terletak pada kedalaman lebih dari 40 meter di bawah permukaan tanah, dalam hal ini yang paling baik adalah tiang baja dan tiang beton yang dicor di tempat.

2.4. Pengertian Pondasi Tiang

Pondasi tiang adalah suatu konstruksi pondasi yang mampu menahan gaya orthogonal kesumbu tiang dengan jalan menyerap lenturan (Sosrodarsono dan Nakazawa, 1980). Pondasi tiang dibuat menjadi satu kesatuan dengan monolit menyatukan pangkal tiang pancang yang terdapat dibawah konstruksi, dengan tumpuan pondasi.

Dalam Tugas Akhir Harianti (2007) menjelaskan perbedaan antara pondasi tiang bor dengan pondasi tiang pancang terletak pada metode konstruksinya. Secara umum, pondasi tiang bor (*bored pile*) merupakan pondasi yang dikonstruksi dengan cara mengecor beton segar kedalam lubang yang telah dibor sebelumnya. Tulangan baja dimasukkan ke dalam lubang bor sebelum pengecoran beton. Pondasi tiang bor merupakan *nondisplacement pile* karena pelaksanaannya tidak menyebabkan perpindahan tanah.

Keuntungan-keuntungan pondasi tiang bor:

- a) Peralatan pengeboran mudah dipindahkan sehingga waktu pelaksanaan relatif sangat cepat.
- b) Berdasar contoh tanah selama pengeboran dapat dipelajari kesesuaian kondisi tanah yang dijumpai dengan keadaan tanah dari *boring log* yang dilakukan pada waktu penyelidikan tanah.
- c) Diameter dan kedalaman lubang bor mudah divariasikan sehingga jika terjadi perubahan-perubahan dari rencana semula misalnya beban kolom berubah, kondisi tanah berbeda dengan penyelidikan tanah dapat segera dilakukan penyesuaian-penyesuaian.
- d) Suara dan getaran yang ditimbulkan dari alat *boring* relatif lebih kecil jika dibandingkan dengan alat-alat pancang lain.
- e) Dapat dipergunakan untuk segala macam kondisi tanah misalnya harus menembus lapisan keras, kerakal, lensa-lensa batuan yang tidak dapat ditembus oleh tiang pancang.
- f) Tiang bor merupakan "*high bearing capacity piles*" karena diameter dapat divariasikan sampai 1,50 m, sehingga lebih ekonomis untuk beban-beban kolom yang besar terutama untuk pondasi bangunan tinggi. Dalam arti, 1 tiang

bor dapat menggantikan suatu kelompok tiang pancang sehingga *pile cap* yang diperlukan praktis lebih kecil dan ekonomis.

- g) Tidak diperlukan sambungan tiang terutama untuk tiang-tiang yang dalam dimana pada tiang pancang mempunyai panjang yang terbatas sehingga harus disambung dan titik sambungan biasanya merupakan titik-titik kelemahan selama pemancangan.

Kerugian-kerugian pondasi tiang bor:

- a) Prosedur pelaksanaan terutama pengecoran adalah kritis terhadap kualitas tiang secara keseluruhan sehingga memerlukan pengawasan dan pencatatan yang lebih ketat dan teliti selama pelaksanaan.
- b) Teknis-teknis pelaksanaan kadang sangat sensitif terhadap keadaan tanah yang dijumpai sehingga diperlukan personel-personel yang betul-betul berpengalaman.
- c) Kekurangan pengalaman, pengetahuan dari masalah-masalah pelaksanaan dan metode perencanaan dapat menimbulkan masalah-masalah seperti: keterlambatan pelaksanaan, daya dukung yang tidak dipenuhi dan sebagainya.
- d) Kondisi lapangan pekerjaan lebih kotor/berlumpur dibandingkan dengan pondasi tiang pancang sehingga dapat menghambat pekerjaan.
- e) Karena makin besar diameter tiang bor yang direncanakan makin besar pula daya dukungnya sehingga apabila diperlukan *loading test*, biayanya menjadi lebih mahal.
- f) Kondisi tanah di kaki tiang seringkali rusak akibat proses pengeboran. Adanya endapan tanah dari runtuh dinding lubang bor atau sedimentasi lumpur menjadikan daya dukung ujung dari tiang bor tidak dapat diandalkan.
- g) Pelaksanaan pondasi tiang bor memerlukan waktu yang cukup lama.

2.5. Pelaksanaan Pondasi Tiang Bor

Kualitas dari pondasi tiang sangat tergantung dari cara pelaksanaannya. Pemilihan cara pelaksanaan dan alat yang sesuai, cara pelaksanaan (*workmanship*) yang baik dan pengawasan yang ketat terhadap pelaksanaan pondasi tiang bor sangat penting.

Salah satu faktor utama yang menjadi bahan pertimbangan dalam pemilihan jenis pondasi adalah keandalannya. Arti dari keandalan disini adalah keyakinan bahwa pondasi telah dirancang dapat memikul beban yang diberikan dengan suatu faktor keamanan yang memadai. Konsekuensi dari keandalan yang ditawarkan oleh pondasi tiang bor, perhatian yang lebih besar harus dicurahkan pada detail pelaksanaan. Pada dasarnya, semua cara pelaksanaan pondasi tiang akan merubah keadaan tanah asli setempat. Pelaksanaan konstruksi yang dilakukan tanpa pengawasan kontraktor ahli dapat berakibat pada kegagalan konstruksi dan juga terhadap desain pondasi tiang bor yang telah dilakukan.

Pelaksanaan pondasi tiang bor secara garis besar meliputi tahapan sebagai berikut:

1. Penggalian lubang

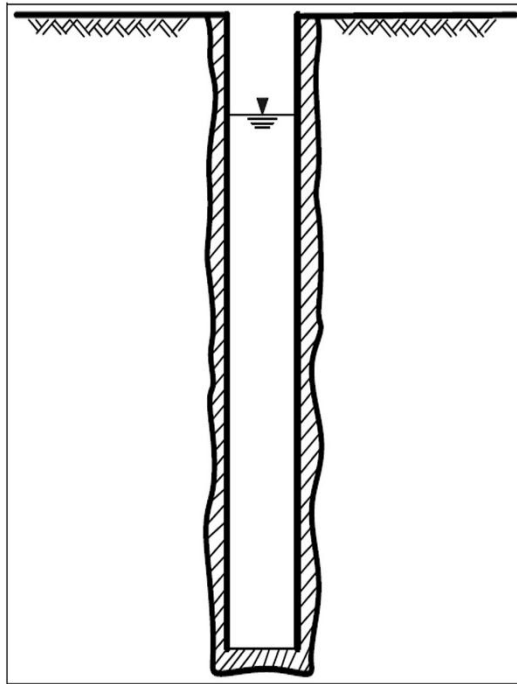
Penggalian lubang dilakukan dengan cara pengeboran tanah. Pengeboran diawali dengan menentukan posisi peralatan pengeboran dan melakukan pengeboran awal dengan metode kering hingga kedalaman tertentu.

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pelaksanaan pengeboran adalah:

- a. Dimensi alat bor dan pemasangan alat pengeboran serta ketelitian letak dan tegak lurusnya tiang,
- b. Persediaan alat-alat bantu yang kiranya diperlukan seperti casing, alat-alat untuk membersihkan lubang, alat-alat pengaman dan sebagainya,
- c. Batas dalamnya pengeboran lubang. Batas ini tergantung dari keadaan tanah. Meskipun umumnya telah ditentukan dalam spesifikasi, namun sebaiknya penentuan di lapangan ditentukan oleh *site soil engineer* yang cukup ahli dan berpengalaman. Pada tanah lempung cukup keras, umumnya lubang tiang dapat langsung dibuat tanpa harus menggunakan *casing*.

Akibat dari penggalian lubang, maka:

- a. Tanah sekeliling dan di bawah lubang terganggu, serta terjadi perubahan tegangan pada bagian yang diarsir pada Gambar 2.5 karena pengambilan tanah.
- b. Jika muka air tanah tinggi, maka akan terjadi aliran air pori tanah ke dalam lubang.



Gambar 2.5: *Overbreak* diameter lubang bor akibat longsor tanah (Harianto, 2007).

Para ahli umumnya sependapat bahwa kedua peristiwa tersebut di atas akan mengakibatkan berkurangnya kekuatan geser tanah lempung. Untuk mengurangi pengaruh tersebut maka penting agar pengecoran beton dilaksanakan secepat mungkin setelah lubang dibuat. Sebagian ahli berpendapat bahwa penggunaan *bentonite* juga dapat mengurangi pengaruh tersebut. Hal lain yang perlu diperhatikan dalam pelaksanaan yaitu bahwa dasar lubang bor harus dibersihkan dahulu dari lumpur dan kotoran yang disebabkan oleh longsoranya sebagian dinding lubang sebelum beton dicor.

Masalah utama dalam instalasi tiang bor pada tanah pasir adalah masalah pelaksanaan. Pada keadaan tanah khusus, seperti tanah pasir lepas sering memerlukan dipakainya *casing* atau penggunaan *bentonite*. Pengaruh pengeboran tanah pasir pada dasar lubang umumnya sama dengan pada tanah lempung yaitu berkurangnya daya dukung tanah. Berdasar penelitian beberapa ahli, disimpulkan bahwa penggunaan *bentonite* secara praktis tidak mengurangi tahanan selimut tanah pada tiang bor, jika cara pelaksanaan tiang bor cukup baik.

2. Pembersihan dasar lubang

Pembersihan dasar lubang dianggap hal yang paling penting dalam pelaksanaan pengeboran, terlebih jika lubang penuh dengan air. Terdapat banyak cara yang dapat dilakukan, tetapi jika lubang penuh air, pemakaian *cleaning bucket* khusus mungkin yang paling dapat diandalkan. Hal penting juga agar lubang tidak terlalu lama dibiarkan, sebaiknya pemasangan tulangan dan pengecoran dilakukan dalam waktu tidak lebih dari 24 jam setelah lubang dibor.

3. Pemasangan tulangan

Perencanaan besi tulangan untuk tiang bor merupakan bagian dari proses desain dan bentuk geometri besi tulangan memiliki pengaruh yang signifikan pada tahapan konstruksi. Penulangan untuk tiang bor biasanya diperlukan untuk menahan gaya lateral, gaya tarik dan momen yang timbul akibat gaya gempa, angin dan sebagainya.

Besi tulangan yang dipakai harus memenuhi spesifikasi ASTM A 615 yakni mempunyai tegangan leleh minimum 3900 kg/cm². Semua besi tulangan harus dipabrikasi secara akurat dan ukuran-ukurannya harus sesuai dengan gambar kerja (*shop drawing*). Tulangan tiang bor terdiri dari tulangan longitudinal (tulangan utama) dan tulangan transversal (sengkang). Prinsip utama penulangan longitudinal adalah untuk menahan tegangan akibat lentur dan tarik. Apabila tegangan lentur dan tegangan tarik diabaikan, maka tidak diperlukan tulangan utama kecuali diperlukan dalam spesifikasi. Umumnya, penulangan tiang bor akan maksimum pada daerah atas dan akan berkurang seiring dengan bertambahnya panjang. Tulangan longitudinal yang digunakan adalah tulangan ulir.

Jarak antar tulangan longitudinal harus cukup sehingga tidak menimbulkan masalah aliran beton segar selama proses pengecoran berlangsung. Rekomendasi praktis jarak minimum antar tulangan adalah berkisar dari 3–5 kali ukuran terbesar agregat.

Tulangan transversal berfungsi untuk menahan gaya geser yang bekerja pada tiang bor. Tulangan transversal bisa dipasang dengan dua macam konfigurasi yakni *hoop* dan *spiral*. Rangkaian tulangan harus cukup kuat untuk menahan gaya akibat beton segar yang mengalir selama proses pengecoran dan tidak boleh

terjadi deformasi yang berlebihan pada tulangan. Pemasangan tulangan transversal harus cukup kuat sehingga mampu mengekang tulangan longitudinal dengan baik.

Kedalaman lubang bor umumnya cukup dalam dibandingkan dengan panjang tulangan besi yang tersedia sehingga tidak mungkin membuat satu rangkaian tulangan yang utuh untuk sepanjang kedalaman lubang bor. Sambungan diperlukan jika tiang bor cukup panjang. Sambungan pada tulangan longitudinal umumnya dilakukan dengan membuat *overlap* tulangan longitudinal yang akan disambung sehingga lekatan (*bond*) tulangan cukup kuat. Penyambungan tulangan dilakukan dengan mengelas bagian yang *overlap*.

Untuk membantu dalam proses pabrikasi besi tulangan tiang bor dan untuk memastikan bahwa diameternya tepat, maka tulangan transversal yang berbentuk spiral harus dipabrikasi dengan diameter yang benar. Spiral umumnya memberikan bantuan agar pemasangan tulangan menjadi mudah dan diameternya tepat.

4. Pengecoran beton

Seperti dikemukakan sebelumnya, untuk menghindari terganggunya stabilitas lubang bor sehingga terjadi keruntuhan dinding lubang dan sebagainya, maka pelaksanaan pengecoran beton pada tiang bor sebaiknya dilaksanakan segera setelah lubang dibor.

Apabila lubang bor dalam keadaan kering dan tidak terlalu dalam, pengecoran beton biasanya tidak memerlukan teknik tertentu. Lain halnya jika lubang penuh dengan air dan cukup dalam, maka pengecoran beton biasanya dilakukan dengan *tremie*. Pelaksanaan pengecoran dengan *tremie* memerlukan teknik khusus.

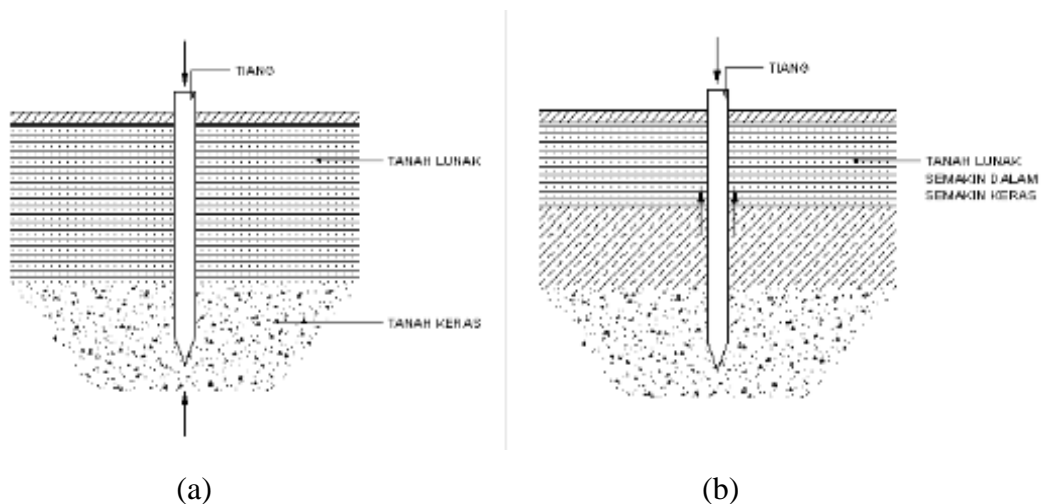
Hal penting pertama yang perlu diperhatikan adalah *workability* dari beton. *Workability* beton diperlukan agar beton dapat mendesak kotoran tanah yang berada didasar lubang ke atas serta dapat mendesak ke samping lubang. Biasanya diperlukan beton dengan slump >15cm. Hal kedua adalah agar beton tidak cepat mengering/mengeras. Hal ini perlu disesuaikan dengan perkiraan waktu yang dibutuhkan untuk penyelesaian pengecoran. Hal lain yang perlu diperhatikan adalah teknik menggerakkan *tremie* dan ketinggian mengangkat pada saat tahap pengecoran.

2.6. Kapasitas Daya Dukung

2.6.1. Tiang Dukung Ujung dan Tiang Gesek

Ditinjau dari cara mendukung beban, tiang dapat dibagi menjadi 2 (dua) macam (Hardiyatmo, 2002), yaitu :

- 1) Tiang dukung ujung (*end bearing pile*) adalah tiang yang kapasitas dukungnya ditentukan oleh tahanan ujung tiang. Umumnya tiang dukung ujung berada dalam zone tanah yang lunak yang berada diatas tanah keras. Tiang-tiang dipancang sampai mencapai batuan dasar atau lapisan keras lain yang dapat mendukung beban yang diperkirakan tidak mengakibatkan penurunan berlebihan. Kapasitas tiang sepenuhnya ditentukan dari tahanan dukung lapisan keras yang berada dibawah ujung tiang (Gambar 2.6a).
- 2) Tiang gesek (*friction pile*) adalah tiang yang kapasitas dukungnya lebih ditentukan oleh perlawanan gesek antara dinding tiang dan tanah disekitarnya (Gambar 2.6b). Tahanan gesek dan pengaruh konsolidasi lapisan tanah dibawahnya diperhitungkan pada hitungan kapasitas tiang.



Gambar 2.6: Tiang ditinjau dari cara mendukung bebannya, Gambar (a) Ujung, (b) Selimut (Hardiyatmo, 2002).

2.6.2. Kapasitas daya dukung Pondasi Bored pile

Perkiraan kapasitas daya dukung pondasi tiang pada tanah pasir dan lempung, (Vesic, 1977) mengusulkan persamaan untuk menghitung tahanan ujung tiang ditentukan dengan perumusan sebagai berikut :

1. Kekuatan ujung tiang

a. Kekuatan ujung tiang pada tanah non kohesif dapat ditentukan menggunakan Pers. 2.1.

$$Q_p = A_p \cdot \sigma_o \cdot N_\sigma \quad (2.1)$$

$$\sigma_o = \left(\frac{1+2.Ko}{3} \right) q' \quad (2.2)$$

$$Ko = 1 - \sin \phi \quad (2.3)$$

$$q' = \gamma \cdot L \quad (2.4)$$

dimana :

A_p = Luas penampang tiang

σ_o = Tegangan efektif

N_σ = Faktor Daya Dukung

q' = Tegangan

Ko = Koefisien tekanan tanah

γ = Berat jenis tanah

L = Kedalaman pondasi bored pile

ϕ = Sudut geser dalam

Pada tabel 2.1 Metode Vesic memberikan nilai (N_σ) yang berdasarkan nilai dari Irr dan ϕ , maka dapat ditentukan dengan Pers. 2.5.

$$Irr = \frac{Ir}{1+Ir \cdot \Delta} \quad (2.5)$$

$$Ir = \frac{ES}{2 (1+\mu S) q' \tan \phi} \quad (2.6)$$

$$\mu S = 0.1 + 0.3 \left(\frac{\phi - 25}{20} \right) \quad (2.7)$$

$$\Delta = 0.005 \left(1 - \frac{\phi - 25}{20} \right) \left(\frac{q'}{P_a} \right) \quad (2.8)$$

dimana :

I_{rr} = Indeks kekakuan berkurang

I_r = Indeks kekakuan

Δ = Regangan volumetrik rata-rata

q' = Tegangan

ϕ = Sudut geser dalam

P_a = Tekanan atmosfer 100 kN/m²

Tabel 2.1: Faktor daya dukung ($N\sigma$) berdasarkan teori perluasan rongga.

ϕ	Irr									
	10	20	40	60	80	100	200	300	400	500
25	12.12	15.95	20.98	24.64	27.61	30.16	39.70	46.61	52.24	57.06
26	13.18	17.74	23.15	27.30	30.69	33.60	44.53	52.51	59.02	64.62
27	14.33	19.12	25.52	30.21	34.06	37.37	49.88	59.05	66.56	73.04
28	15.57	20.91	28.10	33.40	37.75	41.51	55.77	66.29	74.93	82.40
29	16.90	22.85	30.90	36.87	41.79	46.05	62.27	74.30	84.21	92.80
30	18.24	24.95	33.95	40.66	46.21	51.02	69.43	83.14	94.48	104.33
31	19.88	27.22	37.27	44.79	51.03	56.46	77.31	92.90	105.84	117.11
32	21.55	29.68	40.88	49.30	56.30	62.41	85.96	103.66	118.39	131.24
33	23.34	32.34	44.80	54.20	62.05	68.92	95.46	115.51	132.24	146.87
34	25.28	35.21	49.05	59.54	68.33	76.02	105.90	128.55	147.51	164.12
35	27.36	38.32	53.67	65.36	75.17	83.78	117.33	142.89	164.33	183.16
36	29.60	41.68	58.68	71.69	82.62	92.24	129.87	158.65	182.85	204.14
37	32.02	45.31	64.13	78.57	90.75	101.48	143.61	175.95	203.23	227.26
38	34.63	49.24	70.03	86.05	99.60	111.56	158.65	194.94	225.62	252.71
39	37.44	53.50	76.45	94.20	109.24	122.54	175.11	215.78	250.23	280.71
40	40.47	58.10	83.40	103.05	119.74	134.52	193.13	238.62	277.26	311.50
41	43.73	63.07	90.96	112.68	131.18	147.59	212.84	263.67	306.94	345.34
42	47.27	68.46	99.16	123.16	143.64	161.83	234.40	291.13	339.52	382.53
43	51.08	74.30	108.08	134.56	157.21	177.36	257.99	321.22	375.28	423.39
44	55.20	80.62	117.76	146.97	172.00	194.31	283.80	354.20	414.51	468.28
45	59.66	87.48	128.28	160.48	188.12	212.79	312.03	390.35	457.57	517.58

Nilai sudut geser tanah dapat diperoleh berdasarkan nilai kepadatan relatif, dan nilai N dari pasir dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.2: Hubungan dari, ϕ dan N dari pasir (*Mekanika Tanah & Teknik Pondasi, Sosrodarsono Suyono Ir, 1983*).

Nilai N	Kepadatan Relative (Dr)		Sudut Geser Dalam	
			Menurut Peck	Menurut Meyerhof
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

- b. Kekuatan ujung tiang (*end bearing*) pada tanah kohesif dapat ditentukan menggunakan Pers. 2.9:

$$Q_p = A_p \cdot N_c \cdot C_U \quad (2.9)$$

dimana:

A_p = Luas Penampang Lingkaran

C_U = Kohesi undrained

N_c = Faktor daya dukung

Menurut perluasan teori rongga faktor daya dukung (N_c), (*Vesic, 1977*) mengemukakan Pers. 2.10:

$$N_c = \frac{3}{4} (\ln I_{rr} + 1) + \frac{\pi}{2} + 1 \quad (2.10)$$

Sebuah Variasi N_c dengan I_{rr} untuk $\phi = 0$, maka kondisi ini diberikan dalam Tabel 2.3.

Tabel 2.3: Nilai faktor daya dukung (N_c) menurut teori Vesic (Braja M.Das).

I_{rr}	N_c
10	6.97
20	7.90
40	8.82
60	9.36
80	9.75
100	10.1
200	10.9
300	11.5
400	11.9
500	12.2

Sedangkan untuk tanah liat jenuh tanpa perubahan volume, $\Delta = 0$ maka dapat menggunakan Pers. 2.11.

$$I_{rr} = I_r = 347 \left(\frac{C_u}{p_a} \right) - 33 \leq 300 \quad (2.11)$$

Perkiraan kapasitas daya dukung pondasi tiang pada tanah pasir dan lempung mengusulkan untuk menghitung tahanan selimut tiang ditentukan dengan perumusan sebagai berikut :

1. Kekuatan selimut tiang

a. Kekuatan selimut tiang (α Method) pada tanah kohesif dapat ditentukan menggunakan Pers. 2.12.

$$Q_s = \alpha \cdot C_u \quad (2.12)$$

dimana:

α = Faktor adhesi

C_u = Kohesi lapisan tanah yang tidak beratur (Tabel 2.4)

Faktor adhesi α di evaluasi dengan Pers. 2.13 dan 2.14.

$$\alpha = 0.55 \text{ untuk } c_u / p_a \leq 1.5 \quad (2.13)$$

$$\alpha = \left\{ 0.55 - 0.1 \cdot \left(\frac{c_u}{p_a} - 1.5 \right) \right\} \text{ untuk } 1.5 < c_u / p_a \leq 2.5 \quad (2.14)$$

p_a = Tekanan atmosfer 100 kN/m²

b. Kekuatan selimut tiang (β Method) pada tanah non kohesif dapat ditentukan menggunakan Pers. 2.15.

$$Q_s = f \cdot p \cdot L \quad (2.15)$$

$$f = \sigma \cdot \beta \quad (2.16)$$

dimana:

σ = Tegangan efektif

$$\beta = 1,5 - 0,244 \cdot \sqrt{z} \quad (2.17)$$

p = Keliling Tiang Pondasi

L = Kedalaman pondasi bored pile

Tabel 2.4: Parameter rencana tiang untuk tanah lempung (BMS, 1992).

Cohesive soil condition		“N” Value	Nominal average undrained shear strength, C_u (kPa)	Remolding coefficients F_e
Consistency				
Verry soft	Exudes beteen fingers	0-2	0-10	1.0
Soft	Easily moulded with fingers	2-4	10-25	1.0
Firm	Can be moulded with finger by strong pressure	4-8	25-45	1.0
			45-50	1.0-0.95
Stiff	Cannot be moulded with fingers	8-15	50-60	0.95-0.8
			60-80	0.8-0.65
			80-100	0.65-0.55
Verry stiff	Brittle or tough	15-30	100-120	0.55-0.45
			120-140	0.45-0.4
			140-160	0.4-0.36
			160-180	0.36-0.35
			180-200	0.35-0.34
Hard	hard	>30	>200	0.34

2.6.3. Persamaan Daya Dukung Kelompok Tiang

Penggunaan kelompok tiang pada pondasi tiang bor didasarkan pada beberapa alasan berikut ini:

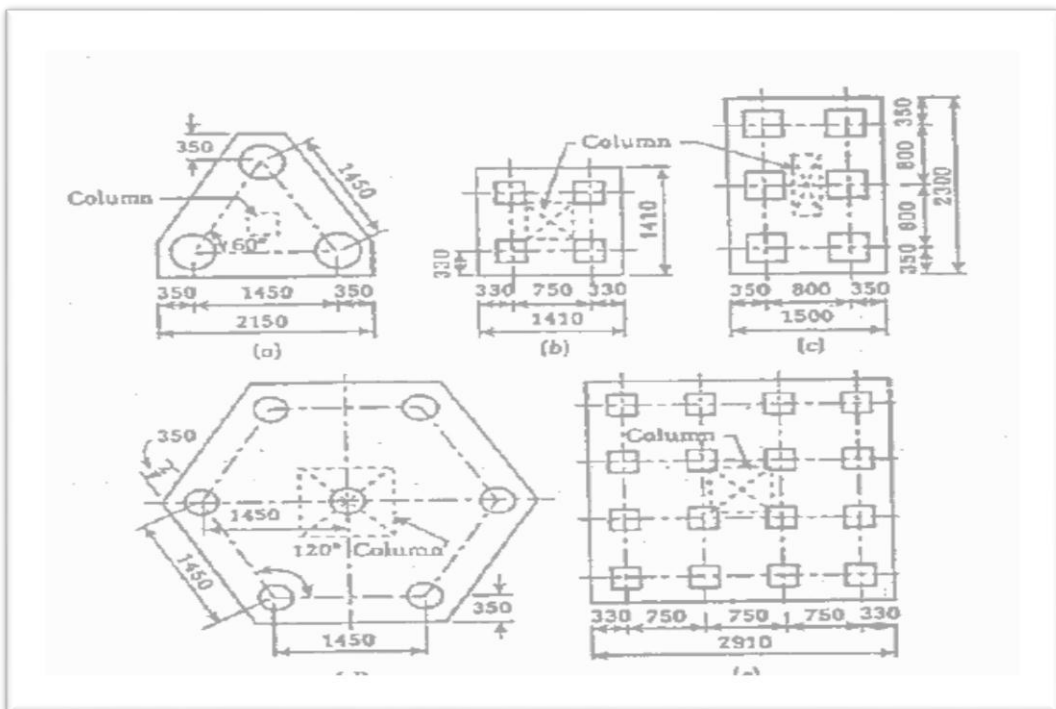
1. Apabila tiang tunggal tidak memiliki kemampuan kapasitas yang cukup untuk menahan beban kolom sehingga pada waktu instalasi yang dapat meleset dari posisinya sehingga dapat terjadi eksentrisitas terhadap pusat beban dari kolom dan ini akan menimbulkan momen tambahan, maka sebaiknya menggunakan kelompok tiang.
2. Apabila beban kolom yang besar dapat dipikul secara merata oleh beberapa tiang dalam kelompoknya, sehingga dapat mengurangi harga eksentrisitas yang terjadi, maka sebaiknya menggunakan kelompok tiang.
3. Apabila terjadi kegagalan dari 1 (satu) tiang yang dapat diminimalisir akibat adanya tiang-tiang lain dalam kelompoknya, maka sebaiknya menggunakan kelompok tiang.

Kapasitas dari kelompok tiang yang digunakan tidaklah selalu sama dengan jumlah kapasitas tiang tunggal yang berada dalam kelompoknya apabila tiang bor

pada tanah pendukung yang berbeda-beda. Jarak antar tiang bor didalam group tiang sangat mempengaruhi perhitungan kapasitas daya dukung dari group tiang bor. Untuk bekerja sebagai group tiang jarak antar tiang (Spacing) “S” ini, biasanya harus mengikuti peraturan bangunan yang berlaku, seperti:

1. Pada umumnya S bervariasi antara 2D (jarak minimum) sampau 6D (jarak maksimum).
2. Jarak tiang berdasarkan fungsi pilenya, apabila pile berfungsi sebagai friction pile maka jarak S minimal adalah 3D. Sedangkan jika sebagai End Bearing mininum jarak minimum S adalah 2,5D.
3. Jarak tiang berdasarkan jenis tanahnya, apabila pile terletak pada tanah liat keras jarak minimum S adalah 3,5D. Sedangkan apabila terletak ada daerah lapis padat jarak S minimum adalah 2D.

Pengaturan tiang disuatu poer (Kepala Tiang) dapa dilihat pada Gambar 2.7:



Gambar 2.7: Tipikal Pengaturan Kelompok Pondasi Tiang (Tomlinson, 2001).

Apabila pengaturan tiang pada suatu poer telah mengikuti persyaratan maka kapasitas daya dukung group tiang tidak sama dengan kapasitas daya dukung satu tiang dikalikan dengan banyaknya tiang pada group tersebut. Tetapi didefinisikan

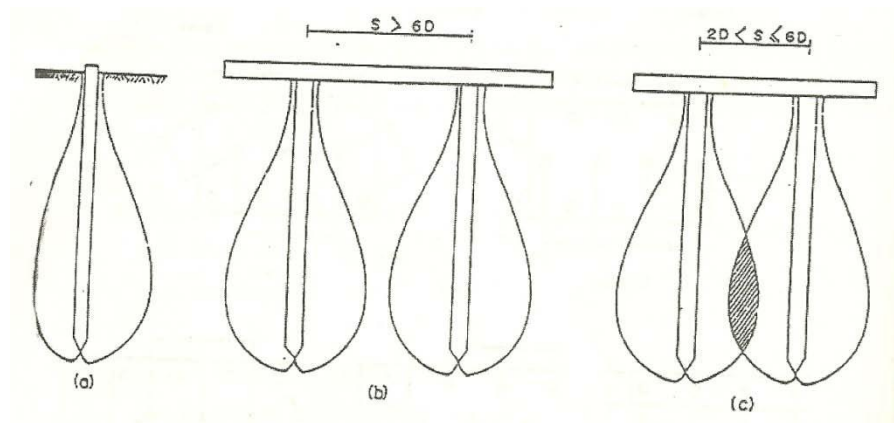
sebagai perkalian antara kapasitas daya dukung satu tiang dengan banyaknya tiang dikalikan lagi efisiensi group tiang, atau dapat dituliskan sebagai Pers. 2.18.

$$Q_{ug} = Q_u \text{ 1 tiang} \times n \times \eta_g \quad (2.18)$$

dimana :

- Q_{ug} = kapasitas daya dukung kelompok tiang
- $Q_u \text{ 1 tiang}$ = Kapasitas daya dukung ultimate 1 tiang
- n = Jumlah tiang dalam kelompok
- η_g = Efisiensi kelompok tiang

Pada persamaan daya dukung kelompok tiang mengandung suatu efisiensi grup tiang yang mana dapat diterangkan seperti Gambar 2.8.



Gambar 2.8: Skematik Mobilisasi Tekanan yang Digambarkan Dalam Bentuk Diagram Tegangan Berupa Gelembung (Gunadarma, 1997).

Berarti kapasitas daya dukung total tiang group = kapasitas daya dukung satu tiang dikalikan banyaknya tiang.

Namun pada gambar (c) terdapat potongan antara diagram tegangan antar tiang grup. Dalam hal ini berarti bahwa mobilisasi tekanan tidak dapat sepenuhnya (100%) karena ada satu daerah tegangan yang menjadi milik bersama sehingga perlu adanya yang disebut efisiensi grup tiang. Efisiensi grup tiang dapat ditentukan menggunakan Pers. 2.19.

$$\eta_g = 1 - \frac{\text{Arc Tan} \left(\frac{D}{s} \right)}{90} \left(2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n} \right) \quad (2.19)$$

dimana :

ηg = Efisiensi kelompok tiang $\theta = \text{Arc tan } (D/S)$ derajat

s = Jarak antar tiang

m = Jumlah tiang dalam deret baris

n = Jumlah tiang dalam deret kolom

2.7. Faktor Keamanan

Daya dukung ijin pondasi tiang untuk beban aksial, Q_a atau Q_{ult} , dengan suatu faktor keamanan (FK) baik secara keseluruhan maupun secara terpisah dengan menerapkan faktor keamanan pada daya dukung selimut tiang dan pada tahanan ujungnya. Karena itu daya dukung ijin tiang dapat dinyatakan dalam Pers. 2.20 dan 2.21.

$$Q_a = \frac{Q_u}{FK} \quad (2.20)$$

$$Q_a = \frac{Q_p}{FK \text{ ujung}} + \frac{Q_s}{FK \text{ selimut}} \quad (2.21)$$

Untuk menentukan faktor keamanan dapat digunakan klasifikasi struktur bangunan menurut *Pugsley (1966)* sebagai berikut:

1. Bangunan monumental, umumnya memiliki umur rencana melebihi 100 tahun, seperti Tugu Monas, Monumen Garuda Wisnu Kencana, jembatan-jembatan besar, dan lain-lain.
2. Bangunan permanen, umumnya adalah bangunan gedung, jembatan, jalan raya dan jalan kereta api, dan memiliki umur rencana 50 tahun.
3. Bangunan sementara, umur rencana bangunan kurang dari 25 tahun.

Faktor-faktor lain kemudian ditentukan berdasarkan tingkat pengendaliannya pada saat konstruksi.

1. Pengendalian baik: kondisi tanah cukup homogen dan konstruksi didasarkan pada program penyelidikan geoteknik yang tepat dan profesional, terdapat informasi uji pembebanan di dekat lokasi proyek dan pengawasan konstruksi dilaksanakan secara ketat (Tabel 2.5).

2. Pengendalian normal : Situasi yang paling umum, hampir serupa dengan kondisi diatas, tetapi kondisi tanah bervariasi dan tidak tersedia data pengujian tanah (Tabel 2.5).
3. Pengendalian kurang: Tidak ada uji pembebanan, kondisi tanah sulit dan bervariasi, tetapi pengujian geoteknik dilakukan dengan baik (Tabel 2.5).
4. Pengendalian buruk: Kondisi tanah amat buruk dan sukar ditentukan, penyelidikan geoteknik tidak memadai (Tabel 2.5).

Tabel 2.5: Faktor keamanan untuk pondasi tiang (*Reese & O'Neil, 1999,; Pugsley, 1996*).

Klasifikasi struktur bangunan	Bangunan monumental	Bangunan permanen	Bangunan sementara
FK (Pengendalian baik)	2.3	2.0	1.4
FK (Pengendalian normal)	3.0	2.5	2.0
FK (Pengendalian kurang)	3.5	2.8	2.4
FK (Pengendalian buruk)	4.0	3.4	2.8

2.8. Penurunan Tiang Elastis

Untuk tiang dengan penurunan segera/ Elastis (*Immediate/Elastic Settlement*) penurunan yang dihasilkan oleh distorsi massa tanah yang tertekan, dan terjadi pada volume konstan. Termasuk penurunan pada tanah-tanah berbutir kasar dan tanah-tanah berbutir halus yang tidak jenuh, karena penurunan terjadi segera setelah terjadi penerapan beban.

Persamaan penurunan segera atau penurunan elastis dari pondasi yang diasumsikan terletak pada tanah yang homogen, elastis dan isotropis pada media semi tak terhingga, dinyatakan dengan Pers. 2.22.

Penurunan tiang tunggal akibat beban yang bekerja vertikal

$$S = S_1 + S_2 + S_3 \quad (2.22)$$

dimana :

$$S = \text{Penurunan tiang total}$$

S_1 = Penurunan batang tiang

S_2 = Penurunan tiang akibat beban titik

S_3 = Penurunan tiang akibat beban yang tersalur sepanjang batang

Berikut ini adalah prosedur untuk menentukan ketiga faktor penurunan tiang diatas.

1. Menentukan S_1

Jika diasumsikan bahwa bahan tiang adalah elastik, maka deformasi batang tiang dapat dievaluasi dengan menggunakan prinsip-prinsip mekanika bahan:

$$S_1 = \frac{(QWP + \xi QWS)L}{Ap.Ep} \quad (2.23)$$

dimana :

Qwp = Beban yang dipikul ujung tiang di bawah kondisi beban kerja

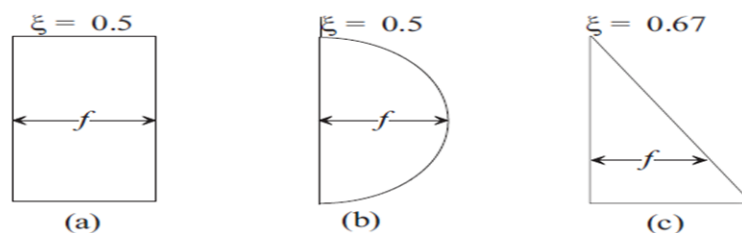
Qws = Beban yang dipikul kulit tiang di bawah kondisi beban kerja

Ap = Luas penampang tiang

L = Panjang tiang

Ep = Modulus Young bahan tiang

Besarnya ξ bergantung pada sifat distribusi tahanan kulit sepanjang batang tiang. Jika distribusi f adalah seragam atau parabola, seperti diperlihatkan pada Gambar 2.9 (a) dan (b), ξ adalah 0.5. Namun untuk distribusi f dalam bentuk segitiga Gambar 2.9 (c), nilai ξ sekitar 0.67 (Vesic, 1977).



Gambar 2.9: Jenis distribusi tahanan kulit sepanjang tiang (Vesic, 1977).

2. Menentukan S_2

Penurunan tiang yang ditimbulkan oleh beban pada ujung tiang dapat dinyatakan dalam bentuk yang sama seperti yang diberikan dalam pondasi dangkal:

$$S_2 = \frac{q_{wp} \cdot D}{E_s} (1 - \mu^2 s) I_{wp} \quad (2.24)$$

$$q_{wp} = Q_{wp} / A_p \quad (2.25)$$

dimana :

D = Lebar atau diameter tiang

q_{wp} = Beban titik per satuan luas ujung tiang

E_s = Modulus Young tanah

μ_s = Nisbah Poisson tanah

I_{wp} = Faktor pengaruh sebesar 0.85

Untuk tujuan praktis, I_{wp} dapat ditentukan sama dengan α_r sebagaimana digunakan pada penurunan elastik pondasi dangkal. Dalam keadaan tidak adanya hasil eksperimen, nilai modulus Young dan nisbah Poisson dapat diperoleh dari Tabel 2.6.

Tabel 2.6: Parameter Elastik Tanah (Braja M Das, 2006).

Jenis Tanah	Modulus Young, E_s		Nisbah Poisson, μ^2
	MN/m ²	Ib/in ²	
Pasir Lepas	10.35-24.15	1,500-3,500	0.20-0.40
Pasir Padat Medium	17.25-27.60	2,500-4,000	0.25-0.40
Pasir Padat	34.50-55.20	5,000-8,000	0.30-0.40
Pasir Kelanauan	10.35-17.25	1,500-2,500	0.20-0.4
Pasir dan Kerikil	69.00-172.50	10,000-25,000	0.15-0.40
Lempung Lunak	2.07-25.18	300-750	0.20-0.50
Lempung Medium	5.18-10.35	750-1,500	0.20-0.50
Lempung Kaku	10.35-24.15	1,500-3,500	0.20-0.50

Vesic (1977) juga mengajukan suatu metode semi empiris untuk menentukan besarnya penurunan S_2 Metode itu ditentukan dalam Pers. 2. 26.

$$S_2 = \frac{Q_{wp} C_p}{D q_p} \quad (2.26)$$

dimana :

q_p = tahanan ujung batas tiang

C_p = koefisien empiris

Nilai-nilai C_p untuk berbagai jenis tanah diberikan pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7: Nilai Tipikal C_p (Vesic, 1977).

Jenis Tanah	Tiang Pancang	Tiang Bor
Pasir (Padat ke Lepas)	0.02-0.04	0.09-0.18
Lempung (kaku ke lunak)	0.02-0.03	0.03-0.06
Lanau (Padat ke Lepas)	0.03-0.05	0.09-0.12

3. Menentukan S_3

Penurunan tiang yang ditimbulkan oleh pembebanan pada kulit tiang dapat diberikan dengan Pers. 2.27 sebagai berikut:

$$S_3 = \left(\frac{Q_{ws}}{pL} \right) \frac{D}{E_s} (1 - \mu^2 s) I_{ws} \quad (2.27)$$

dimana :

P = Keliling tiang

L = Panjang tiang yang tertanam

I_{ws} = Faktor pengaruh

Perlu dicatat bahwa suku Q_{ws}/pL pada persamaan di atas adalah nilai rata-rata f di sepanjang batang tiang. Faktor pengaruh I_{ws} dapat dinyatakan dengan sebuah hubungan empiris yang sederhana (Vesic, 1977) dalam Pers. 2.28.

$$I_{ws} = 2 + 0.35 \sqrt{\frac{L}{D}} \quad (2.28)$$

Vesic (1977) juga mengajukan sebuah hubungan empiris sederhana untuk menentukan S_3 ditentukan dengan Pers. 2.29.

$$S_3 = \frac{Q_{ws} \cdot C_s}{L \cdot q_p} \quad (2.29)$$

dimana:

C_s = konstanta empiris

$$C_s = 93 + \sqrt{L/D} \cdot C_p \quad (2.30)$$

Nilai C_p dapat diperoleh dari Tabel 2.7.

2.9. Penurunan Tiang Kelompok

Beberapa penyelidikan tentang penurunan tiang kelompok yang telah dilaporkan dalam literatur memiliki hasil yang sangat beragam. Hubungan yang paling sederhana untuk penurunan tiang kelompok diberikan oleh Vesic (1977) sebagai Pers. 2. 31.

$$sg = s \cdot \sqrt{\frac{Bg}{D}} \quad (2.31)$$

dimana :

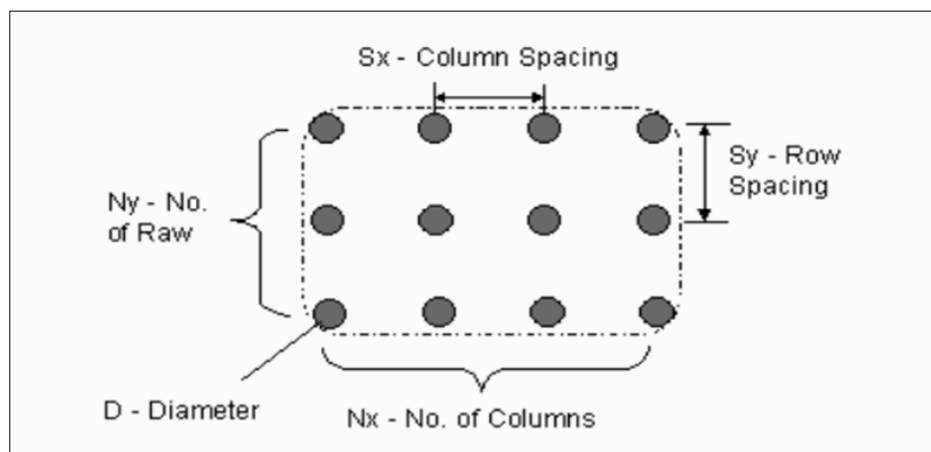
sg = Penurunan elastik tiang kelompok

s = Penurunan elastik tiang tunggal

D = Diameter satu tiang dalam kelompok

Bg = Lebar tiang kelompok, diambil dimensi terkecil antara Bx dan By

$Bg = (Bx = (n - 1)sx + D)$ atau $(By = (n - 1)sy + D)$ (2.32)



Gambar 2.10: Gambar dimensi kelompok tiang (Allpile, 2017).

2.10. Parameter Tanah

Parameter tanah adalah ukuran atau acuan untuk mengetahui atau menilai hasil suatu proses perubahan yang terjadi dalam tanah baik dari sifat fisik dan jenis tanah. Dengan mengenal dan mempelajari sifat-sifat tersebut, keputusan yang diambil dalam perancangan akan lebih ekonomis. Karena sifat-sifat tersebut maka penting dilakukan penyelidikan tanah (*soil investigation*).

Dari uji lapangan yang dilakukan kita bisa mendapatkan parameter-parameter tanah yang dapat digunakan untuk analisis maupun desain. Interpretasi data geoteknik mempunyai tingkat ketelitian yang berbeda-beda tergantung pada uji yang dilakukan, kompleksitas material alami yang terjadi, perubahan setempat dan asal-usul bahan.

1. Modulus Young (E)

Karena sulitnya pengambilan contoh asli di lapangan untuk tanah granuler maka beberapa pengujian lapangan telah dikerjakan untuk mengestimasi nilai modulus elastisitas tanah. Nilai perkiraan modulus elastisitas dapat diperoleh dari pengujian SPT (*Standart Penetration Test*). Modulus elastisitas tanah dapat ditentukan dengan pendekatan terhadap jenis dan konsistensi tanah dengan N-SPT, seperti pada Tabel 2.8 dan Tabel 2.9.

Tabel 2.8: Korelasi N-SPT dengan Modulus Elastisitas pada tanah lempung (Randolph,1978).

Subsurface condition	ϵ_{50} (%)	Poisson's Ratio (ν)	Shear strength S_u (psf)	Young's Modulus Range E_s (psi)	Shear Modulus Range G (psi)
Very soft	0,020	0,5	250	170-340	60-110
Soft	0,020	0,5	375	260-520	80-170
Medium	0,020	0,5	750	520-1040	170-340
Stiff	0,010	0,45	1500	1040-2080	340-690
Very stiff	0,005	0,40	3000	2080-4160	690-1390
Hard	0,004	0,35	4000	2890-5780	960-1930
	0,004	0,35	5000	3470-6940	1150-2310
	0,0035	0,30	7000	4860-9720	1620-3420
	0,0035	0,30	9000	6250-12500	2080-4160
	0,003	0,25	11000	7640-15270	2540-5090

Tabel 2.9: Korelasi N-SPT dengan modulus elastisitas pada tanah pasir (Schmertman, 1970).

Subsurface condition	Penet. Resistan cerange (N)	Friction Angle ϕ (deg)	Poisson Ratio (ν)	Cone penetration $q_c=4N$	Relatif Density $D_r(\%)$	Young's Modulus Range E_s (psi)	Shear Modulus Range G (psi)
Very loose	0-4	28	0,45	0-16	0-15	0-440	0-160
Losse	4-10	28-30	0,4	16-40	15-35	440-1100	160-390
Mediu m	10-30	30-36	0,35	40-120	35-65	1100-3300	390-1200
Dense	30-50	36-41	0,3	120-100	65-85	3300-5500	1200-1990
Very dense	50-100	41-45	0,2	200-400	85-100	5500-10000	1990-3900

2. Poisson's Ratio (ν)

Poisson's Ratio sering dianggap sebesar 0,2 – 0,4 dalam pekerjaan – pekerjaan mekanika tanah. Nilai sebesar 0,5 biasanya dipakai untuk tanah jenuh dan nilai 0 sering dipakai untuk tanah kering dan tanah lainnya untuk kemudahan dalam perhitungan, ini disebabkan nilai dari rasio poisson sukar diperoleh untuk tanah (Hardiyatmo, 1994). Dalam Tabel 2.10 ditunjukkan hubungan antara jenis tanah, konsistensi dengan poisson ratio.

Tabel 2.10: Hubungan Jenis Tanah dan poisson ratio (ν) (Hardiyatmo, 1994).

Soil Type	Description	(ν')
Clay	Soft	0.35-0.40
	Medium	0.30-0.35
	Stiff	0.20-0.30
Sand	Loose	0.15-0.25
	Medium	0.25-0.30
	Dense	0.25-0.35

3. Kohesi (c)

Kohesi merupakan gaya tarik menarik antar partikel tanah. Bersama dengan sudut geser tanah, kohesi merupakan parameter kuat geser tanah yang menentukan ketahanan tanah terhadap deformasi akibat tegangan yang bekerja pada tanah. Deformasi dapat terjadi akibat adanya kombinasi keadaan kritis dari tegangan

normal dan tegangan geser. Nilai dari kohesi didapat dari *engineering properties*, yaitu dengan *triaxial test* dan *direct shear test*.

4. Berat Isi Tanah Kering (γ_{dry})

Berat isi tanah kering adalah perbandingan antara berat tanah kering dengan satuan volume tanah. Berat isi tanah kering diperoleh dari pengujian dilaboratorium. Berat isi tanah kering dapat juga menggunakan korelasi dengan jenis tanah seperti Tabel 2.11.

Tabel 2.11: Hubungan jenis tanah dengan berat isi tanah kering (Soedarmo, 1993).

Jenis Tanah	Angka Pori e	Kadar air dalam keadaan jenuh (%)	Berat isi tanah kering γ_{dry}	
			lb/ft ³	kN/m ³
Pasir lepas seragam	0.80	30	92	14.50
Pasir padat seragam	0.45	16	116	18
Pasir kelanauan lepas berbutir tajam/bersudut	0.65	25	102	16
Lempung kaku	0.60	21	108	17
Lempung lunak	0.90-1.40	30-50	73-93	11.50-14.50
Loess	0.90	25	86	13.50
Lempung organik lunak	2.50-3.20	90-120	38-51	6-8
Tanah glasial	0.30	10	134	21

5. Berat Isi Tanah Jenuh (γ_{sat})

Berat isi tanah jenuh adalah perbandingan antara berat tanah jenuh air dengan satuan volume tanah seluruhnya. Di mana berat isi tanah kering juga diperoleh dari pengujian dilaboratorium, atau dengan Pers. 2. 33.

$$\gamma_{sat} = \gamma_{dry} + 9.8 \quad (2. 33)$$

6. Sudut Geser Dalam (ϕ)

Sudut geser dalam bersama dengan kohesi merupakan faktor dari kuat geser tanah yang menentukan ketahanan tanah terhadap deformasi akibat tegangan yang bekerja pada tanah. Deformasi dapat terjadi akibat adanya kombinasi keadaan kritis dari tegangan normal dan tegangan geser. Nilai dari sudut geser dalam

didapat dari *engineering properties* tanah, yaitu dengan *triaxial test* dan *direct shear test*.

7. Sudut Dilatasi (Ψ)

Sudut dilatasi, Ψ dinyatakan dalam derajat. Selain tanah lempung yang terkonsolidasi sangat berlebih, tanah lempung cenderung tidak menunjukkan dilatasi sama sekali yaitu $\Psi = 0$. Dilatasi dari tanah pasir tergantung pada kepadatan serta sudut gesernya (Bakker dkk,2002), yang dinyatakan dengan Pers. 2. 34.

$$\Psi = \phi - 30^\circ \quad (2.34)$$

8. Permeabilitas (k)

Permeabilitas adalah kecepatan masuknya air pada tanah dalam keadaan jenuh. Penetapan permeabilitas dalam tanah baik vertikal maupun horizontal sangat penting peranannya dalam pengelolaan tanah dan air. Nilai koefisien *permeabilitas* tanah dapat ditentukan berdasarkan jenis tanah tersebut seperti pada Tabel 2.12:

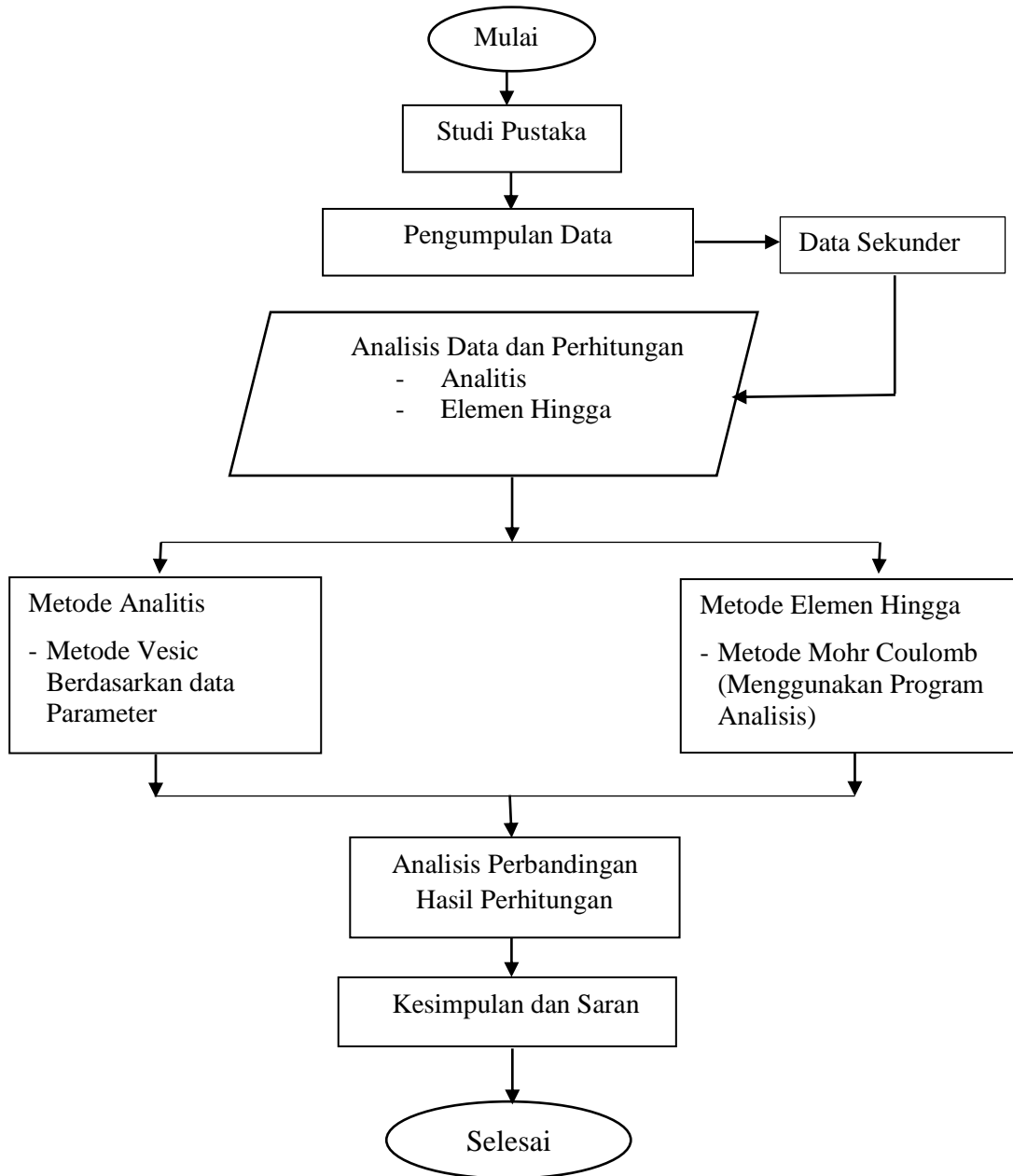
Tabel 2.12: Nilai koefisien Permeabilitas tanah (Braja,1995).

Jenis tanah	Permeabilitas (K)	
	cm/dtk	ft/mnt
Kerikil bersih	1.0-100	2.0-200
Pasir kasar	1.0-0.01	2.0-0.02
Pasir halus	0.01-0.001	0.02-0.002
Lanau	0.001-0.00001	0.002-0.00002
lempung	< 0.000001	< 0.000002

BAB 3
METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian

Tahapan perencanaan dapat disajikan secara sistematis dalam Gambar 3.1.

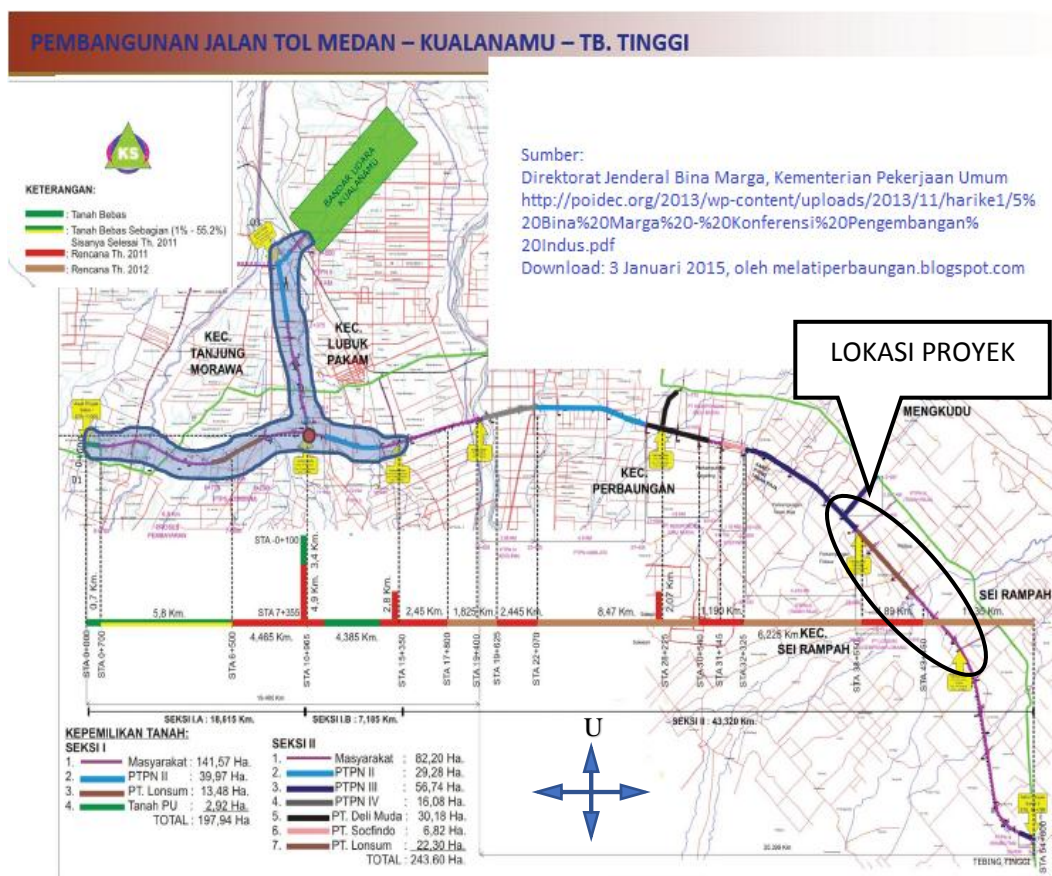


Gambar 3.1: Diagram Alir Penelitian.

3.2. Data Umum Proyek

Data umum dari proyek Pembangunan Jalan Tol Medan-Kualanamu-Tebing Tinggi (MKTT) Seksi 6, Sumatera Utara adalah sebagai berikut :

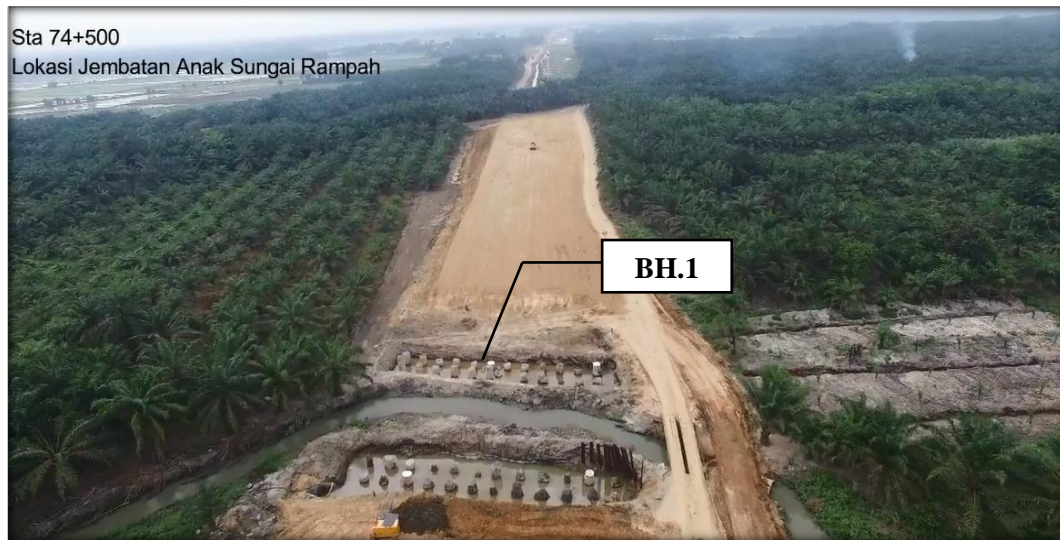
1. Nama Proyek : Pembangunan Jalan Tol MKTT Seksi 6
2. Lokasi Proyek : Teluk Mengkudu, Sei Rampah
3. Kontraktor Pelaksana : PT. Waskita Karya (persero)
4. Denah lokasi proyek dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2: Denah Lokasi Proyek Pembangunan Jalan Tol Medan Kualanamu Tebing Tinggi Seksi 6 (Kementerian Pekerjaan Umum).

3.3. Lokasi Titik Pengeboran

Dari data yang diperoleh dari pihak kontraktor, penulis memilih 3 titik pengeboran yaitu pada bagian jembatan anak sungai Sei Rampah dan jembatan sungai Sei Rampah seperti diperlihatkan pada Gambar 3.3 - 3.5.



Gambar 3.3: Lokasi titik pengeboran BH-1 (Dokumentasi PT. Waskita Karya Seksi 6).



Gambar 3.4: Lokasi titik pengeboran BH-2 (Dokumentasi PT. Waskita Karya Seksi 6).



Gambar 3.5: Lokasi titik pengeboran BH-3 (Dokumentasi PT. Waskita Karya Seksi 6).

3.4. Pengumpulan Data

Data yang digunakan pada tugas akhir ini, keseluruhannya merupakan data sekunder. Data sekunder dalam penelitian ini meliputi data hasil *loading test*, data tanah yang merupakan hasil dari pengujian *Standard Penetration Test* (SPT) dan data pengujian laboratorium.

3.5. Analisis Data Tanah

Data propertis material dalam penelitian ini adalah data Sekunder yang diperoleh dari pihak kontraktor yang menangani pekerjaan pembangunan Jalan Tol Medan Kualanamu Tebing Tinggi (seksi 6). Data lapangan yang dimaksud ialah data uji penetrasi standar (SPT) sedalam 30 m (Tabel 3.1 - 3.3), data laboratorium yang terletak dalam kawasan pembangunan.

Tabel 3.1: Data Hasil Pengeboran (BH1).

Depth	Soil type	Standart Penetration Test (SPT)			N Value	N Value Graph
		No of Blows				
		0-15	15-30	30-45		
0					0	
2	clay	10	12	16	28	
4	clay	8	9	13	22	
6	sand	11	13	15	28	
8	sand	9	11	13	24	
10	sand	8	10	11	21	
12	sand	8	13	14	27	
14	sand	15	17	20	37	
16	sand	20	28	31	59	
18	sand	26	34	38	60	
20	sand	-	-	-	60	
22	sand	-	-	-	60	
24	sand	-	-	-	60	
26	sand	-	-	-	60	
28	sand	-	-	-	60	
30	sand	-	-	-	60	

Tabel 3.2: Data Hasil Pengeboran (BH2).

Depth	Soil type	Standart Penetration Test (SPT)			N Value	N Value Graph
		No of Blows				
		0-15	15-30	30-45		
0					0	
2	clay	1	2	1	3	
4	clay	2	3	5	8	
6	sand	3	5	6	11	
8	sand	15	20	24	44	
10	sand	17	22	27	49	
12	sand	19	25	30	55	
14	sand	21	27	33	60	
16	sand	25	30	41	60	
18	sand	30	39	49	60	
20	sand	-	-	-	60	
22	sand	-	-	-	60	
24	sand	-	-	-	60	
26	sand	-	-	-	60	
28	sand	-	-	-	60	
30	sand	-	-	-	60	

Tabel 3.3: Data Hasil Pengeboran (BH3).

Depth	Soil type	Standart Penetration Test (SPT)			N Value	N Value Graph
		No of Blows				
		0-15	15-30	30-45		
0					0	
2	clay	1	2	1	3	
4	clay	2	3	3	6	
6	sand	4	5	7	12	
8	sand	5	7	11	18	
10	sand	16	20	24	44	
12	sand	18	22	31	53	
14	sand	23	29	38	60	
16	sand	-	-	-	60	
18	sand	-	-	-	60	
20	sand	-	-	-	60	
22	sand	-	-	-	60	
24	sand	-	-	-	60	
26	sand	-	-	-	60	
28	sand	-	-	-	60	
30	sand	-	-	-	60	

3.6. Analisis Parameter Tanah

Metode yang digunakan pada pemodelan ini adalah *Mohr Coulomb*. Pada model ini diasumsikan perilaku tanah bersifat plastis sempurna. Adapun parameter yang dibutuhkan dalam pemodelan ini yaitu, Modulus Young E (*stiffness modulus*), *Poisson's ratio* (ν), sudut geser dalam (ϕ), kohesi (c), sudut dilatasi (Ψ) berat isi tanah (γ).

Parameter tanah dari hasil uji SPT dan laboratorium ini di ambil dari penyelidikan tanah yang dilaksanakan oleh PT. Waskita Karya (persero). Karena keterbatasan data, maka sebagian parameter tanah pada lapisan tertentu ditentukan berdasarkan korelasikan nilai N-SPT dan juga jenis tanah pada lapisan.

1. Untuk koefisien rembesan (k_x, k_y) diambil dari nilai koefisien *permeabilitas* tanah pada berbagai jenis tanah tercantum pada Tabel 2.12.

2. Untuk modulus elastisitas (E) diambil dari nilai perkiraan modulus elastisitas tanah dapat dilihat pada Tabel 2.8 dan Tabel 2.9, yaitu dengan cara mengkorelasikan nilai SPT dan konsistensi tanah terhadap modulus elastisitas. Nilai modulus elastisitas di konversikan kedalam satuan kN/m^2 .
3. Untuk angka poisson (ν), diambil dari hubungan jenis tanah, konsistensi dan poisson ratio (ν) yaitu pada Tabel 2.10.
4. Untuk sudut geser dalam (ϕ) nilai diambil dari Tabel 2.9 dengan cara mengkorelasikan nilai N-SPT.
5. Berat isi tanah kering (γ_{dry}) diambil dari Tabel 2.11 yaitu korelasi antara jenis tanah dengan berat isi tanah kering.
6. Berat isi tanah jenuh (γ_{sat}) dihitung dengan Pers.2.33 yaitu menjumlahkan nilai berat isi kering (γ_{dry}) dengan 9.8.
7. Untuk nilai kohesi (c) diperoleh dari percobaan laboratorium yang dilakukan oleh pihak kontraktor atau bisa juga dengan nilai pendekatan (korelasi) dari Tabel 2.4.
8. Sudut Dilatasi diperoleh dengan menggunakan Pers.2.34.

Tabel 3.4: Parameter BH 1

No.	Parameter	simbol	Lapisan						satuan
			Lap 1	Lap 2	Lap 3	Lap 4	Lap 5	Lap 6	
1	Model material	-	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	-
2	Jenis perilaku	-	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	-
3	Berat isi tanah di atas garis freatik	γ_{dry}	12.50	14.50	18	18	18	18	kN/m ³
4	Berat isi tanah di bawah garis freatik	γ_{sat}	22.3	24.3	27.8	27.8	27.8	27.8	kN/m ³
5	Permeabilitas arah horizontal	K_x	1.150E-09	1.150E-07	1.150E-07	1.150E-07	1.150E-07	1.150E-07	m/hari
6	Permeabilitas arah vertical	K_y	1.150E-09	1.150E-07	1.150E-07	1.150E-07	1.150E-07	1.150E-07	m/hari
7	Modulus Young	E	11376	15926	44000	44000	44000	44000	kN/m ²
8	Angka Poisson	ν	0.20	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	-
9	Kohesi	c	1	1	1	1	1	1	kN/m ²
10	sudut geser dalam	ϕ	34	32	38	41	41	41	°
11	sudut dilatansi	ψ	4	2	8	11	11	11	°

Tabel 3.5: Parameter Tanah BH-2.

No.	Parameter	simbol	Lapisan						satuan
			Lap 1	Lap 2	Lap 3	Lap 4	Lap 5	Lap 6	
1	Model material	-	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	-
2	Jenis perilaku	-	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	-
3	Berat isi tanah di atas garis freatik	γ_{dry}	16	18	18	18	18	18	kN/m ³
4	Berat isi tanah di bawah garis freatik	γ_{sat}	25.8	27.8	27.8	27.8	27.8	27.8	kN/m ³
5	Permeabilitas arah horizontal	K_x	1.150E-09	1.150E-07	1.150E-07	1.150E-07	1.150E-09	1.150E-07	m/hari
6	Permeabilitas arah vertical	K_y	1.150E-09	1.150E-07	1.150E-07	1.150E-07	1.150E-07	1.150E-07	m/hari
7	Modulus Young	E	7584	37176	28061	44126	44126	44126	kN/m ²
8	Angka Poisson	ν	0.30	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	-
9	Kohesi	c	1	1	1	1	1	1	kN/m ²
10	sudut geser dalam	ϕ	30	40	41	41	41	41	°
11	sudut dilatansi	ψ	0	10	11	11	11	11	°

Tabel 3.6: Parameter Tanah BH-3.

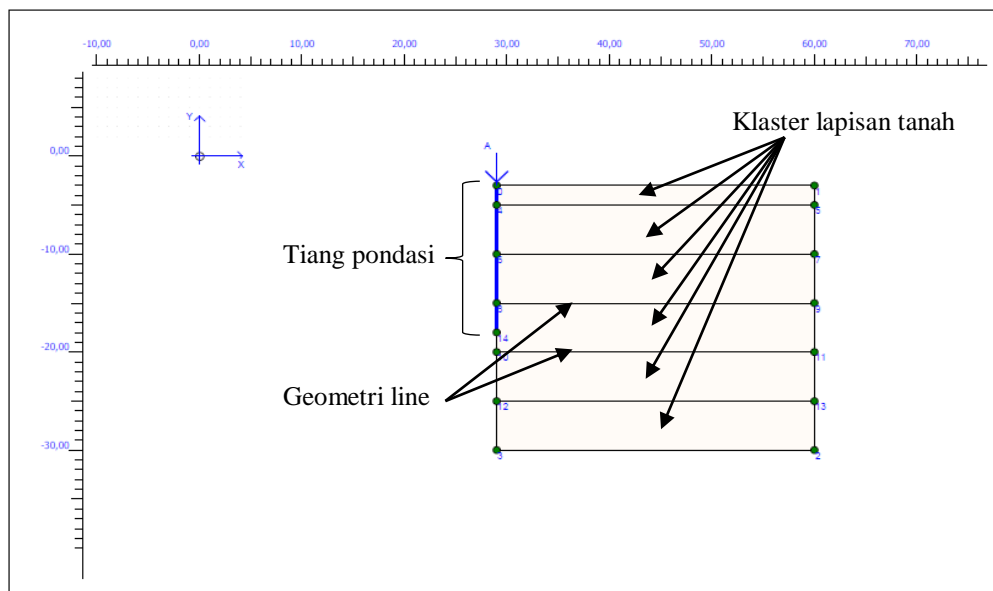
No.	Parameter	simbol	Lapisan						satuan
			Lap 1	Lap 2	Lap 3	Lap 4	Lap 5	Lap 6	
1	Model material	-	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	-
2	Jenis perilaku	-	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	-
3	Berat isi tanah di atas garis freatik	γ_{dry}	11.5	14.5	18	18	18	18	kN/m ³
4	Berat isi tanah di bawah garis freatik	γ_{sat}	21.3	24.3	27.8	27.8	27.8	27.8	kN/m ³
5	Permeabilitas arah horizontal	K_x	1.150E-09	1.150E-07	1.150E-07	1.150E-07	1.150E-07	1.150E-07	m/hari
6	Permeabilitas arah vertical	K_y	1.150E-09	1.150E-07	1.150E-07	1.150E-07	1.150E-07	1.150E-07	m/hari
7	Modulus Young	E	6825	33370	44126	44126	44126	44126	kN/m ²
8	Angka Poisson	ν	0.30	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	-
9	Kohesi	c	1	1	1	1	1	1	kN/m ²
10	sudut geser dalam	ϕ	30	39	41	41	41	41	°
11	sudut dilatansi	ψ	0	9	11	11	11	11	°

3.7. Menghitung Daya Dukung dan Penurunan Dengan Metode Elemen Hingga

Perhitungan daya dukung dan penurunan dengan metode elemen hingga menggunakan bantuan program analisis, yang menggunakan data parameter tanah.

3.7.1. Pemodelan Geometri

Pembuatan sebuah model elemen hingga dimulai dengan pembuatan geometrik dari model, yang merupakan gambaran dari masalah yang ingin dianalisis. Pada penelitian ini dimodelkan klaster dengan tinggi kontur geometrik adalah $2L$ dimana L merupakan kedalaman tiang sebesar 15 m, sedangkan untuk lebar kontur geometrik menggunakan *aximetry* 30 m (Gambar 3.6). Setelah pemodelan klaser lapisan tanah, selanjutnya yaitu pemodelan struktur tiang pondasi.

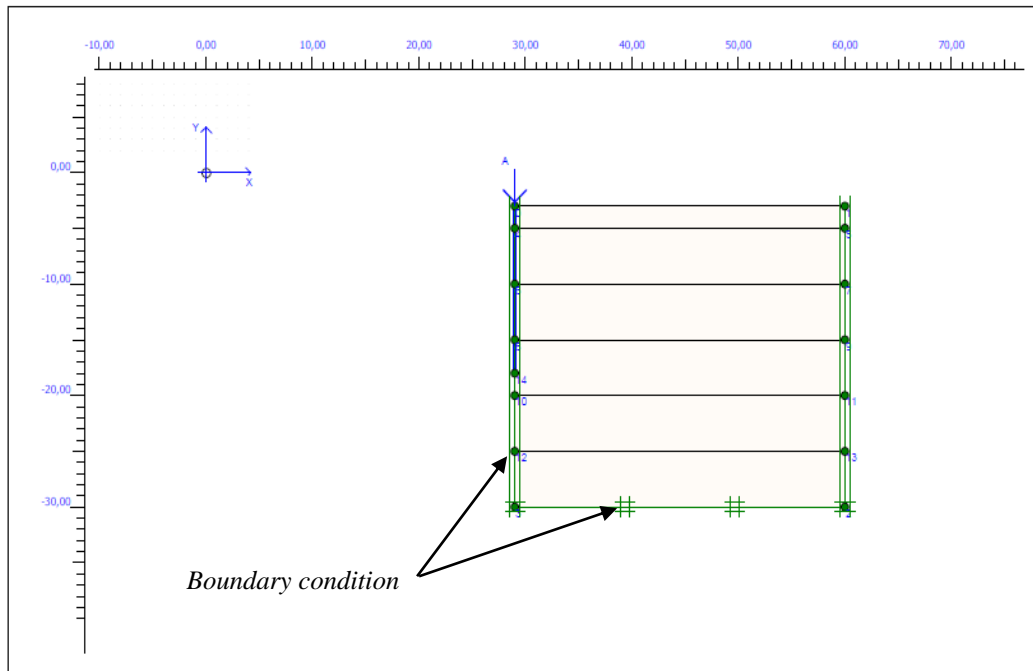


Gambar 3.6: Pemodelan geometri pada program analisis.

3.7.2. Kondisi Batas (*Boundary Conditon*)

Dengan mengklik tombol standar fixities pada toolbar, plaxis kemudian akan membentuk jepit penuh pada dasar geometri dan kondisi rol pada sisi vertikal ($u_x = 0$; $u_y = \text{bebas}$). Jepit pada arah tertentu akan ditampilkan pada layar berupa dua

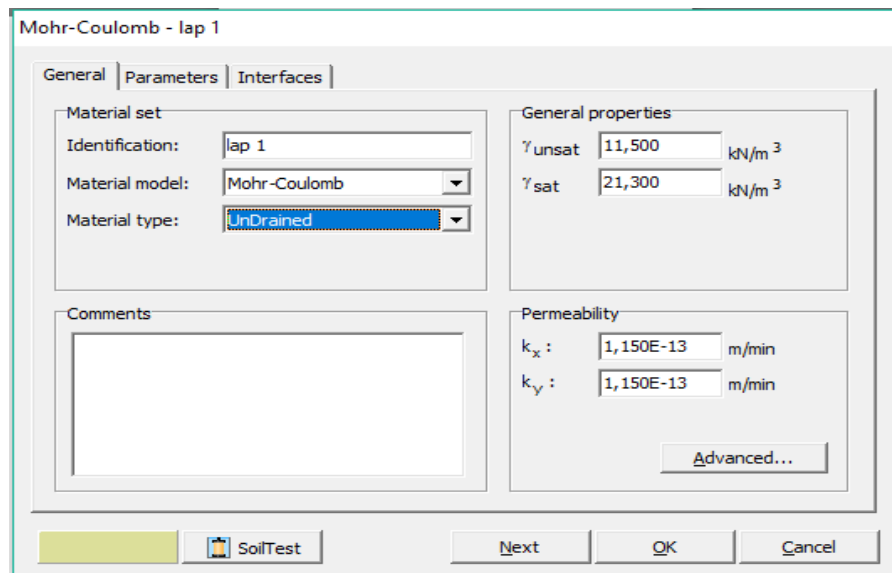
garis paralel yang tegak lurus terhadap arah yang dijepit. Karena itu rol akan berupa dua garis vertikal sejajar dan jepit penuh akan berupa dua pasang garis vertikal sejajar yang bersilangan (Bakker dkk., 2007) (Gambar 3.7).



Gambar 3.7: Penetapan kondisi batas pada geometri.

3.7.3. Input Parameter Tanah

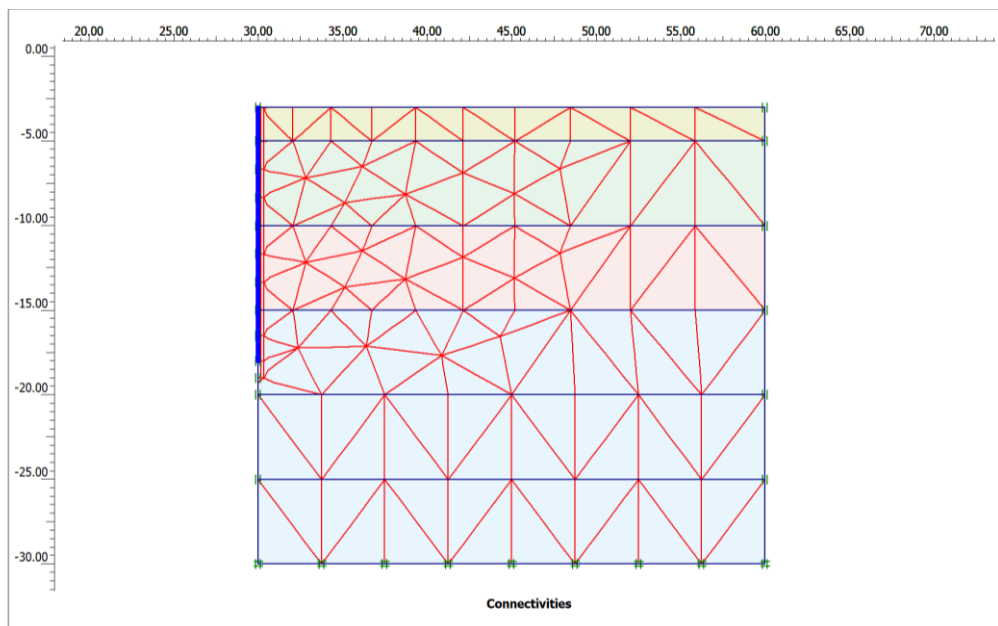
Parameter material *Mohr-Coulomb* yang merupakan pemodelan dengan kondisi elastis-plastis terdiri dari beberapa parameter (Gambar 3.8) yakni *Modulus Young* (E) dan *Poisson Rasio* (ν), kohesif (c), sudut gesek dalam (ϕ), sudut dilatasi (ψ), berat jenis kering (γ_{dry}), berat jenis jenuh (γ_{sat}), dan juga permeabilitas (K).



Gambar 3.8: Input parameter tanah dan pemodelan Mohr-coulomb.

3.7.4. Penyusunan Jaring Elemen (*Meshing*)

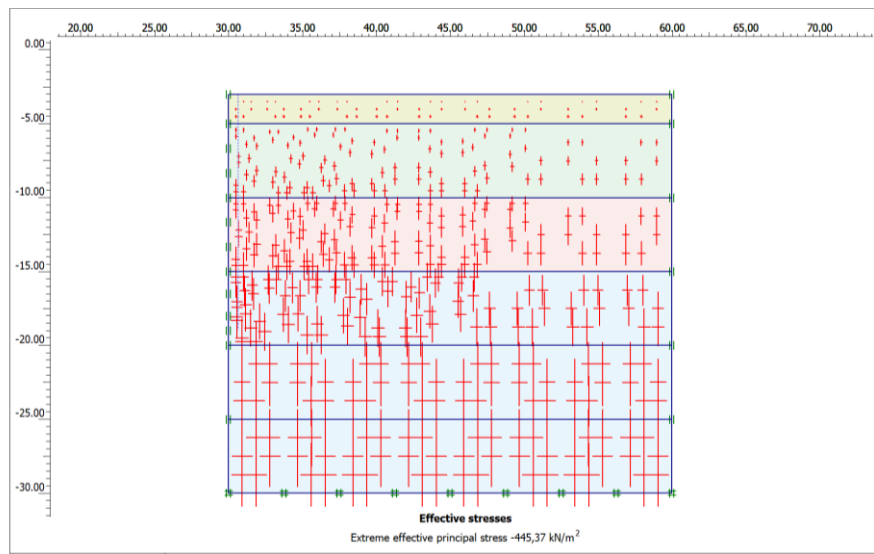
Geometri disusun menjadi jaring elemen yang lebih kecil untuk melakukan hitungan. Hasil dari proses *meshing* dapat dilihat pada Gambar 3.9 sebagai berikut:



Gambar 3.9: Penyusunan jaring Mesh.

3.7.5. Kondisi Awal (*Initial Condition*)

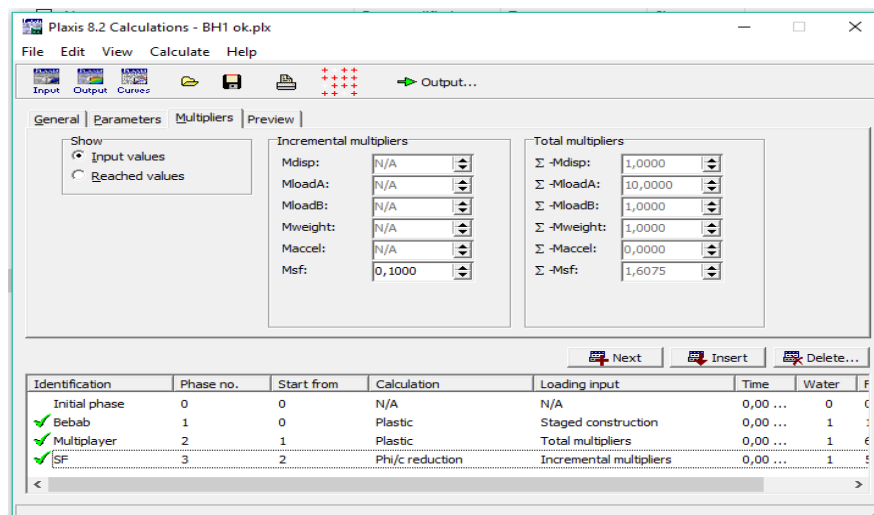
Kondisi awal didefinisikan untuk menghitung tekanan air pori awal (*initial condition*) dan tegangan awal (*initial soil stress*) seperti Gambar 3.10.



Gambar 3.10: Hasil perhitungan *initial soil stresses*.

3.7.6. Kalkulasi

Selanjutnya adalah proses kalkulasi dengan mengklik tombol *calculate* untuk masuk ke dalam program *calculation* seperti pada Gambar 3.11.



Gambar 3.11: Tahapan perhitungan.

Adapun gambaran umum mengenai tahapan perhitungan beban aksial pada model geometri adalah sebagai berikut:

- a. Tahapan awal yaitu mengaktifkan plate (tiang pondasi) pada model geometri.
- b. Setelah tiang aktif kemudian tahapan pengaktifan beban struktur atas.
- c. Tahap selanjutnya yaitu tahap Total *Multipliers* (pengalihan jumlah beban).
- d. Tahap akhir ialah tahap SF dengan memilih *Phi/c reduction*, dimana pada tahapan ini dilakukan perhitungan faktor keamanan.
- e. Kemudian mengaktifkan titik beban pada ujung tiang bagian atas lalu klik *update*.
- f. Kemudian klik *calculate* untuk memulai proses kalkulasi.

BAB 4

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. Perhitungan Daya Dukung Menggunakan Data Parameter

Menghitung kapasitas daya dukung tiang bor dengan menggunakan data parameter dilakukan per lapisan tanah serta perhitungannya menggunakan metode VESIC. Adapun data parameter yang digunakan diambil dari BH-1, BH-2 dan BH-3. Jenis tanah pada setiap lapisan bisa berbeda jenisnya. Untuk itu, perhitungan ini menggunakan dua jenis rumus yakni untuk jenis tanah non-kohefif (pasir) dan jenis tanah kohefif (lempung).

4.1.1. Perhitungan Pada Titik BH-1

Diameter (D) = 100 cm = 1 m

Luas selimut tiang pondasi (p)

$$\begin{aligned} p &= \pi \cdot d \\ &= 1,0 \times 3,14 \\ &= 3,14 \text{ m} \end{aligned}$$

Luas penampang tiang pondasi (A_p)

$$\begin{aligned} A_p &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 1^2 \\ &= 0,785 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Faktor keamanan (SF)

Ujung = 3

Geser = 3

Daya dukung ujung tiang dan geser selimut tiang pada tanah kohefif.

- Kedalaman 2 m

Daya dukung ujung tiang

$$A_p = 0,785 \text{ m}^2$$

$$C_U = 186,98$$

$$\begin{aligned}
 I_{rr} &= 347 \left(\frac{C_u}{P_a} \right) - 33 \leq 300 \\
 &= 347 \left(\frac{186,98}{100} \right) - 33 = 615,82 \text{ (maka di pakai nilai 300)} \\
 &= 300
 \end{aligned}$$

Dari tabel 2.11, untuk $I_{rr} = 300$ maka nilai $N_c = 11,5$. Maka:

$$\begin{aligned}
 Q_p &= A_p \cdot N_c \cdot C_u \\
 &= 0,785 \times 11,5 \times 186,98 \\
 &= 1689,28 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Daya dukung geser selimut tiang

$$\begin{aligned}
 \alpha &= 0,55 \\
 C_u &= 186,98 \\
 Q_s &= \alpha \cdot C_u \\
 &= 0,55 \times 186,98 \\
 &= 646,15 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Daya dukung Ultimate

$$\begin{aligned}
 Q_{ult} &= Q_p + Q_s \text{ (komulatif)} \\
 &= 1689,42 + 646,15 \\
 &= 2335,57 \text{ kN} = 233,5 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Daya dukung ijin

$$\begin{aligned}
 Q_{all} &= \frac{Q_p}{SF} + \frac{Q_s}{SF} \\
 &= \frac{1689,42}{3} + \frac{646,15}{3} \\
 &= 778,52 \text{ kN} = 77,85 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Daya dukung ujung tiang dan geser selimut tiang pada non tanah kohesif.

- Kedalaman 6 m

Daya dukung ujung tiang

$$A_p = 0,785 \text{ m}^2$$

$$q' = 66$$

$$K_o = 1 - \sin \phi$$

$$= 1 - \sin 34^\circ = 0,44$$

$$\begin{aligned}\sigma_0 &= \left(\frac{1 + 2 \cdot K_0}{3}\right) \cdot q' \\ &= \left(\frac{1 + 2 \cdot 0,44}{3}\right) \cdot 66 = 41,4\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu_s &= 0,1 + 0,3 \left(\frac{\phi - 25}{20}\right) \\ &= 0,1 + 0,3 \left(\frac{34 - 25}{20}\right) \\ &= 0,24\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta &= 0,005 \left(1 - \frac{\phi - 25}{2}\right) \left(\frac{q'}{20}\right) \\ &= 0,005 \left(1 - \frac{34 - 25}{2}\right) \left(\frac{66}{20}\right) \\ &= 0,00182\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}I_r &= \frac{E_s}{2(1 + \mu_s)q' \tan \phi} \\ &= \frac{49000}{2 \times (1 + 0,24) \times 66 \times \tan 34} \\ &= 443,82\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}I_{rr} &= \frac{I_r}{1 + I_r \cdot \Delta} \\ &= \frac{443,82}{1 + 443,82 \times 0,00182} \\ &= 245,51\end{aligned}$$

Dari tabel 2.11, untuk $I_{rr} = 245$ maka, dengan nilai $\phi = 34$ maka nilai $N_\sigma = 118,94$

Maka:

$$\begin{aligned}Q_p &= A_p \cdot \sigma_0 \cdot N_\sigma \\ &= 0,785 \times 41,4 \times 118,94 \\ &= 3865,43 \text{ kN}\end{aligned}$$

Daya dukung geser selimut tiang

$$p = 3,14 \text{ m}$$

$$\beta = 1,5 - 0,244 \cdot \sqrt{6} = 0,90$$

$$\sigma_0 = 41,4$$

$$f = \beta \cdot \sigma_0 = 0,90 \times 41,4 = 37,36$$

$$\begin{aligned} Q_s &= \sum f \cdot p \cdot \Delta L \\ &= 37,36 \times 3,14 \times 2 \\ &= 234,72 \text{ kN} \end{aligned}$$

Daya dukung Ultimate

$$\begin{aligned} Q_{ult} &= Q_p + Q_s \text{ (komulatif)} \\ &= 3865,43 + 1386,73 \\ &= 5252,16 \text{ kN} = 525,21 \text{ ton} \end{aligned}$$

Daya dukung ijin

$$\begin{aligned} Q_{all} &= \frac{Q_p}{SF} + \frac{Q_s}{SF} \\ &= \frac{3865,43}{3} + \frac{1386,73}{3} \\ &= 1750,72 \text{ kN} = 175,07 \text{ ton} \end{aligned}$$

Untuk perhitungan daya dukung lengkapnya dapat dilihat pada tabel 4.1

Tabel 4.1: Hasil perhitungan daya dukung berdasarkan data Parameter BH-1.

Depth (m)	N rata-rata	Cu	a	N σ	Nc	Skin Friction (kN)		End Bearing (kN)	Qult (ton)	Q all (ton)
						Local	Cumm			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	28,0	186,9	0,55	-	11,5	646,1	646,1	1689,4	233,6	77,85
4	22,0	146,3	0,55	-	11,5	505,8	1152,9	1322,6	247,5	82,49
6	28,0	-	-	118	-	234,1	1386,7	3865,4	525,23	175,1
8	24,0	-	-	94,5	-	285,1	1671,8	4159,1	583,1	194,4
10	21,0	-	-	76,0	-	325,5	1997,3	4248,7	624,6	208,2
12	27,0	-	-	93,4	-	340,6	2338,0	6071,5	840,9	280,3
14	37,0	-	-	129	-	343,4	2681,4	9433,9	1211,6	403,8
16	59,0	-	-	191	-	340,8	3022,3	15594,1	1861,4	620,4
18	60,0	-	-	182	-	345,0	3367,4	16935,3	2030,3	676,7
20	60,0	-	-	173	-	341,0	3708,5	18086,7	2179,5	726,5
22	60,0	-	-	165	-	329,3	4037,8	19140,8	2317,9	772,6
24	60,0	-	-	158	-	310,1	4348,0	20104,1	2445,2	815,1
26	60,0	-	-	151	-	284,0	4632,0	20988,5	2562,1	854,1
28	60,0	-	-	145	-	300,5	4932,5	21789,4	2673,1	891,0
30	60,0	-	-	139	-	323,4	5256,0	22540,7	2779,7	926,5

Adapun penjelasan mengenai tabel 4.1 pada titik BH.1 dengan kedalaman 18 meter dengan panjang bersih tiang 15 meter untuk jenis tanah pasir memiliki nilai NSPT 60 menghasilkan daya dukung ultimate sebesar 2030,3 ton dan daya dukung izinnnya sebesar 676,7 ton.

4.1.2. Perhitungan Pada Titik BH-2

Diameter (D) = 100 cm = 1 m

Luas selimut tiang pondasi (p)

$$\begin{aligned} p &= \pi \cdot d \\ &= 1,0 \times 3,14 \\ &= 3,14 \text{ m} \end{aligned}$$

Luas penampang tiang pondasi (Ap)

$$\begin{aligned} A_p &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 1^2 \\ &= 0,785 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Faktor keamanan (SF)

Ujung = 3

Geser = 3

Daya dukung ujung tiang dan geser selimut tiang pada tanah kohesif.

- Kedalaman 2 m

Daya dukung ujung tiang

$$A_p = 0,785 \text{ m}^2$$

$$C_u = 17,83$$

$$\begin{aligned} I_{rr} &= 347 \left(\frac{C_u}{P_a} \right) - 33 \leq 300 \\ &= 347 \left(\frac{17,83}{100} \right) - 33 = 28,87 \end{aligned}$$

Dari tabel 2.11, untuk $I_{rr} = 28,87$ maka nilai $N_c = 8,39$. Maka:

$$\begin{aligned} Q_p &= A_p \cdot N_c \cdot C_u \\ &= 0,785 \times 8,39 \times 17,83 \\ &= 117,4 \text{ kN} \end{aligned}$$

Daya dukung geser selimut tiang

$$\alpha = 0,55$$

$$C_u = 17,83$$

$$Q_s = \alpha \cdot C_u$$

$$= 0,55 \times 17,83$$

$$= 61,61 \text{ kN}$$

Daya dukung Ultimate

$$Q_{ult} = Q_p + Q_s \text{ (komulatif)}$$

$$= 117,4 + 61,61$$

$$= 179,03 \text{ kN} = 17,9 \text{ ton}$$

Daya dukung ijin

$$Q_{all} = \frac{Q_p}{SF} + \frac{Q_s}{SF}$$

$$= \frac{117,4}{3} + \frac{61,61}{3}$$

$$= 59,68 \text{ kN} = 5,96 \text{ ton}$$

Daya dukung ujung tiang dan geser selimut tiang pada non tanah kohesif.

- Kedalaman 6 m

Daya dukung ujung tiang

$$A_p = 0,785 \text{ m}^2$$

$$q' = 58$$

$$K_o = 1 - \sin \phi$$

$$= 1 - \sin 30^\circ = 0,50$$

$$\sigma_o = \left(\frac{1 + 2 \cdot K_o}{3} \right) \cdot q'$$

$$= \left(\frac{1 + 2 \cdot 0,50}{3} \right) \cdot 58 = 38,7$$

$$\mu_s = 0,1 + 0,3 \left(\frac{\phi - 25}{20} \right)$$

$$= 0,1 + 0,3 \left(\frac{30 - 25}{20} \right)$$

$$= 0,18$$

$$\begin{aligned}\Delta &= 0,005 \left(1 - \frac{\phi - 25}{20}\right) \left(\frac{q'}{100}\right) \\ &= 0,005 \left(1 - \frac{30 - 25}{20}\right) \left(\frac{58}{100}\right) \\ &= 0,00218\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}I_r &= \frac{Es}{2(1 + \mu s)q'\tan\phi} \\ &= \frac{19250}{2 \times (1 + 0,18) \times 58 \times \tan 30} \\ &= 243,5\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}I_{rr} &= \frac{I_r}{1 + I_r \cdot \Delta} \\ &= \frac{443,82}{1 + 243,5 \times 0,00218} \\ &= 159,1\end{aligned}$$

Dari tabel 2.11, untuk $I_{rr} = 159$ maka, dengan nilai $\phi = 34$ maka nilai $N_\sigma = 66,7$

Maka:

$$\begin{aligned}Q_p &= A_p \cdot \sigma_0 \cdot N_\sigma \\ &= 0,785 \times 38,67 \times 66,7 \\ &= 2024,7 \text{ kN}\end{aligned}$$

Daya dukung geser selimut tiang

$$\begin{aligned}p &= 3,14 \text{ m} \\ \beta &= 1,5 - 0,244 \cdot \sqrt{6} = 0,90 \\ \sigma_0 &= 38,67 \\ f &= \beta \cdot \sigma_0 = 0,90 \times 38,67 = 34,89\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Q_s &= \sum f \cdot p \cdot \Delta L \\ &= 34,89 \times 3,14 \times 6 \\ &= 219,24 \text{ kN}\end{aligned}$$

Daya dukung Ultimate

$$\begin{aligned}Q_{ult} &= Q_p + Q_s \text{ (komulatif)} \\ &= 2024,7 + 459,37 \\ &= 2484,1 \text{ kN} = 248,41 \text{ ton}\end{aligned}$$

Daya dukung ijin

$$\begin{aligned}
 Q_{all} &= \frac{Q_p}{SF} + \frac{Q_s}{SF} \\
 &= \frac{2024,7}{3} + \frac{219,2}{3} \\
 &= 828,04 \text{ kN} = 82,80 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan daya dukung lengkapnya dapat dilihat pada tabel 4.2

Tabel 4.2: Hasil perhitungan daya dukung berdasarkan data Parameter BH-2.

Depth (m)	N rata-rata	Cu	a	N σ	Nc	Skin Friction (kN)		End Bearing (kN)	Qult (ton)	Q all (ton)
						Local	Cumm			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	3,0	17,83	0,55	-	8,39	61,6	61,6	117,4	17,9	59,7
4	8,0	51,66	0,55	-	10,5	178,5	240,1	427,8	66,7	22,2
6	11,0	-	-	66,7	-	219,2	459,3	2024,7	248,4	82,8
8	44,0	-	-	190,7	-	248,2	707,5	7305,7	801,3	267,1
10	49,0	-	-	198,3	-	287,6	995,2	9787,0	1078,2	559,4
12	55,0	-	-	211,0	-	314,8	1310,0	12678,5	1398,8	466,2
14	60,0	-	-	202,7	-	336,2	1646,2	14506,6	1615,2	538,4
16	60,0	-	-	191,1	-	348,2	1994,5	15875,0	1786,9	595,6
18	60,0	-	-	181,1	-	351,6	2346,1	17118,8	1946,5	648,8
20	60,0	-	-	172,2	-	346,8	2693,0	18254,3	2094,7	698,2
22	60,0	-	-	164,2	-	334,3	3027,3	19294,3	2232,1	744,0
24	60,0	-	-	156,9	-	314,5	3341,8	20246,5	2358,8	786,2
26	60,0	-	-	150,3	-	287,6	3629,5	21118,1	2474,7	824,9
28	60,0	-	-	144,2	-	304,0	3933,5	21918,0	2585,1	861,7
30	60,0	-	-	138,5	-	327,0	4260,5	22649,6	2691,0	897,0

Adapun penjelasan mengenai tabel 4.2 pada titik BH.2 dengan kedalaman 18 meter dengan panjang bersih tiang 15 meter untuk jenis tanah pasir memiliki nilai NSPT 60 menghasilkan daya dukung ultimate sebesar 1946,5 ton dan daya dukung ijinnya sebesar 648,8 ton.

4.1.3. Perhitungan Pada Titik BH-3

Diameter (D) = 100 cm = 1 m

Luas selimut tiang pondasi (p)

$$p = \pi \cdot d$$

$$= 1,0 \times 3,14$$

$$= 3,14 \text{ m}$$

Luas penampang tiang pondasi (A_p)

$$A_p = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2$$

$$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 1^2$$

$$= 0,785 \text{ m}^2$$

Faktor keamanan (SF)

$$\text{Ujung} = 3$$

$$\text{Geser} = 3$$

Daya dukung ujung tiang dan geser selimut tiang pada tanah kohesif

- Kedalaman 2 m

Daya dukung ujung tiang

$$A_p = 0,785 \text{ m}^2$$

$$C_u = 17,83$$

$$I_{rr} = 347 \left(\frac{C_u}{P_a} \right) - 33 \leq 300$$

$$= 347 \left(\frac{17,83}{100} \right) - 33 = 28,87$$

Dari tabel 2.11, untuk $I_{rr} = 28,87$ maka nilai $N_c = 8,39$. Maka:

$$Q_p = A_p \cdot N_c \cdot C_u$$

$$= 0,785 \times 8,39 \times 17,83$$

$$= 117,4 \text{ kN}$$

Daya dukung geser selimut tiang

$$\alpha = 0,55$$

$$C_u = 17,83$$

$$Q_s = \alpha \cdot C_u$$

$$= 0,55 \times 17,83$$

$$= 61,61 \text{ kN}$$

Daya dukung Ultimate

$$Q_{ult} = Q_p + Q_s \text{ (komulatif)}$$

$$= 117,4 + 61,61$$

$$= 179,03 \text{ kN} = 17,9 \text{ ton}$$

Daya dukung ijin

$$\begin{aligned} Q_{all} &= \frac{Q_p}{SF} + \frac{Q_s}{SF} \\ &= \frac{117,4}{3} + \frac{61,61}{3} \\ &= 59,7 \text{ kN} = 5,97 \text{ ton} \end{aligned}$$

Daya dukung ujung tiang dan geser selimut tiang pada non tanah kohesif

- Kedalaman 6 m

Daya dukung ujung tiang

$$A_p = 0,785 \text{ m}^2$$

$$q' = \gamma \cdot L = 58$$

$$K_o = 1 - \sin \phi$$

$$= 1 - \sin 30^\circ = 0,50$$

$$\begin{aligned} \sigma_o &= \left(\frac{1 + 2 \cdot K_o}{3} \right) \cdot q' \\ &= \left(\frac{1 + 2 \cdot 0,50}{3} \right) \cdot 58 = 38,7 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_s &= 0,1 + 0,3 \left(\frac{\phi - 25}{20} \right) \\ &= 0,1 + 0,3 \left(\frac{30 - 25}{20} \right) \\ &= 0,18 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta &= 0,005 \left(1 - \frac{\phi - 25}{20} \right) \left(\frac{q'}{100} \right) \\ &= 0,005 \left(1 - \frac{30 - 25}{20} \right) \left(\frac{58}{100} \right) \\ &= 0,00218 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_r &= \frac{E_s}{2(1 + \mu_s)q' \tan \phi} \\ &= \frac{21000}{2 \times (1 + 0,18) \times 58 \times \tan 30} \\ &= 265,7 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{rr} &= \frac{I_r}{1 + I_r \cdot \Delta} \\
 &= \frac{265,7}{1 + 265,7 \times 0,00218} \\
 &= 168,2
 \end{aligned}$$

Dari tabel 2.11, untuk $I_{rr} = 168,2$ maka, dengan nilai $\phi = 30$ maka nilai $N_\sigma = 67,9$

Maka:

$$\begin{aligned}
 Q_p &= A_p \cdot \sigma_0 \cdot N_\sigma \\
 &= 0,785 \times 38,67 \times 67,9 \\
 &= 2062,6 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Daya dukung geser selimut tiang

$$\begin{aligned}
 p &= 3,14 \text{ m} \\
 \beta &= 1,5 - 0,244 \cdot \sqrt{6} = 0,90 \\
 \sigma_0 &= 38,67 \\
 f &= \beta \cdot \sigma_0 = 0,90 \times 38,67 = 34,89
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_s &= \sum f \cdot p \cdot \Delta L \\
 &= 34,89 \times 3,14 \times 6 \\
 &= 219,24 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Daya dukung Ultimate

$$\begin{aligned}
 Q_{ult} &= Q_p + Q_s \text{ (komulatif)} \\
 &= 2062,6 + 412,6 \\
 &= 2475,1 \text{ kN} = 247,5 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Daya dukung ijin

$$\begin{aligned}
 Q_{all} &= \frac{Q_p}{SF} + \frac{Q_s}{SF} \\
 &= \frac{2062,6}{3} + \frac{219,2}{3} \\
 &= 825,1 \text{ kN} = 82,5 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan daya dukung lengkapnya dapat dilihat pada tabel 4.3

Tabel 4.3: Hasil perhitungan daya dukung berdasarkan data Parameter BH-3.

Depth (m)	N rata-rata	Cu	a	N σ	Nc	Skin Friction (kN)		End Bearing (kN)	Qult (ton)	Q all (ton)
						Local	Cumm			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	3,0	17,83	0,55	-	8,39	61,6	61,6	117,4	17,9	5,97
4	6,0	38,13	0,55	-	10,5	131,7	193,7	300,1	49,3	16,4
6	12,0	-	-	67,9	-	219,2	412,6	2062,6	247,5	82,5
8	18,0	-	-	82,6	-	263,2	675,8	3354,6	403,0	134,3
10	44,0	-	-	176,2	-	281,7	957,5	8513,4	947,1	315,7
12	53,0	-	-	189,8	-	310,0	1267,8	11238,2	1250,6	416,8
14	60,0	-	-	204,6	-	327,9	1595,7	14283,9	1587,9	529,3
16	60,0	-	-	192,8	-	340,8	1936,5	15673,1	1760,9	586,9
18	60,0	-	-	182,5	-	345,0	2281,6	16935,3	1921,7	640,5
20	60,0	-	-	173,5	-	341,0	2622,7	18086,7	2070,9	690,3
22	60,0	-	-	165,4	-	329,3	2952,0	19140,8	2209,2	736,4
24	60,0	-	-	158,0	-	310,1	3262,2	20104,1	2336,6	778,8
26	60,0	-	-	151,3	-	284,0	3546,2	20988,5	2453,4	817,8
28	60,0	-	-	145,1	-	300,5	3846,7	21798,3	2564,5	854,8
30	60,0	-	-	139,4	-	323,4	4170,2	22540,6	2671,0	890,3

Adapun penjelasan mengenai tabel 4.3 pada titik BH.3 dengan kedalaman 18 meter dengan panjang bersih tiang 15 meter untuk jenis tanah pasir memiliki nilai NSPT 60 menghasilkan daya dukung ultimate sebesar 1921,7ton dan daya dukung izinnya sebesar 640,5 ton.

4.2. Perhitungan Daya Dukung Kelompok Tiang

4.2.1. Perhitungan Pada Titik BH 1

$$Q_g = Qult \text{ 1 Tiang} \times n \times \eta_g$$

$$\eta_g = 1 - \frac{\text{Arc Tan } (D/s)}{90} \left(2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n}\right)$$

$$\eta_g = 1 - \frac{\text{Tan}^{-1} (1/2,5)}{90} \left(2 - \frac{1}{12} - \frac{1}{2}\right) = 0,41$$

$$Q_g = 20302,54 \times 24 \times 0,41 = 199778,9 \text{ kN} = 19977 \text{ ton}$$

4.2.2. Perhitungan Pada Titik BH 2

$$Q_g = Qult \text{ 1 Tiang} \times n \times \eta_g$$

$$\eta_g = 1 - \frac{\text{Arc Tan } (D/s)}{90} \left(2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n}\right)$$

$$\eta_g = 1 - \frac{\text{Tan}^{-1} (1/2.5)}{90} \left(2 - \frac{1}{12} - \frac{1}{2}\right) = 0,41$$

$$Q_g = 19465,01 \times 24 \times 0,41 = 191536,7 \text{ kN} = 19153 \text{ ton}$$

4.2.3. Perhitungan Pada Titik BH 3

$$Q_g = \text{Qult } 1 \text{ Tiang} \times n \times \eta_g$$

$$\eta_g = 1 - \frac{\text{Arc Tan } (D/s)}{90} \left(2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n}\right)$$

$$\eta_g = 1 - \frac{\text{Tan}^{-1} (1/2.5)}{90} \left(2 - \frac{1}{12} - \frac{1}{2}\right) = 0,41$$

$$Q_g = 19216,9 \times 24 \times 0,41 = 189098,3 \text{ kN} = 18909 \text{ ton}$$

4.3. Perhitungan Penurunan Elastis (Elastic Settlement)

4.3.1. Perhitungan Pada Titik BH 1

Pada kedalaman 18 m diperoleh nilai N untuk lapisan pasir = 60

$$\text{Maka, } q_c = 4 \cdot N \cdot 98 = 4 \times 60 = 240 \text{ kg/cm}^2 = 240 \times 98 = 23520 \text{ kN/m}^2$$

Modulus elastisitas di sekitar tiang (E_s)

$$\begin{aligned} E_s &= 2,5 \times q_c \\ &= 2,5 \times 23520 = 58800 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Menentukan modulus elastisitas tanah di dasar tiang

$$\begin{aligned} E_b &= 10 \times E_s \\ &= 10 \times 58800 = 588000 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Menentukan modulus elastisitas dari bahan tiang

$$\begin{aligned} E_p &= 4700 \cdot \sqrt{f_{c'}} \\ &= 4700 \times \sqrt{30} = 25742,96 \text{ mpa} = 25742960 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Menentukan penurunan batang tiang

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

$$Q_{wp} = Q_p - Q_s = 5706,3 - 782,1 = 4924,2$$

$$S_1 = \frac{(4924,2 + 0,5 \times (782,1)) \times 18}{0,785 \times 25742960} = 0,004520 \text{ cm} = 4,52 \text{ mm}$$

Menentukan penurunan tiang akibat beban di ujung tiang

$$S_2 = \frac{qwpD}{Eb} (1 - \mu s^2) Iwp$$

$$qwp = Qwp/Ap$$

$$S_2 = \left(\frac{6272,91}{0,785} \right) \times \left(\frac{100}{588000} \right) \times (1 - 0,4^2) \times 0,85 = 0,00699 \text{ cm} = 6,99 \text{ mm}$$

Menentukan penurunan tiang akibat beban yang tersalurkan sepanjang tiang

$$S_3 = \left(\frac{Qws}{pL} \right) \frac{D}{Es} (1 - \mu s^2) Iws$$

$$Iws = 2 + 0,4 \sqrt{\frac{L}{D}} = 2 + 0,4 \sqrt{\frac{18}{1}} = 3,70$$

$$S_3 = \left[\frac{782,1}{(3,14) \times (18)} \right] \times \left(\frac{1}{58800} \right) \times (1 - 0,4^2) \times 3,70 = 0,001096 \text{ cm} \\ = 1,09 \text{ mm}$$

Maka penurunan total (s) titik BH1:

$$S = S_1 + S_2 + S_3 = 4,52 + 6,99 + 1,09 = 12,62 \text{ mm}$$

Menentukan penurunan tiang kelompok

$$sg = s \cdot \sqrt{\frac{Bg}{D}}$$

$$Bg = (m - 1)s + D = (2 - 1) \times 2500 + 1000 = 3500 \text{ mm}$$

$$sg = 12,62 \sqrt{\frac{3500}{1000}} = 23,61 \text{ mm}$$

4.3.2. Perhitungan Pada Titik BH 2

Pada kedalaman 18 m diperoleh nilai N untuk lapisan pasir = 60

$$\text{Maka, } q_c = 4 \cdot N \cdot 98 = 4 \times 60 = 240 \text{ kg/cm}^2 = 240 \times 98 = 23520 \text{ kN/m}^2$$

Modulus elastisitas di sekitar tiang (Es)

$$E_s = 2,5 \times q_c$$

$$= 2,5 \times 23520 = 58800 \text{ kN/m}^2$$

Menentukan modulus elastisitas tanah di dasar tiang

$$E_b = 10 \times E_s$$

$$= 10 \times 58800 = 588000 \text{ kN/m}^2$$

Menentukan modulus elastisitas dari bahan tiang

$$E_p = 4700 \cdot \sqrt{f_c'}$$

$$= 4700 \times \sqrt{30} = 25742,96 \text{ mpa} = 25742960 \text{ kN/m}^2$$

Menentukan penurunan batang tiang

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

$$Q_{wp} = Q_b - Q_s = 2709,62 - 613,3 = 2096,3$$

$$S_1 = \frac{(2096,3 + 0,5 \times (613,3)) \times 15}{0,79 \times 25742960} = 0,004730 \text{ cm} = 4,73 \text{ mm}$$

Menentukan penurunan tiang akibat beban di ujung tiang

$$S_2 = \frac{q_{wp} D}{E_b} (1 - \mu_s^2) I_{wp}$$

$$q_{wp} = Q_{wp} / A_p$$

$$S_2 = \left(\frac{613,3}{0,79} \right) \times \left(\frac{100}{600000} \right) \times (1 - 0,35^2) \times 0,85 = 0,007610 \text{ cm} = 7,61 \text{ mm}$$

Menentukan penurunan tiang akibat beban yang tersalurkan sepanjang tiang

$$S_3 = \left(\frac{Q_{ws}}{pL} \right) \frac{D}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{ws}$$

$$I_{ws} = 2 + 0,35 \sqrt{\frac{L}{D}} = 2 + 0,35 \sqrt{\frac{15}{1}} = 3,35$$

$$S_3 = \left[\frac{613,3}{(3,14) \times (15)} \right] \times \left(\frac{1}{60000} \right) \times (1 - 0,35^2) \times 3,35 = 0,000766 \text{ cm}$$

$$= 0,76 \text{ mm}$$

Maka penurunan total (s) titik BH1:

$$S = s_1 + s_2 + s_3 = 4,73 + 7,61 + 0,76 = 13,11 \text{ mm}$$

Menentukan penurunan tiang kelompok

$$s_g = s \cdot \sqrt{\frac{B_g}{D}}$$

$$B_g = (m - 1)s + D = (2 - 1) \times 2500 + 1000 = 3500 \text{ mm}$$

$$s_g = 13,11 \sqrt{\frac{3500}{1000}} = 24,54 \text{ mm}$$

4.3.3. Perhitungan Pada Titik BH 3

Pada kedalaman 18 m diperoleh nilai N untuk lapisan pasir = 60

$$\text{Maka, } q_c = 4N = 4 \times 60 = 240 \text{ kg/cm}^2 = 240 \times 98 = 23520 \text{ kN/m}^2$$

Modulus elastisitas di sekitar tiang (E_s)

$$\begin{aligned} E_s &= 2,5 \times q_c \\ &= 2,5 \times 23520 = 58800 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Menentukan modulus elastisitas tanah di dasar tiang

$$\begin{aligned} E_b &= 10 \times E_s \\ &= 10 \times 58800 = 588000 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Menentukan modulus elastisitas dari bahan tiang

$$\begin{aligned} E_p &= 4700 \cdot \sqrt{f_c'} \\ &= 4700 \times \sqrt{30} = 25742,96 \text{ mpa} = 25742960 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Menentukan penurunan batang tiang

$$S_1 = \frac{(Q_{wp} + \xi Q_{ws})L}{A_p \cdot E_p}$$
$$Q_{wp} = Q_b - Q_s = 2709,62 - 625 = 2084,7$$
$$S_1 = \frac{(2084,7 + 0,5 \times (625)) \times 15}{0,79 \times 25742960} = 0,004690 \text{ cm} = 4,69 \text{ mm}$$

Menentukan penurunan tiang akibat beban di ujung tiang

$$S_2 = \frac{q_{wp}D}{E_b} (1 - \mu_s^2) I_{wp}$$

$$q_{wp} = Q_{wp}/A_p$$

$$S_2 = \left(\frac{625}{0,79}\right) \times \left(\frac{100}{600000}\right) \times (1 - 0,35^2) \times 0,85 = 0,007550 \text{ cm} = 7,55 \text{ mm}$$

Menentukan penurunan tiang akibat beban yang tersalurkan sepanjang tiang

$$S_3 = \left(\frac{Qws}{pL}\right) \frac{D}{Es} (1 - \mu s^2) Iws$$

$$Iws = 2 + 0,35 \sqrt{\frac{L}{D}} = 2 + 0,35 \sqrt{\frac{15}{1}} = 3,35$$

$$S_3 = \left[\frac{625}{(3,14) \times (15)}\right] \times \left(\frac{1}{60000}\right) \times (1 - 0,35^2) \times 3,35 = 0,000740 \text{ cm}$$

$$= 0,74 \text{ mm}$$

Maka penurunan total (s) titik BH3:

$$S = S_1 + S_2 + S_3 = 4,69 + 7,55 + 0,74 = 12,98 \text{ mm}$$

Menentukan penurunan tiang kelompok

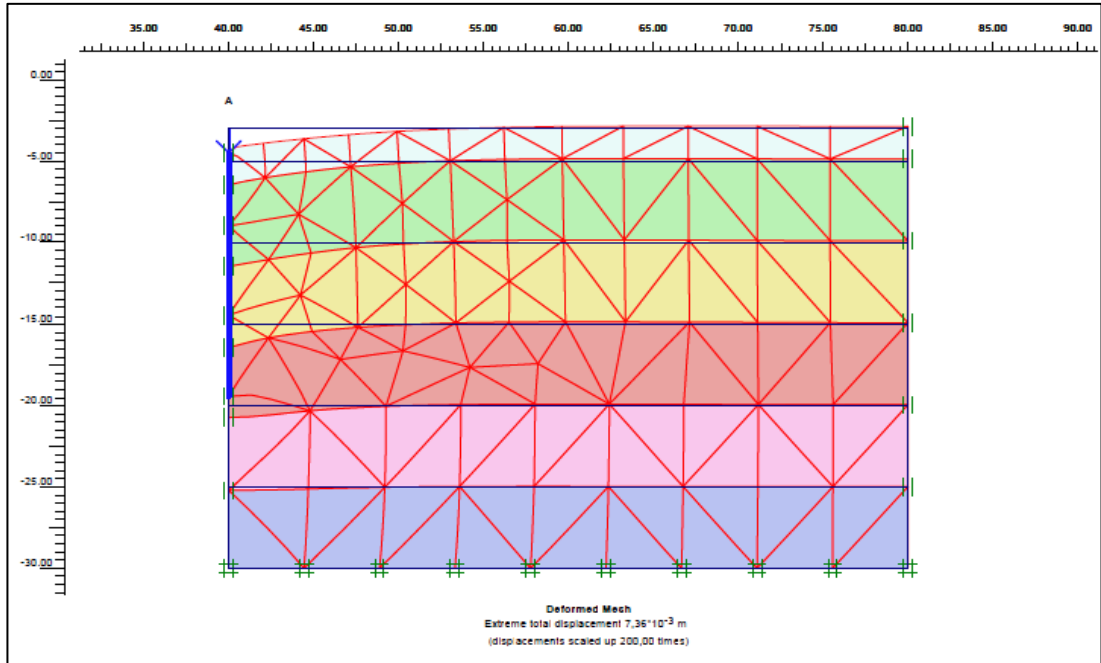
$$sg = s \cdot \sqrt{\frac{Bg}{D}}$$

$$Bg = (m - 1)s + D = (2 - 1) \times 2500 + 1000 = 3500 \text{ mm}$$

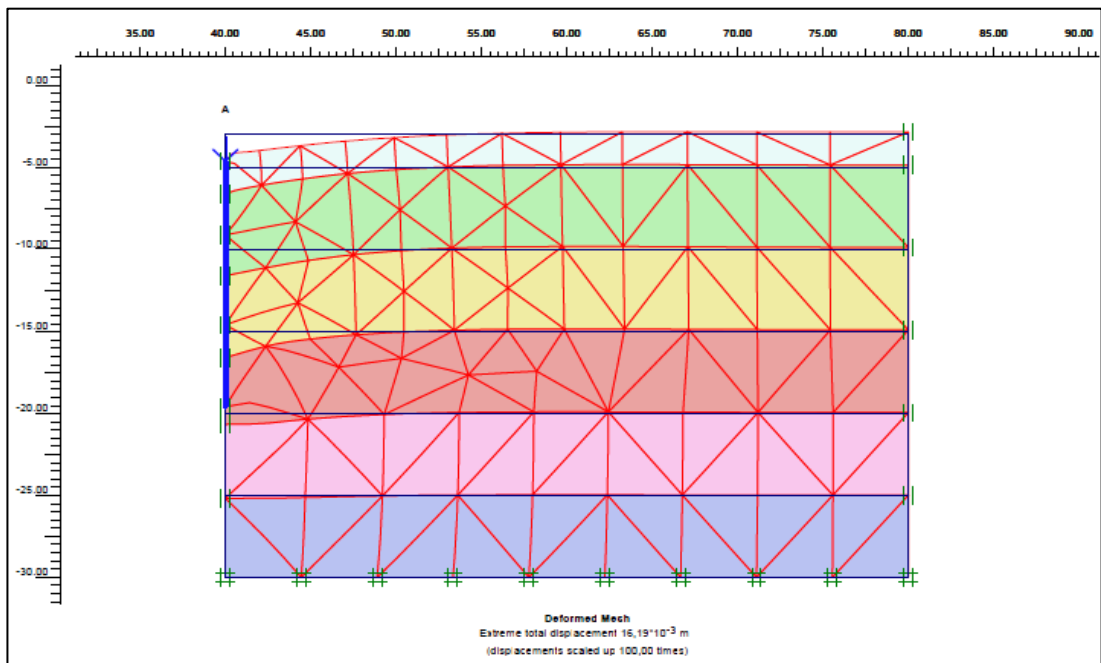
$$sg = 12,98 \sqrt{\frac{3500}{1000}} = 24,29 \text{ mm}$$

4.4. Hasil Program Analisis

Setelah membuat geometri dan melakukan input parameter tanah, kemudian melakukan tahapan kalkulasi yang terdiri dari beberapa tahap atau proses. Setelah tahapan kalkulasi selesai maka akan didapat hasil *output* berupa gambar *visualisasi* dan grafik penurunan seperti Gambar 4.1 - 4.3.



Gambar 4.1: Penurunan dengan beban rencana 300 ton.



Gambar 4.2: Penurunan dengan beban maksimal 600 ton.

Kedua gambar penurunan diatas adalah perwakilan dari ketiga titik tersebut yang diambil dari program Plaxis pada titik BH.2, karena pada titik tersebut yang

memiliki struktur lapisan tanah yang cukup baik. Untuk gambar penurunan titik BH.1 dan BH.3 dapat dilihat dalam halaman lampiran.

Dari hasil perhitungan titik BH-1 dengan menggunakan program analisis di dapat nilai tegangan efektif sebesar 7908.2 kN/m^2 maka nilai Q_u adalah:

$$Q_u = \sigma \times A_p$$

$$Q_u = 7908.2 \times 0.785 = 6207 \text{ kN} = 620 \text{ ton}$$

Dengan penurunan sebesar:

- 11,05 mm untuk beban 300 ton.

Dari hasil perhitungan titik BH-2 dengan menggunakan program analisis di dapat nilai tegangan efektif sebesar 7918.1 kN/m^2 maka nilai Q_u adalah:

$$Q_u = \sigma \times A_p$$

$$Q_u = 6506 \times 0.7085 = 5107 \text{ kN} = 510 \text{ ton}$$

Dengan penurunan sebesar:

- 7,36 mm untuk beban 300 ton.

Dari hasil perhitungan titik BH-3 dengan menggunakan program analisis di dapat nilai tegangan efektif sebesar 5309.4 kN/m^2 maka nilai Q_u adalah:

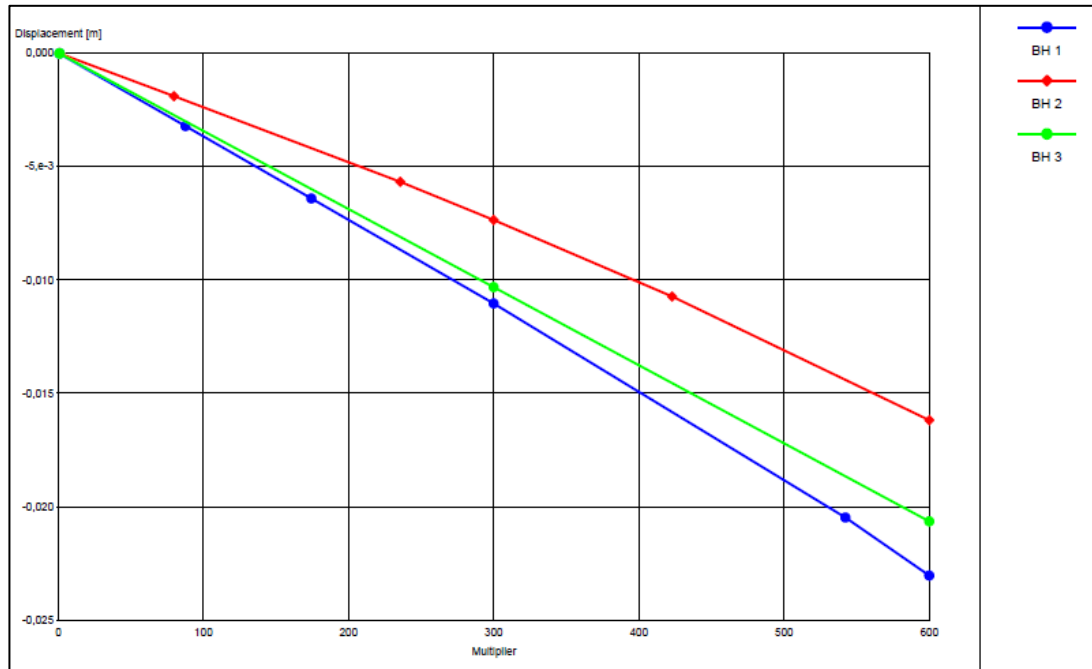
$$Q_u = \sigma \times A_p$$

$$Q_u = 5309 \times 0.7085 = 4167 \text{ kN} = 416 \text{ ton}$$

Dengan penurunan sebesar:

- 10,32 mm untuk beban 300 ton.

Setelah proses perhitungan selesai, maka langkah berikutnya adalah masuk pada katagori kurva. Adapun perbandingan kurva penurunan maximum antara titik BH-1, BH-2 dan BH-3 dapat dilihat pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 : Kurva Perbandingan antara titik BH.1, BH.2, dan BH.3 dalam program Plaxis.

Pada gambar 4.3 yang dihasilkan oleh program Plaxis dijelaskan bahwa grafik berwarna hijau titik BH-1 yang menghasilkan nilai penurunan maximum sebesar 23,04 mm, grafik berwarna merah titik BH-2 yang menghasilkan nilai penurunan maximum sebesar 16,19 mm dan yang berwarna biru titik BH-3 yang menghasilkan nilai penurunan maximum sebesar 20,64 mm.

4.5. Perbandingan Hasil Perhitungan

Berdasarkan analisis perhitungan mengenai daya dukung dan penurunan pada podasi bored pile dengan cara analitis dan menggunakan metode elemen hingga, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

Perbandingan hasil perhitungan daya dukung dengan metode analitis dan dengan metode elemen hingga ditunjukkan dalam Tabel 4.4:

Tabel 4.4: Perbandingan daya dukung.

Titik	Panjang tiang (m)	Metode Analitis (Vesic)	Metode Elemen Hingga	Persentase	Kelompok tiang
BH-1	15	676 ton	620 ton	8,2%	19.977 ton
BH-2	15	648 ton	510 ton	21,2%	19.153 ton
BH-3	15	640 ton	416 ton	35%	18.909 ton

Berdasarkan perhitungan analitis dan dengan metode elemen hingga penurunan yang terjadi pada tiang di tunjukan dalam Tabel 4.5.

Tabel 4.5: Perbandingan penurunan tiang.

Titik	Panjang tiang (m)	Penurunan elastis tiang	Penurunan Program analitis	Selisih (%)	Penurunan kelompok tiang
BH-1	15	12,62 mm	23,04 mm	45,22 %	23,61 mm
BH-2	15	13,11 mm	16,19 mm	19,02 %	24,54 mm
BH-3	15	12,98 mm	20,64 mm	37,11 %	24,29 mm

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil analisis, dapat di ambil kesimpulan :

1. Hasil perhitungan daya dukung pondasi *bored pile* dengan metode analitis (Vesic) pada ketiga titik adalah :

- BH 1 = 676 ton
- BH 2 = 648 ton
- BH 3 = 640 ton

Daya dukung pondasi *bored pile* dengan program (*Plaxis*) adalah :

- BH 1 = 620 ton
- BH 2 = 510 ton
- BH 3 = 416 ton

Setelah diakumulasikan ada selisih perbandingan antara metode analitis dan program (*Plaxis*), BH-1= 8,2%, BH-2= 21,2%, BH-3= 35%.

2. Penurunan yang terjadi dengan menggunakan metode penurunan elastis pada ketiga titik adalah :

- BH 1 = 12,62 mm
- BH 2 = 13,11 mm
- BH 3 = 12,98 mm

Penurunan pada perhitungan program (*Plaxis*).

- BH 1 = 23,04 mm
- BH 2 = 16,19 mm
- BH 3 = 20,64 mm

Maka selisih perbandingan antara penurunan elastis dan bantuan program (*Plaxis*) BH-1= 45,22 %, BH-2= 19,02 %, BH-3= 37,11 %.

3. Hasil perhitungan daya dukung kelompok tiang pada ketiga titik adalah :

- BH 1 = 19.977 ton
- BH 2 = 19.153 ton
- BH 3 = 18.909 ton

Penurunan kelompok tiang pada perhitungan analitis adalah :

- BH 1 = 23,61 mm
- BH 2 = 24,54 mm
- BH 3 = 24,29 mm

5.2. Saran

Berdasarkan dari pengkajian hasil penelitian penulis juga bermaksud memberikan beberapa saran yang berkaitan dengan perencanaan pondasi mudah mudahan dapat bermanfaat bagi peneliti selanjutnya.

1. Untuk mendapatkan hasil perhitungan kapasitas daya dukung yang baik di perlukan ketelitian dalam menginput data SPT dan mempunyai kemampuan dasar mekanika tanah yang kuat.
2. Dalam merencanakan pondasi dengan menggunakan *software* palxis harus teliti dalam menginput data tanah seperti jenis tanah dan parameter tanah dan gunakan lisensi *software* yang asli untuk hasil yang maksimal.
3. Dalam perancangan dan pelaksanaan suatu pondasi kemungkinan besar akan di temui berbagai permasalahan yang kompleks yang berbeda antar kondisi tanah, sehingga seorang perencana , diharapkan memiliki "*feeling engineering*" yang di dukung oleh pengetahuan yang luas dan pengalaman yang di dapatkan di lapangan, hingga tercipta seorang *engineer* yang tanggap, tangguh dan menghasilkan karya yang baik dan berguna.

Demikian kesimpulan dan saran yang dapat penulis ambil dari Tugas Akhir ini, penulis mengucapkan banyak terima kasih atas koreksi dan pemasukan dari pembaca, serta tak lupa penulis meminta maaf mengingat banyaknya keterbatasan dalam hal pengumpulan data, pengetahuan ataupun kesalahan pada perencanaan Tugas Akhir ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Bridge Menagemen System. (1992) *Desain Of Pile Foundation*, Indonesia dan Australia.
- Bakker, K. J, dkk. (2007) *Plaxis Tutorial Manual*, 2D Version 8, Delft, Netherlands: Plaxis b.v.
- Bowles, J. E. (1997) *Analisis Dan Desain Pondasi*, Edisi Keempat Jilid 1, Jakarta: Erlangga.
- Das, B. M. (2007) *Principles of Foundation Engineering, SI*, Seventh, Edition United States of America: Cengage Learning.
- Das, B. M. (2007) *Principles of Foundation Engineering*, Sixth Edition, North America: Nelson.
- Das, B. M. (1995) *Mekanika Tanah (Prinsi-prinsip Rekayasa Geoteknik)*, Jilid 1, Jakarta: Erlangga.
- Hardiyatmo, H. C. (2002) *Mekanika Tanah I*, Edisi Ketiga, Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. (2002) *Mekanika Tanah II*, Edisi Ketiga, Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. (1996) *Teknik Pondasi I*, Jakarta: PT.Gramedia Pustaka Utama.
- Hardiyatmo, H. C. (2008) *Teknik Pondasi II*, Edisi Keempat, Jakarta: PT.Gramedia Pustaka Utama.
- Hariato, E. (2007) *Analisa Daya Dukung Pondasi Tiang Bor Menggunakan Software Shaft1 Dan Uji Beban Statis (Studi Kasus Tiang Uji TP-4 Dan TP-5 Pada Proyek Grand Indonesa Di Jakarta)*. Tugas Akhir S1 Unniversitas Katolik Soegijapranata.

Poulos, H. G. dan Davis, E. H. (1980) *Pile Foundation Analysis And Design*, Rainbow Bridge Book Co.

SNI 4153. (2008) *Cara Uji Penetrasi Lapangan Dengan SPT*.

SNI 2827. (2008) *Cara Uji Penetrasi Lapangan Dengan Alat Sondir*.

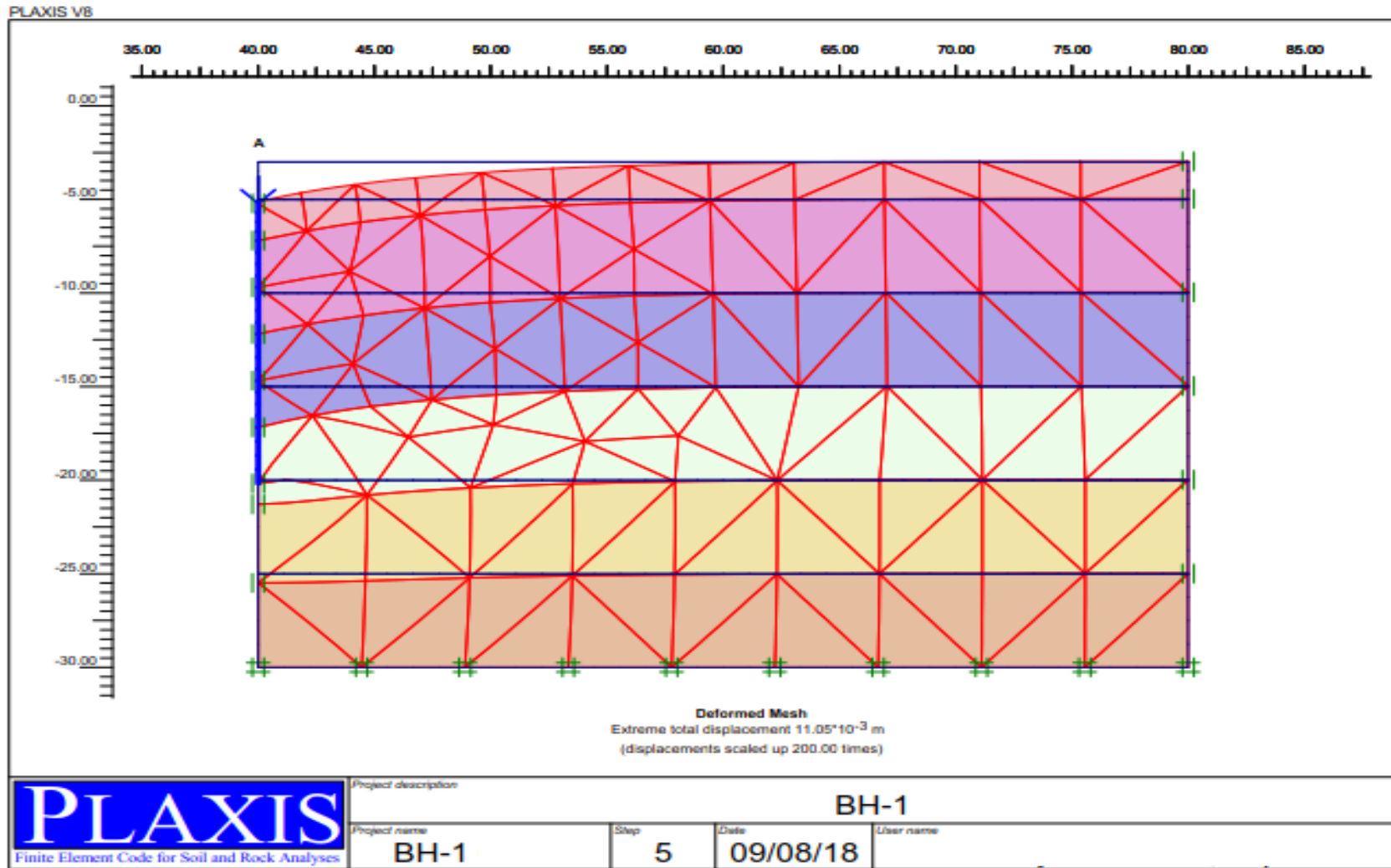
Sosrodarsono, S. dan Nakazawa, K. (2000) *Mekanika Tanah Dan Teknik Pondasi*, Jakarta: PT. Pradnya Paramita.

Soedarmo, G. D. dan Purnomo, J. E. (1993) *Mekanika Tanah 1*, Malang: Kanisius.

LAMPIRAN

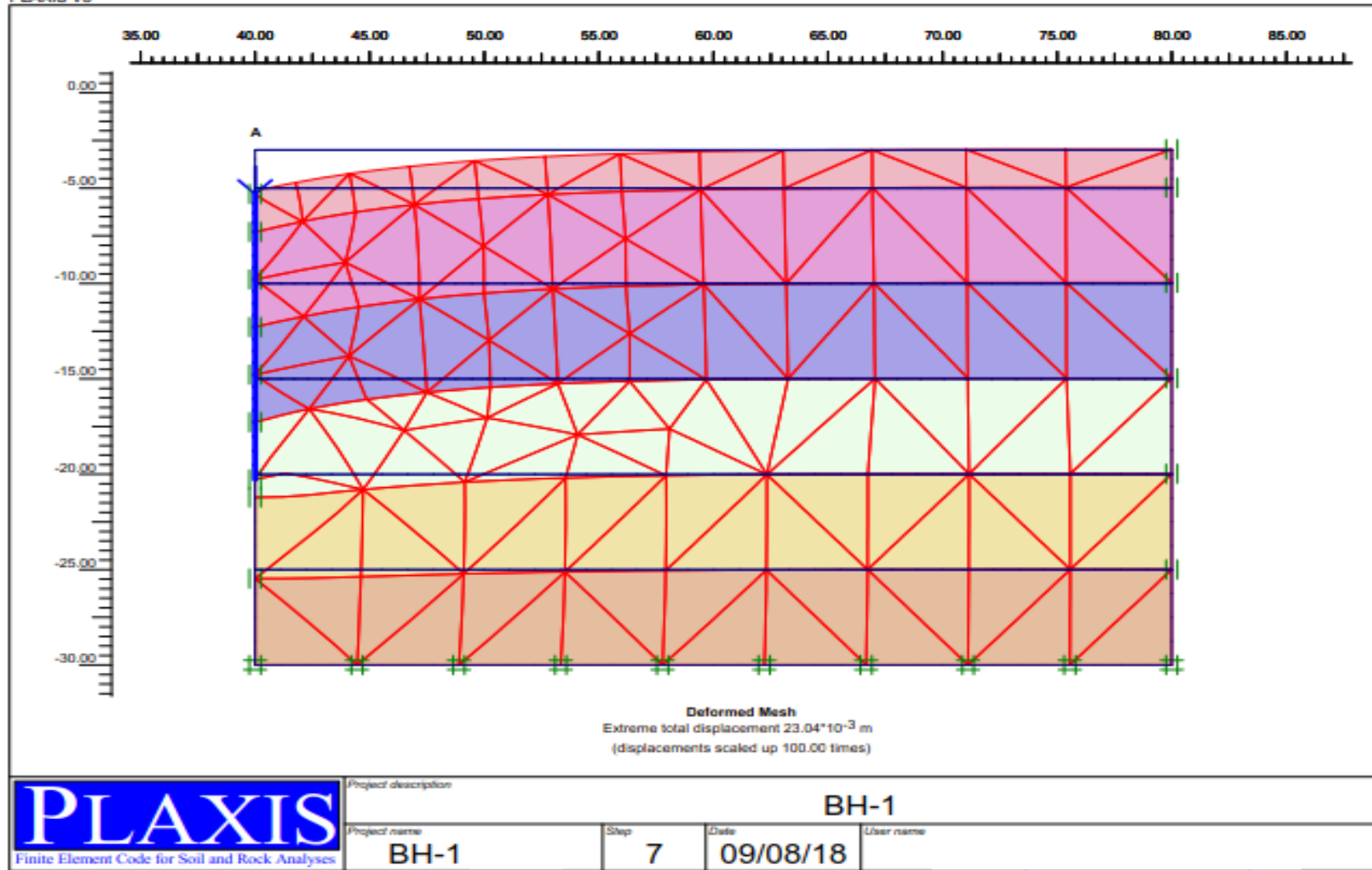
Tabel L.3: Perhitungan Daya Dukung Tiang (BH-3)

PERHITUNGAN DAYA DUKUNG BH-3																															
Diameter = 1.00 m <----- Keliling = 3.14 m Luas penampang = 0.785 m ²																															
No	z (m)	ΔL (m)	Nspt	Clay or Sand?	φ	γ (kN/m ³)	γ' (kN/m ³)	K0	q'	σ'o	Es	μs	Δ	Ir	Irr	Nσ	Nc'	Clay,cu (kPa)	α	β	Friction (kPa)	Qsi	ΣQs	Clay ΣQp	Sand ΣQp	ΣQp	ΣQs+ ΣQp	Qult	Qall	Qall	
																									kN	ton	kN	ton			
1	0		0	0																		0								0	0.00
2	2	2	3	clay	-	18	9	-	18	-	-	-	-	-	28.87	-	8.39	17.83	0.55	-	9.81	61.61	61.61	117.4245	-	117.42	179.03	17.90	59.68	5.97	
3	4	2	6	clay	-	18	9	-	36	-	-	-	-	-	99.3	-	10.03	38.13	0.55	-	20.97	131.76	193.37	300.1948	-	300.19	493.56	49.36	164.52	16.45	
4	6	2	12	sand	30	20	11	0.50	58	38.67	21000	0.18	0.00218	265.73	168.26	67.95	-	-	-	0.90	34.89	219.24	412.61	-	2062.69	2062.69	2475.30	247.53	825.10	82.51	
5	8	2	18	sand	32	20	11	0.47	80	51.73	31500	0.21	0.0026	260.385	155.27	82.61	-	-	-	0.81	41.89	263.23	675.84	-	3354.63	3354.63	4030.47	403.05	1343.49	134.35	
6	10	2	44	sand	39	22	13	0.37	106	61.55	50769.23	0.31	0.00159	225.748	166.12	176.2	-	-	-	0.73	44.83	281.70	957.54	-	8513.41	8513.41	9470.95	947.10	3156.98	315.70	
7	12	2	53	sand	40	22	13	0.36	132	75.42	61153.85	0.33	0.00165	207.565	154.61	189.82	-	-	-	0.65	49.38	310.28	1267.82	-	11238.24	11238.24	12506.06	1250.61	4168.69	416.87	
8	14	2	60	sand	41	22	13	0.34	158	88.9	69230.77	0.34	0.00158	188.081	144.99	204.68	-	-	-	0.59	52.19	327.90	1595.72	-	14283.90	14283.90	15879.62	1587.96	5293.21	529.32	
9	16	2	60	sand	41	22	13	0.34	184	103.53	69230.77	0.34	0.00184	161.504	124.51	192.85	-	-	-	0.52	54.25	340.86	1936.58	-	15673.12	15673.12	17609.70	1760.97	5869.90	586.99	
10	18	2	60	sand	41	22	13	0.34	210	118.16	69230.77	0.34	0.0021	141.508	109.09	182.58	-	-	-	0.46	54.92	345.07	2281.65	-	16935.32	16935.32	19216.97	1921.70	6405.66	640.57	
11	20	2	60	sand	41	22	13	0.34	236	132.79	69230.77	0.34	0.00236	125.918	97.07	173.51	-	-	-	0.41	54.28	341.08	2622.73	-	18086.71	18086.71	20709.44	2070.94	6903.15	690.31	
12	22	2	60	sand	41	22	13	0.34	262	147.42	69230.77	0.34	0.00262	113.423	87.44	165.4	-	-	-	0.36	52.41	329.32	2952.05	-	19140.87	19140.87	22092.92	2209.29	7364.31	736.43	
13	24	2	60	sand	41	22	13	0.34	288	162.05	69230.77	0.34	0.00288	103.183	79.54	158.04	-	-	-	0.30	49.37	310.19	3262.24	-	20104.15	20104.15	23366.39	2336.64	7788.80	778.88	
14	26	2	60	sand	41	22	13	0.34	314	176.68	69230.77	0.34	0.00314	94.639	72.96	151.33	-	-	-	0.26	45.20	284.01	3546.25	-	20988.53	20988.53	24534.78	2453.48	8178.26	817.83	
15	28	2	60	sand	41	22	13	0.34	340	191.31	69230.77	0.34	0.0034	87.402	67.38	145.15	-	-	-	0.25	47.83	300.51	3846.76	-	21798.39	21798.39	25645.15	2564.51	8548.38	854.84	
16	30	2	60	sand	41	22	13	0.34	366	205.94	69230.77	0.34	0.00366	81.193	62.59	139.43	-	-	-	0.25	51.49	323.49	4170.25	-	22540.66	22540.66	26710.91	2671.09	8903.64	890.36	



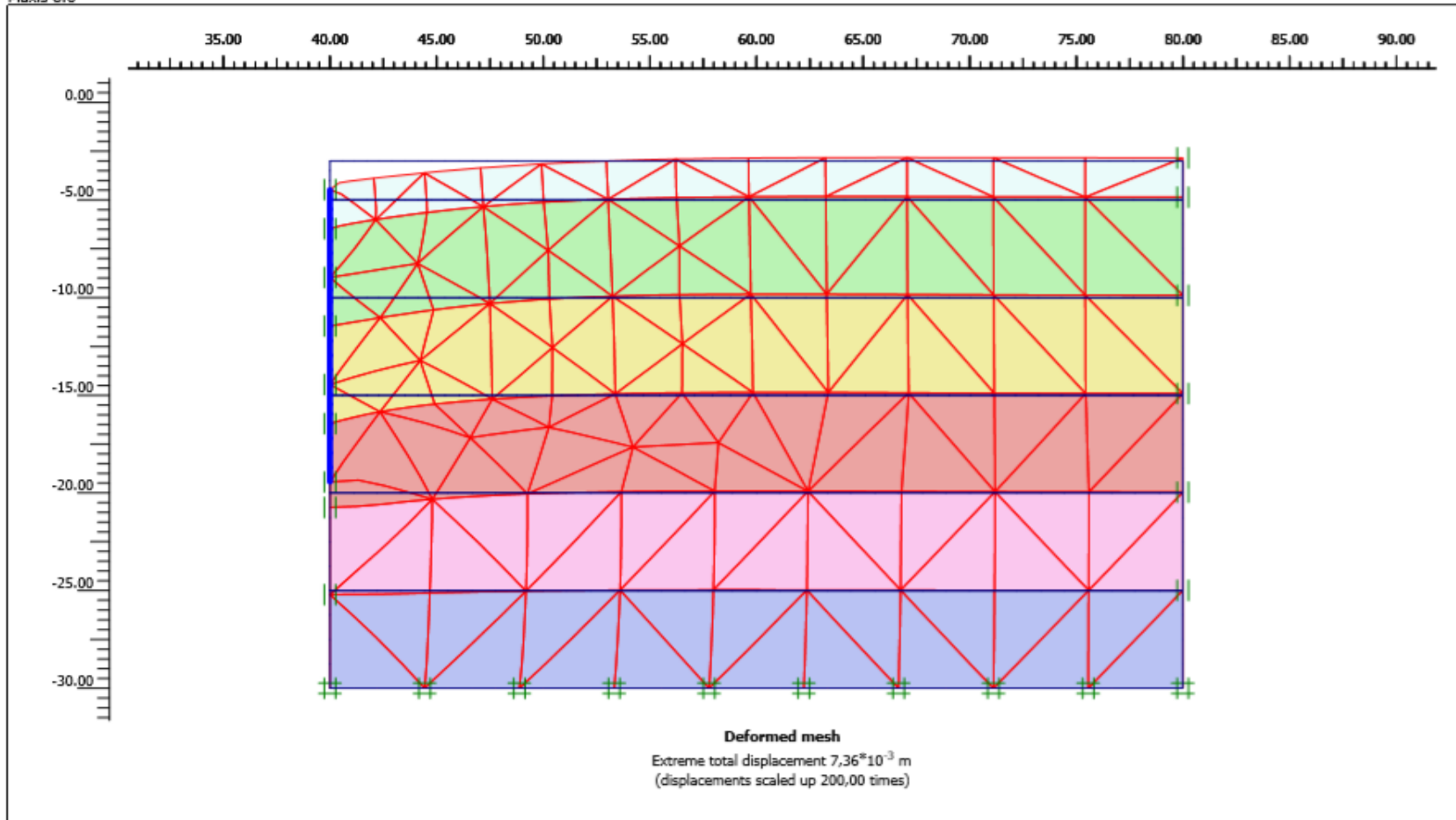
Gambar L.7: Penurunan dengan beban 300 ton pada titik BH-1

PLAXIS VB



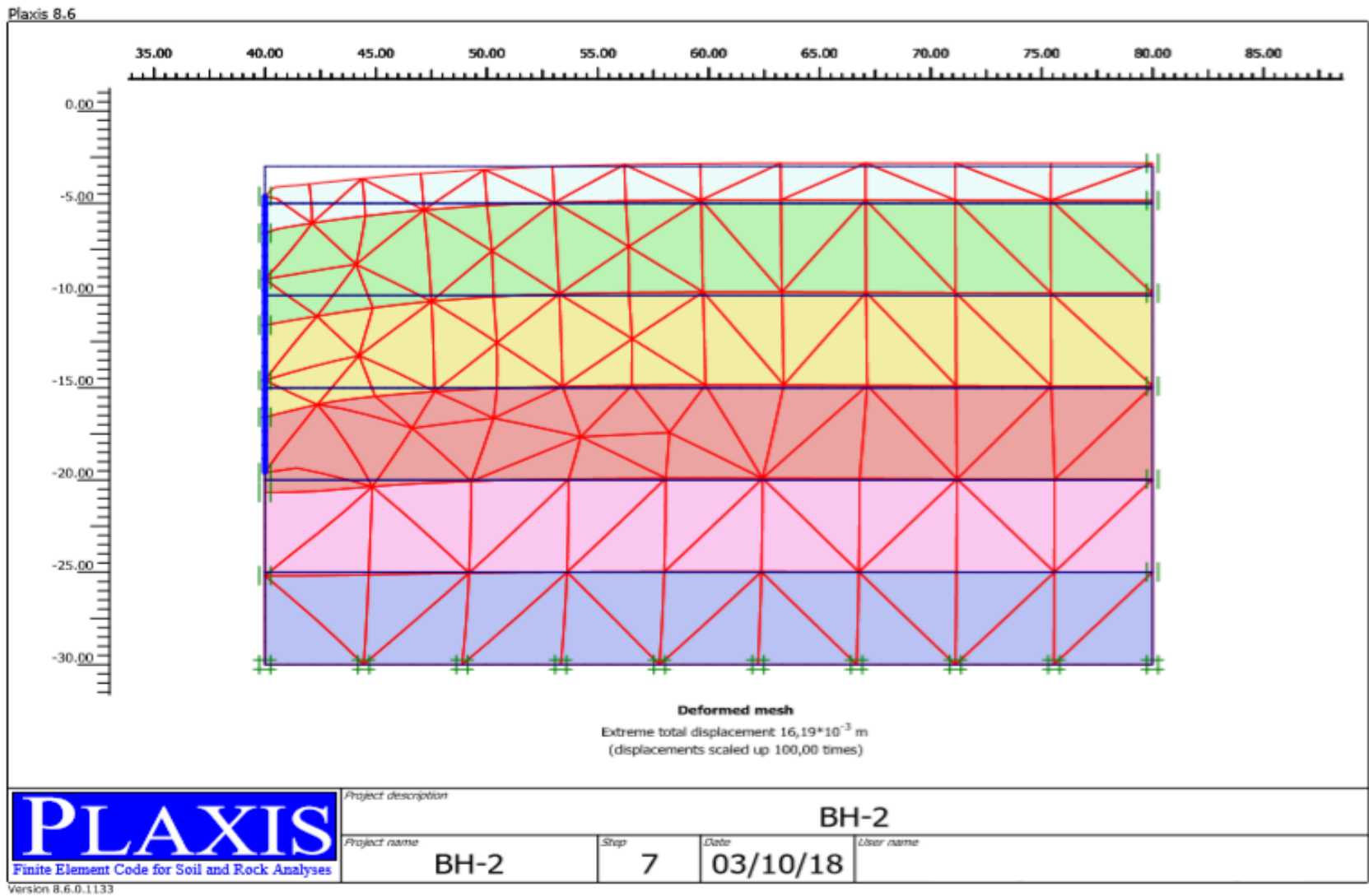
Gambar L.8: Penurunan dengan beban 600 ton pada titik BH-1

Plaxis 8.6



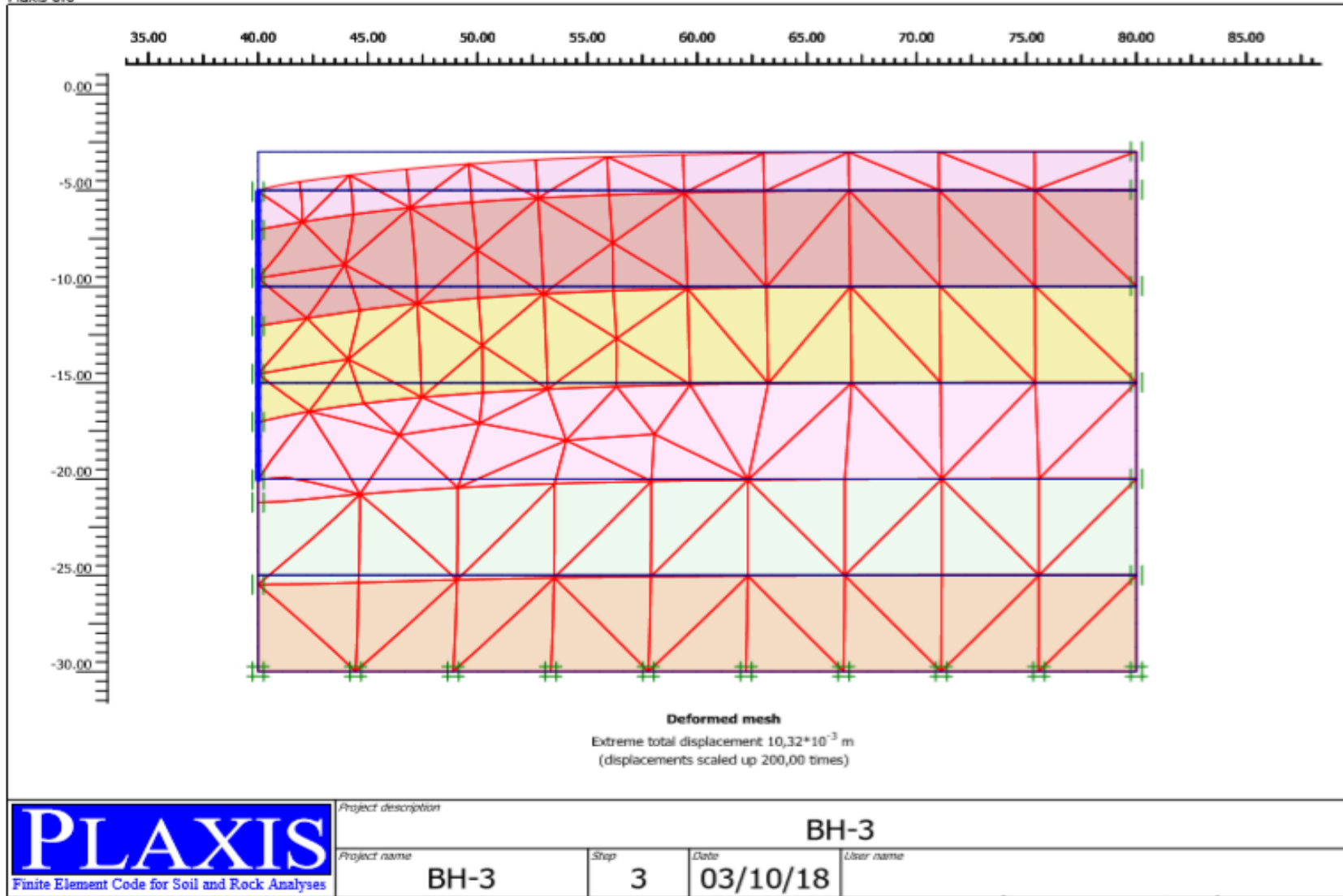
PLAXIS Finite Element Code for Soil and Rock Analyses Version 8.6.0.1133	<i>Project description</i>						
	BH-2						
<i>Project name</i>	BH-2	<i>Step</i>	5	<i>Date</i>	03/10/18	<i>User name</i>	

Gambar L.9: Penurunan dengan beban 300 ton pada titik BH-2



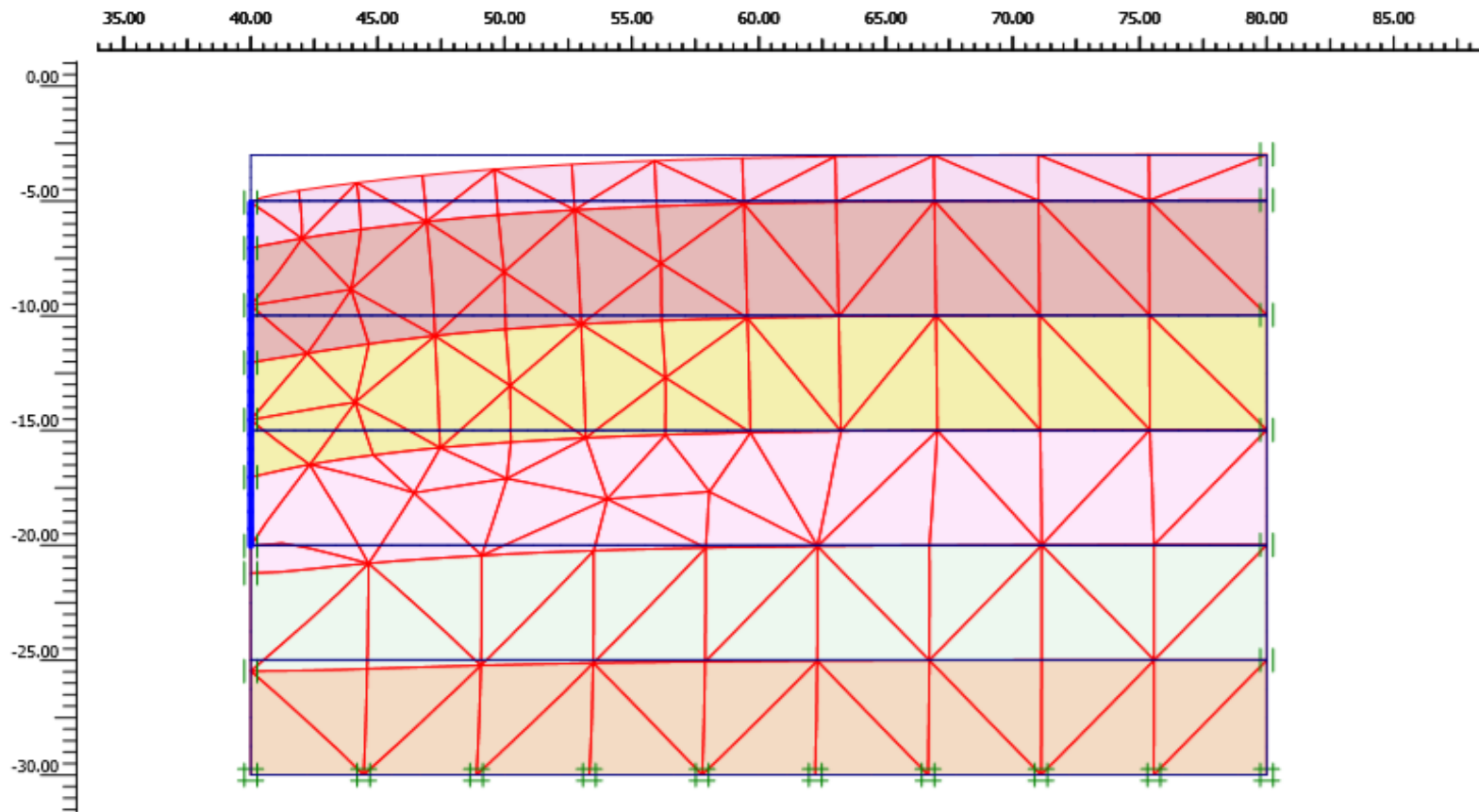
Gambar L.10: Penurunan dengan beban 600 ton pada titik BH-2

Plaxis 8.6



Gambar L.11: Penurunan dengan beban 300 ton pada titik BH-3

Plaxis 8.6



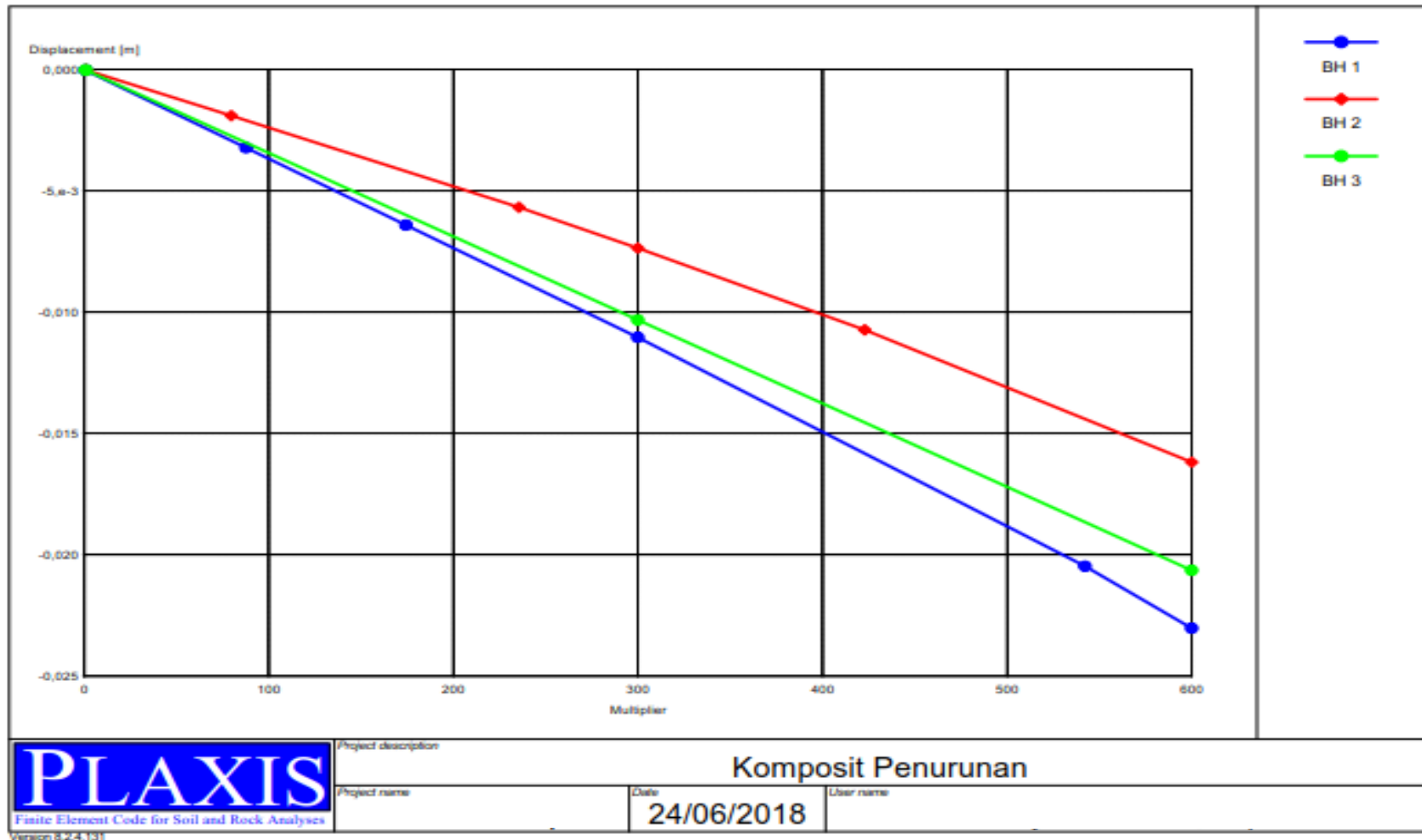
Deformed mesh
Extreme total displacement $20,64 \cdot 10^{-3}$ m
(displacements scaled up 100,00 times)



Version 8.6.0.1133

<i>Project description</i>				BH-3	
<i>Project name</i>	<i>Step</i>	<i>Date</i>	<i>User name</i>		
BH-3	4	03/10/18			

Gambar L.12: Penurunan dengan beban 600 ton pada titik BH-3



Gambar L.13: Grafik Perbandingan penurunan dengan program plaxis



TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
Jl. Kapten Muchtar Basri NO. 3 MEDAN 20238 TELP.(061) 6622400
MEDAN SUMATRA UTARA

LEMBAR ASISTENSI

NAMA : Sugaluh Wisnu Murti
NPM : 1307210274
JUDUL : "STUDI PARAMETRIK PENURUNAN ELASTIS PONDASI BORED PILE AKIBAT PERBEDAAN LAPISAN TANAH DENGAN METODE ELEMEN HINGGA PROYEK JALAN TOL MEDAN-KUALANAMU-TEBING TINGGI"

No.	Tanggal	Keterangan	Paraf
1	23/2 2018	Perbaiki rumusan masalah dan rangkai	cf
2	30/2 2018	lengkapi persamaan pada bab II	cf
3	14/3 2018	lengkapi data sumber bab II	cf
4	15/5 2018	Periksa hasil hitungan	cf
5	18/7 2018	Perbaiki kesimpulan	cf
6	25/8 2018	Acc	

DOSEN PEMBIMBING I


(M. Husin Gultom, S.T, M.T)



TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
JL. Kapten Mochtar Basri NO. 3 MEDAN 20238 TELP.(061) 6622400
MEDAN SUMATRA UTARA

LEMBAR ASISTENSI

NAMA : Sugaluh Wisnu Murti
NPM : 1307210274
JUDUL : "STUDI PARAMETRIK PENURUNAN ELASTIS PONDASI BORED PILE AKIBAT PERBEDAAN LAPISAN TANAH DENGAN METODE ELEMEN HINGGA PROYEK JALAN TOL MEDAN-KUALANAMU-TEBING TINGGI"

No.	Tanggal	Keterangan	Paraf
①	23/9-2017	- Lembar tra bllg lebih Ringkas dan padat - Lanjut ke bab II - Renc. lingk. Kls spesifik	
②	12/11-17	- Bab I → tra bllg - ringk. lingk. - tjdin diperjelas - Bab II → tambahi teori metode yg digunakan - Dimany Jurnal lolsi BHT : 2 ; 3.	

DOSEN PEMBIMBING II

(TONDI A.P, S.T, M.T)



TUGAS AKHIR

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
JL. Kapten Mochtar Basri NO. 3 MEDAN 20238 Telp.(061) 6622400
MEDAN SUMATRA UTARA

LEMBAR ASISTENSI

NAMA : Sugaluh Wisnu Murti
NPM : 1307210274
JUDUL : "STUDI PARAMETRIK PENURUNAN ELASTIS PONDASI
BORED PILE AKIBAT PERBEDAAN LAPISAN TANAH
DENGAN METODE ELEMEN HINGGA PROYEK JALAN
TOL MEDAN - KUALANAMU - TEBING TINGGI"

No.	Tanggal	Keterangan	Paraf
3	29/12-2017	<ul style="list-style-type: none">- Bab III Tata/prosedur dan input di perencanaan- Bab IV : - tugas profis dan tabel Luas Argumentasi- Perban diupla analisis antara manual perencanaan dan loading test	



TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
JL. Kapten Muchtar Basri NO. 3 MEDAN 20238 Telp.(061) 6622400
MEDAN SUMATRA UTARA

LEMBAR ASISTENSI

NAMA : Sugaluh Wisnu Murti
NPM : 1307210274
JUDUL : "STUDI PARAMETRIK PENURUNAN ELASTIS PONDASI BORED PILE AKIBAT PERBEDAAN LAPISAN TANAH DENGAN METODE ELEMEN HINGGA PROYEK JALAN TOL MEDAN-KUALANAMU-TEBING TINGGI"

No.	Tanggal	Keterangan	Paraf
(4)	8/1-2018	<ul style="list-style-type: none">- Urut-urutan input pengerjaan di planis pd bes- Perbandingan gambar Analisis, Numerik dgn. labo test- Argumentasi ream detail kondisi analisis- kesimpulan tdk ada salah tabel & tajuk.	



TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
JL. Kapten Muchtar Basri NO. 3 MEDAN 20238 Telp.(061) 6622400
MEDAN SUMATRA UTARA

LEMBAR ASISTENSI

NAMA : Sugaluh Wisnu Murti
NPM : 1307210274
JUDUL : "STUDI PARAMETRIK PENURUNAN ELASTIS PONDASI BORED PILE AKIBAT PERBEDAAN LAPISAN TANAH DENGAN METODE ELEMEN HINGGA PROYEK JALAN TOL MEDAN-KUALANAMU-TEBING TINGGI"

No.	Tanggal	Keterangan	Paraf
5	12/1-2018	- Perbaiki Asas Analisis - Bore IV → untuk pembedaan metode & bore perbaikan - Kesimpulannya	
6	2/2-2018	- Perbaiki kesimpulan - Buat Referensi	



TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
JL. Kapten Mochtar Basri NO. 3 MEDAN 20238 TELP.(061) 6622400
MEDAN SUMATRA UTARA

LEMBAR ASISTENSI

NAMA : Sugaluh Wisnu Murti
NPM : 1307210274
JUDUL : "STUDI PARAMETRIK PENURUNAN ELASTIS PONDASI BORED PILE AKIBAT PERBEDAAN LAPISAN TANAH DENGAN METODE ELEMEN HINGGA PROYEK JALAN TOL MEDAN-KUALANAMU-TEBING TINGGI"

No.	Tanggal	Keterangan	Paraf
(7)	22/2-2018	Au Seminar	

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA DIRI PESERTA

Nama Lengkap : Sugaluh Wisnu Murti
Panggilan : Sugaluh
Tempat, Tanggal Lahir : Tembung, 16 Februari 1995
Jenis Kelamin : Laki-laki
Alamat : Jl. Sidomulyo, Dusun 5, Desa Tembung
Kecamatan Percut Sei Tuan
Agama : Islam
Nama Orang Tua
Ayah : Marikun
Ibu : Nining Sasmita
No.HP : 081269292671
E-Mail : wisnugaluh88@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

Nomor Pokok Mahasiswa : 1307210274
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Alamat Perguruan Tinggi : Jl. Kapten Muchtar Basri BA. No. 3 Medan 20238

No	Tingkat Pendidikan	Nama dan Tempat	Tahun Kelulusan
1	SD	SDN 101764 Bandar Khalifah	2007
2	SMP	SMP Negeri 2 Percut Sei Tuan	2010
3	SMA	SMK Negeri 1 Percut Sei Tuan	2013
4	Melanjutkan kuliah di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Tahun 2013 sampai selesai.		