

**TUGAS AKHIR**

**STUDI PARAMETRIK DEFORMASI PONDASI TIANG  
PADA KASUS JALAN TOL MEDAN-KUALANAMU-  
TEBING TINGGI  
( *Studi Kasus* )**

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

**Disusun Oleh:**

**PUTRI PANGESTI WAHYU WIJAYANTI  
1307210250**



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

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Putri Pangesti Wahyu Wijayanti

NPM : 1307210250

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Studi Parametrik Deformasi Pondasi Tiang Pada Kasus 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, Maret 2018

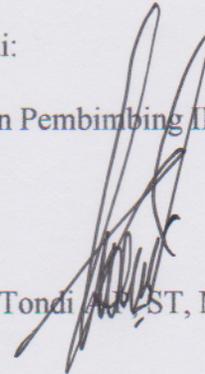
Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I / Penguji



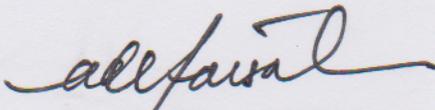
M. Husin Gultom, ST, MT

Dosen Pembimbing II / Peguji



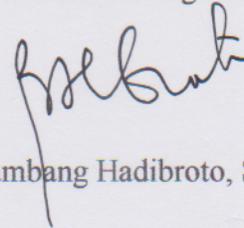
Tondi, ST, MT

Dosen Pembanding I / Penguji



Dr. Ade Faisal, ST, M.Sc

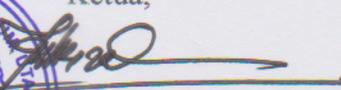
Dosen Pembanding II / Peguji



Bambang Hadibroto, ST, MT

Program Studi Teknik Sipil  
Ketua,



  
Dr. Fadzil Zulkarnain, ST, MSc

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Putri Pangesti Wahyu Wijayanti

Tempat /Tanggal Lahir: Medan / 11 Februari 1996

NPM : 1307210250

Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Sipil,

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

“Studi Parametrik Deformasi Pondasi Tiang Pada Kasus 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, Maret 2018

Saya yang menyatakan,



Putri Pangesti Wahyu Wijayanti



## ABSTRAK

### STUDI PARAMETRIK DEFORMASI PONDASI TIANG PADA KASUS JALAN TOL MEDAN – KUALANAMU – TEBING TINGGI (STUDI KASUS)

Putri Pangesti Wahyu Wijayanti

1307210250

Muhammad Husin Gultom, ST, MT

Tondi A.P, ST, MT

Pondasi tiang bor (*Bored Pile*) merupakan salah satu jenis pondasi dalam. Pada pondasi tiang bor yang menerima beban aksial, beban didistribusikan ke tanah melalui tahanan ujung dan tahanan selimut tiang. Uji beban aksial tiang terinstrumentasi yang dilengkapi instrumentasi berupa *VWSG (Vibrating Wire Strain Gauge)* dan *tell-tale extensometer* dilakukan untuk mengetahui perilaku distribusi beban dan beban-penurunan dari pondasi tiang bor. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis daya dukung dan beban-penurunan pada pondasi tiang bor. Analisis dilakukan pada pondasi tiang bor dengan diameter 1 m dan panjang 30 m, pada tanah yang terdiri atas medium silty clay, stiff silty clay, dan hard clay. Pembebanan saat uji beban dilakukan hingga 200% dari beban kerja (*working load*) sebesar 600 ton melalui 4 siklus pembebanan. Hasil perhitungan analitis menunjukkan bahwa penurunan pondasi tiang bor adalah 9,82 mm untuk mencapai beban 600 ton (titik BH-2). Sementara hasil dari program Plaxis saat beban uji 600 ton, penurunan pondasi tiang bor adalah 17,19 mm.

Kata Kunci: Pondasi Tiang bor, beban-Penurunan, uji beban, Plaxis.

## **ABSTRACT**

### **PARAMETRIC STUDY OF DEBT DEFORMATION ON THE CASE OF TOL MEDAN ROAD - KUALANAMU - TINGGING HIGH (CASE STUDY)**

Putri

1307210250

Muhammad Husin Gultom, ST, MT

Tondi A.P, ST, MT

*Bored pile foundation is one of deep foundation types. On the foundation of the axial pole receiving the axial, it is distributed upward through the tip resistance and the blanket blanket resistance. The axial trials of the extruded pole are instrumented. VWSG (Vibrating Wire Strain Gauge) and tell-tale extensometer were performed to find out. This study aims to analyze the carrying capacity and a-on the foundation of drill piles. The analysis was performed on the foundation of drill pit with diameter of 1 m and panjang 30 m, on the ground consisting of silty clay, rigid clay, and hard clay. The testing load is 200% of work (workload) of 600 tons through 4 loading cycles. The analytical calculation result shows the decrease of drill pole pond is 9.82 mm to reach 600 tons (point BH-2). While the results of the current Plaxis program test 600 tons, the drill bit foundation pole is 17.19 mm.*

*Keywords: Foundation of Drill Pill, Load-Decrease, load test, 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 Deformasi Pondasi Tiang Pada Kasus 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 A.P, ST, MT selaku Dosen Pimbimbing II dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. Ade Faisal,ST, M.Sc selaku Dosen Pembanding I dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Bambang Hadibroto, ST, MT selaku Dosen Pembanding II yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Dr. Fahrizal Zulkarnain, ST, M.Sc selaku Ketua 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 saya.

8. Orang tua penulis: Irianto, Amd dan Supiyanti, yang telah membesarkan, mendidik, memberi semangat, dan selalu memberikan dukungan dengan penuh kesabaran dan kasih sayang kepada penulis.

Juga buat abangda Irshadi Fachrul Arifin, SE yang telah membantu dan memberikan dukungan moril untuk tetap giat dalam menempuh pendidikan dan menyelesaikan tugas akhir ini.

9. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

10. Sahabat-sahabat penulis: Agung Trisna, Zakaria Fadhil, Suguluh Wisnu Murti, Erry Prasetyo, rekan-rekan A3 dan B3 malam stambuk 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,           Maret 2018

Putri Pangesti Wahyu Wijayanti

## 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	xiv
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Ruang Lingkup Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	4
1.5.1. Manfaat Praktis	
1.5.2. Manfaat Teoritis	
1.6. Sistematika Penulisan	4
<b>BAB 2 STUDI PUSTAKA</b>	
2.1. Tanah	6
2.1.1 Propertis Tanah	7
2.1.2 Komposisi Tanah	8
2.1.3 Batas Konsistensi Tanah	9
2.2. Penyelidikan Lapangan	10
2.2.1 Uji Standart Penetration Test (SPT)	12
2.3. Pengujian Laboratorium	15
2.3.1 Parameter Tanah	15
2.4. Pondasi	20
2.5.1 Pondasi Tiang	23
2.5.2 Penggolongan Pondasi Tiang	22
	viii

2.5.	Pondasi Tiang Bor ( <i>Bored Pile</i> )	24
2.6.	Uji Pembebanan Statik ( <i>Static Loading Test</i> )	27
2.7.	Kapasitas Daya Dukung	30
2.8.1	Tiang Dukung Ujung dan Tiang Gesek	30
2.8.2	Dari Data <i>Standart Penetration Test</i> (SPT)	31
2.8.3	Dari Data Parameter Tanah (Laboratorium)	31
2.8.	Faktor Keamanan	34
2.9.	Penurunan Tiang Tunggal ( <i>Settlement</i> )	36
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		
3.1.	Bagan Alir Penelitian	41
3.2.	Data Umum Proyek	42
3.3.	Lokasi Titik Pengeboran	43
3.4.	Pengumpulan Data	43
3.5.	Analisis Data Tanah	43
3.6.	Analisis Parameter Tanah	47
3.7.	Hasil Pengujian Pembebanan Statik ( <i>Static Loading Test</i> )	48
3.8.	Model Numerik dengan Program Analisis	50
3.8.1	Plaxis Input	51
3.8.2	Plaxis Calculation	52
3.8.3	Plaxis Output	52
3.9.	Langkah-langkah Pemodelan Menggunakan Program Plaxis	53
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1.	Perhitungan Daya Dukung Menggunakan Data Parameter (SPT)	58
4.1.1.	Perhitungan Pada Titik BH-1	58
4.1.2.	Perhitungan Pada Titik BH-2	61
4.1.3.	Perhitungan Pada Titik BH-3	64
4.2.	Perhitungan Penurunan ( <i>Settlement</i> )	66
4.2.1.	Penurunan Pada Titik BH-1	66
4.2.2.	Penurunan Pada Titik BH-2	68
4.2.3.	Penurunan Pada Titik BH-3	70
4.3.	Kapasitas Daya Dukung <i>Bored Pile</i> dari Data <i>Loading Test</i>	72

4.3.1. Metode Mazurkiewicz (1972)	73
4.3.2. Metode Chin	74
4.3.3. Metode Davisson	75
4.4. Hasil Analisis Program Plaxis Untuk Penurunan	76
4.5. Perbandingan Hasil analitis dan Program Plaxis untuk penurunan dan <i>Loading Test</i>	78
4.6. Hasil Analitis Daya Dukung Program Plaxis	80
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Kesimpulan	81
5.2. Saran	82
DAFTAR PUSTAKA	83
LAMPIRAN	
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Batasan-batasan ukuran golongan tanah	7
Tabel 2.2	Hubungan nilai Indeks Plastisitas dengan jenis tanah Atterberg	10
Tabel 2.3	Korelasi N-SPT dengan Modulus Elastisitas pada tanah lempung	15
Tabel 2.4	Korelasi N-SPT dengan Modulus Elastisitas pada tanah pasir	16
Tabel 2.5	Hubungan jenis tanah, konsistensi dan poission ratio ( $\nu$ )	17
Tabel 2.6	Hubungan antar jenis tanah, angka porie, kadar air, konsistensi dengan berat isi tanah kering	18
Tabel 2.7	Hubungan dari $\Phi$ dan N dari pasir	18
Tabel 2.8	Nilai koefisien Permeabilitastanah	20
Tabel 2.9	Parameter rencana tiang untuk tanah kohesif	32
Tabel 2.10	Parameter rencana tiang untuk tanah non kohesif	34
Tabel 2.11	Faktor keamanan untuk pondasi tiang	35
Tabel 3.1	Data hasil pengeboran BH-1 (Lokasi jembatan S.Susun Rampah)	45
Tabel 3.2	Data hasil pengeboran BH-2 (Lokasi jembatan S.Susun Rampah)	45
Tabel 3.3	Data hasil pengeboran BH-3 (Lokasi jembatan S.Susun Rampah)	46
Tabel 3.4	Tabel rekapitulasi pembebanan pada pengujian <i>static loading</i>	48
Tabel 4.1	Hasil perhitungan daya dukung berdasarkan data SPT pada titik BH-1	60
Tabel 4.2	Hasil perhitungan daya dukung berdasarkan data SPT pada titik BH-2	63
Tabel 4.3	Hasil perhitungan daya dukung berdasarkan data SPT pada titik BH-3	66
Tabel 4.4	Rekapitulasi perhitungan penurunan tiang tunggal	71

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Elemen-elemen tanah	8
Gambar 2.2	Wujud fisik tanah pada konsistensi tertentu	9
Gambar 2.3	Pengujian penetrasi standar	13
Gambar 2.4	Skema urutan pengujian penetrasi standar	14
Gambar 2.5	pengelompokan pondasi	22
Gambar 2.6	Jenis-jenis tiang bor	25
Gambar 2.7	Hubungan beban-penurunan metode mazurkiewicz	28
Gambar 2.8	Hubungan beban-penurunan metode chin	29
Gambar 2.9	Hubungan beban-penurunan metode davisson	30
Gambar 2.10	Tiang ditinjau dari cara mendukung bebannya	31
Gambar 2.11	Korelasi antara $\alpha$ dan $C_u$ pada tanah lempung	33
Gambar 2.12	Faktor penurunan $I_o$	38
Gambar 2.13	Koreksi kompresi $R_k$	39
Gambar 2.14	Koreksi kedalaman $R_h$	39
Gambar 2.15	Koreksi angka poisson $R_\mu$	40
Gambar 2.16	Koreksi kekakuan lapisan pendukung $R_b$	41
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	42
Gambar 3.2	Denah lokasi Proyek pembangunan jalan tol MKTT 6	43
Gambar 3.3	Lokasi titik pengeboran BH-1, BH-2 dan BH-3	44
Gambar 3.4	Grafik siklus penurunan dengan waktu	49
Gambar 3.5	Grafik siklus pembebanan dengan waktu	49
Gambar 3.6	Kurva hubungan beban dan penurunan hasil uji beban statis	50
Gambar 3.7	Pemodelan geometri pada program analisis.	53
Gambar 3.8	Penetapan kondisi batas pada geometri.	54
Gambar 3.9	Input parameter tanah dan pemodelan Mohr-coulomb.	55
Gambar 3.10	Penyusunan jaringan <i>meshing</i> .	56
Gambar 3.11	Pemodelan penguncian geometri	56
Gambar 3.12	Tahapan perhitungan.	57
Gambar 4.1	kurva penurunan titik BH-1, BH-2 dan BH-3	72
Gambar 4.2	Interpretasi daya dukung dengan metode Mazurkiewicz (1972)	73

Gambar 4.3	Interpretasi daya dukung dengan metode Chin	74
Gambar 4.4	Interpretasi daya dukung dengan metode Davisson	75
Gambar 4.5	Penurunan dengan beban 300 ton	76
Gambar 4.6	Penurunan dengan beban 600	76
Gambar 4.7	Kurva perbandingan penurunan antara titik BH-1, BH-2 dan BH-3 dalam program Plaxis	77
Gambar 4.8	Kurva beban <i>versus</i> penurunan menggunakan program analisis	78
Gambar 4.9	Kurva perbandingan antara analitis dan program Plaxis	78
Gambar 4.10	Kurva perbandingan beban <i>versus</i> penurunan dengan metode elemen hingga dan data <i>loading test</i>	79

## DAFTAR NOTASI

$A_p$	= Luas penampang tiang
$p$	= Luas selimut tiang
SF	= Faktor keamanan
$C_u$	= Kohesif lapisan tanah yang tidak teratur
$\alpha$	= Faktor adhesi
$\Delta L$	= Kedalaman
$\sigma$	= tegangan
$E_s$	= Modulus elastisitas tana disekitar tiang
$E_p$	= Modulus elastisitas dari bahan tiang
$E_b = 10 E_s$	= modulus elastisitas tanah di dasar tiang
$D$	= Diameter tiang
$Q$	= Besar beban yang bekerja
$S$	= Besar penurunan yang terjadi
$I_o$	= Faktor pengaruh penurunan tiang yang tidak mudah mampat (incompressible) dalam massa semi tak terhingga
$R_k$	= Faktor koreksi kemudahmampatan tiang untuk $\mu = 0.35$
$R_h$	= Faktor koreksi untuk ketebalan lapisan yang terletak pada tanah keras
$R_\mu$	= Faktor koreksi angka poisson
$R_b$	= Faktor koreksi untuk kekakuan lapisan pendukung

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Perkembangan teknologi dan ekonomi saat ini mengiringi kemajuan pembangunan. Ketersediaan akan sarana infrastuktur yang ada di Indonesia sekarang ini semakin meningkat. Hal tersebut seiring dengan berjalannya waktu dan zaman yang semakin maju dan kebutuhan masyarakat yang semakin meningkat serta berkembang pesat. Dengan adanya pengadaan infrastuktur tersebut dapat menunjang kehidupan Negara Indonesia lebih maju dibandingkan dengan sebelumnya. Jalan tol juga merupakan salah satu alternatif yang digunakan untuk mengatasi kemacetan yang semakin meningkat di Indonesia.

Demi mengembangkan perekonomian di wilayah Sumatera Utara, khususnya Medan dan sekitarnya. Pemerintah pusat terus berupaya menyediakan infrastruktur untuk mendukung pusat perekonomian Sumatera Utara antara lain, Bandara Internasional Kualanamu dan Jalan Tol Medan – Kualanamu – Tebing Tinggi. Pembangunan jalan tol Trans-Sumatera dengan ruas Medan – Kualanmu – Tebing Tinggi sepanjang 61,72 kilometer ini terbagi menjadi tujuh seksi. Seksi 1 sampai seksi 6 sepanjang 52,85 kilometer yang terbentang dari Tanjung Morawa hingga Sei Rampah. Sedangkan seksi 7 terbentang dari Sei Rampah hingga Tebing Tinggi.

Dalam perencanaan suatu jembatan terdapat 2 bagian yaitu struktur atas dan struktur bawah. Pondasi merupakan salah satu struktur bangunan yang terletak pada bagian paling bawah bangunan. Keberadaan pondasi tidak dapat dipisahkan dari struktur bangunan karena pondasi berfungsi untuk meneruskan gaya-gaya atau beban yang bekerja pada struktur atas ke tanah dasar yang cukup keras. Pemilihan pondasi serta perencanaan pondasi harus dilakukan secara benar. Maka pada saat perencanaan pondasi para perencana harus menganalisa daya dukung tanah dimana pondasi akan dibangun karena pada saat pondasi diberi beban dan besar beban tersebut diteruskan pondasi ke tanah tidak boleh melampaui kekuatan tanah tersebut. Perencanaan dan pemilihan pondasi yang salah akan mengakibatkan bangunan tersebut tidak awet bahkan mengalami keruntuhan (*failure*).

Pondasi tiang bor sebagai pilihan jenis pondasi yang digunakan dalam pembangunan Jalan Tol Medan – Kualanamu – Tebinggi Tinggi ini menjadi pilihan yang tepat karena direncanakan sesuai dengan fungsi pembangunan transportasi untuk kepentingan umum dalam masa layan yang cukup lama sehingga penting diketahui dan dibahas hal-hal apa saja yang menyangkut daya dukung dan penurunannya, agar dapat dipertimbangkan nilai kegunaanya berdasarkan faktor keamanannya.

Adapun lapisan tanah mengalami pembebanan akibat beban di atasnya, maka tanah di bawah beban yang bekerja tersebut akan mengalami kenaikan tegangan, akses dari kenaikan tegangan ini adalah terjadinya penurunan elevasi tanah dasar (*settlement*). Pembebanan ini mengakibatkan adanya deformasi partikel tanah, relokasi partikel tanah, dan keluarnya air pori dari tanah yang disertai berkurangnya volume tanah. Hal inilah yang mengakibatkan terjadinya penurunan tanah. Pada umumnya tanah dalam bidang geotek, dibagi menjadi 2 jenis, yaitu tanah berbutir dan tanah kohesif. Pada tanah berbutir (*pasir/sand*), air pori dapat mengalir keluar struktur tanah dengan mudah, karena tanah berbutir memiliki permeabilitas yang tinggi. Sedangkan pada tanah kohesif (*clay*), air pori memerlukan waktu yang lama untuk mengalir keluar seluruhnya. Hal ini disebabkan karena tanah kohesif memiliki permeabilitas yang rendah.

Dan ada 2 hal penting yang perlu diperhatikan dalam penurunan konsolidasi ini, yaitu: 1. Besarnya penurunan yang terjadi, 2. Kecepatan penurunan yang terjadi (Das, 1995).

Perkembangan perangkat keras komputer mengalami perkembangan yang sangat berarti beberapa tahun ini.

Dalam dunia teknik sipil sendiri, khususnya geoteknik, dikenal program perhitungan Soil yaitu Plaxis. Plaxis adalah program elemen hingga untuk aplikasi geoteknik dimana digunakan model-model tanah untuk melakukan simulasi terhadap perilaku dari tanah. Program ini sangat membantu proses perhitungan parameter tanah, pemadatan tanah, lendutan dan lainnya pada proses perhitungan tiang bor atau tiang pancang. Berdasarkan latar belakang tersebut, maka penulis tertarik untuk meneliti studi kasus di pembangunan Jalan tol Medan – Kualanamu – Tebing Tinggi seksi 6 (Sei Rampah) Medan Sumatra Utara.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah dari penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana hasil perbandingan daya dukung tiang tunggal pada 3 titik yang berbeda dengan metode *analitis* dan elemen hingga dengan data parameter tanah (SPT)?
2. Berapa besarkah penurunan yang terjadi pada pondasi *Bored Pile* pada 3 titik yang berbeda?
3. Bagaimana hasil perbandingan penurunan pondasi *Bored Pile* dengan metode *analitis*, metode *elemen hingga* dan penurunan *Loading Test*?

## **1.3. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan penulisan Tugas Akhir ini adalah:

1. Untuk menghitung perbandingan daya dukung tiang tunggal pada 3 titik yang berbeda dengan data parameter tanah (SPT).
2. Untuk menghitung penurunan yang terjadi pada pondasi *Bored Pile* pada 3 titik yang berbeda.
3. Untuk membandingkan hasil penurunan dengan metode *analitis*, *elemen hingga* dan penurunan *Loading Test*.

## **1.4. Ruang Lingkup Pembahasan**

Pada pembangunan proyek 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, yang bertujuan 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. Hanya meninjau gaya vertikal, tidak meninjau akibat gaya horizontal (gaya lateral).

2. Hanya meninjau perencanaan tiang tunggal, tidak meninjau tiang grup (*pile cap*).
3. Hanya meninjau pada titik BH-1, BH-2 dan BH-3 pada lokasi jembatan simpang susun Sei Rampah.
4. Data tanah yang digunakan data parameter tanah (hanya data *Standard Penetration test*).
5. Untuk mengetahui kurva/grafik perbandingan penurunan digunakan pemodelan *Mohr-Coulomb* pada program komputer (Plaxis).

## **1.5. Manfaat Penelitian**

### **1.5.1. Manfaat Teoritis**

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah :

1. Penelitian ini memberikan manfaat terhadap ilmu pengetahuan khususnya dalam bidang teknik sipil.
2. Sebagai bahan referensi bagi siapa saja yang membacanya khususnya bagi para peneliti yang menghadapi masalah yang sama.
3. Dapat diperoleh gambaran analisis pengeboran tiang pada pembangunan Jalan Tol Medan Kualanamu Tebing Tinggi Seksi 6 (Sei Rampah).

### **1.5.2. Manfaat Praktis**

Dari hasil penelitian ini secara praktis dapat menyumbangkan pikiran dalam pemecahan masalah yang berkaitan dengan bangunan struktur bawah menggunakan tiang bor (*Bored Pile*).

## **1.6. Sistematika Penulisan**

Rencana sistematika penulisan tugas akhir ini terdiri dari 5 ( lima ) bab, yang diuraikan sebagai berikut:

### **BAB I PENDAHULUAN**

Menguraikan hal-hal umum yang mengenai tugas akhir seperti latar belakang, rumusan masalah, ruang lingkup, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metode penelitian, dan sistematika penulisan.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisi dasar teori, rumusan, dan segala sesuatu yang digunakan untuk menyelesaikan tugas akhir ini, yang diperoleh dari buku literatur, tulisan ilmiah, *website*, dan hasil penulisan sebelumnya.

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan rencana atau prosedur yang dilakukan penulis untuk memperoleh jawaban yang sesuai dengan kasus permasalahan.

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang uraian perhitungan daya dukung dan penurunan tiang tunggal.

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan sesuai dengan analisis terhadap penelitian dan beberapa saran untuk mengembangkan lebih lanjut dan lebih baik dimasa yang akan datang.

## 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, 2002).

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, 1995).

Dalam bukunya 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 pada tanah tersebut. Untuk menerangkan tentang tanah berdasarkan ukuran-ukuran partikelnya, beberapa organisasi telah mengembangkan batasan-batasan ukuran golongan jenis tanah (*soil-separate-size limits*).

Pada Tabel 2.1 diperlihatkan batasan-batasan ukuran golongan jenis tanah yang telah dikembangkan oleh *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), *U.S. Department of Agriculture* (USDA), *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) dan oleh *U. S. Army Corps of Engineers* dan *U. S. Bureau of Reclamation* yang kemudian menghasilkan apa yang disebut sebagai *Unified Soil Classification System* (USCS). Pada Tabel tersebut, sistem MIT diberikan hanya untuk keterangan tambahan saja. Sistem MIT ini penting artinya dalam sejarah perkembangan sistem batasan ukuran golongan jenis tanah (Tabel 2.1). Pada saat sekarang, sistem *Unified* (USCS) telah diterima di seluruh

dunia. Sistem ini sekarang telah dipakai pula oleh *American Society of Testing and Materials* (ASTM). Gambar 2.1 menunjukkan batasan-batasan ukuran dalam bentuk grafik.

Tabel 2.1: Batasan-batasan ukuran golongan tanah (Das, 1995).

Nama golongan	Ukuran Butiran (mm)			
	Kerikir	Pasir	Lanau	Lempung
Massachusetts Institute of Technology (MIT)	>2	2 – 0,06	0,06 – 0,002	<0,002
U.S. [Department of Agriculture (USDA)	>2	2 – 0,05	0,05 – 0,002	<0,002
American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)	76,2 – 2	2 – 0,075	0,075 – 0,002	<0,002
Unified Soil Classification System (U.S. Army Corps of Engineers, U. S. Bureau of Reclamation)	76,2 – 4,74	4,75 – 0,075	Halus (Yaitu lanau dan lempung) <0,0075	

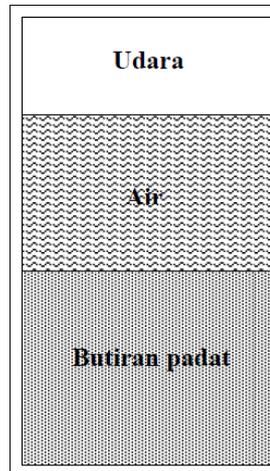
### 2.1.1. Properties Tanah

Tanah merupakan dasar sebuah konstruksi yang berperan sebagai pendukung pondasi pada sebuah konstruksi bangunan. Dalam hal ini diperlukannya tanah dalam kondisi kuat menahan beban di atasnya dan menyebarkannya merata. Dengan fungsi utama tersebut diperlukan suatu rekayasa perkuatan terhadap kondisi tanah yang ada, sehingga dihasilkan suatu nilai lebih baik secara kekuatan maupun struktural untuk meninjau stabilitasnya terhadap pembebanan.

Adapun pengukuran parameter tanah dapat dilakukan pengujian laboratorium melalui pengukuran-pengukuran mekanika tanah. Hasil dari nilai properti tanah itulah yang menjadi masukan untuk pengukuran dan analisa selanjutnya.

### 2.1.2. Komposisi Tanah

Tanah terdiri dari tiga fase elemen yaitu: butiran padat (*solid*), air dan udara. Seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.1.



Gambar 2.1: Elemen-elemen tanah (Das, 1995).

Hubungan volume yang umum dipakai untuk suatu elemen tanah adalah angka pori (*void ratio*), porositas (*porosity*), dan derajat kejenuhan (*degree of saturation*).

1. Angka Pori

Angka pori menunjukkan seberapa besar ruang kosong yang disebut pori-pori tanah terhadap ruang padat. Pori-pori inilah yang nanti akan terisi air atau butiran tanah yang lebih kecil. Nilai ini merupakan perbandingan antara volume pori ( $VV$ ) dan volume butiran padat ( $VS$ ) yang disebut angka pori ( $e$ ).

2. Porositas

Porositas didefinisikan sebagai perbandingan volume pori dan volume tanah total. Porositas ( $n$ ) ini menunjukkan seberapa besar volume pori yang ada yang dapat diukur dalam prosentase.

3. Derajat Kejenuhan

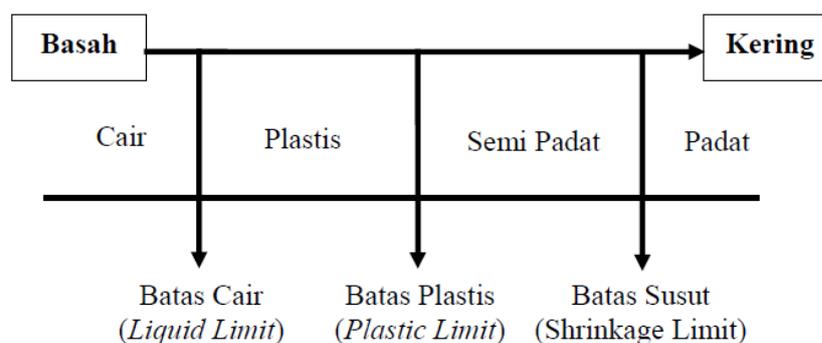
Derajat kejenuhan ( $S$ ) adalah perbandingan antara perbandingan volume air dengan volume pori.

#### 4. Kadar Air

Kadar air atau water content ( $w$ ) didefinisikan sebagai perbandingan antara berat air dan berat butiran padat dari volume tanah yang diselidiki. Pemeriksaan kadar air dapat dilakukan dengan pengujian *soil test* di laboratorium, begitu juga untuk mengukur angka pori, porositas, derajat kejenuhan dan berat jenis tanah.

#### 2.1.3. Batas Konsistensi Tanah

*Atterberg* adalah seorang ilmuwan dari Swedia yang berhasil mengembangkan suatu metode untuk menjelaskan sifat konsistensi tanah berbutir halus pada kadar air yang bervariasi, sehingga batas konsistensi tanah disebut *Atterberg Limits*. Kegunaan batas *atterberg* dalam perencanaan adalah memberikan gambaran secara garis besar akan sifat-sifat tanah yang bersangkutan. Bilamana kadar airnya sangat tinggi, campuran tanah dan air akan menjadi sangat lembek. Tanah yang batas cairnya tinggi biasanya mempunyai sifat teknik yang buruk yaitu kekuatannya rendah, sedangkan *compressibility*nya tinggi sehingga sulit dalam hal pemadatannya. Batas-batas konsistensi tanah dapat dilihat pada Gambar 2.2:



Gambar 2.2: Wujud fisik tanah pada konsistensi tertentu.

Batas antara fase-fase tanah seperti di atas disebut Batas-batas Konsistensi/ batas-batas Atterberg. Batas-batas kadar air tersebut adalah:

1. Batas cair (Liquid Limit) = LL adalah kadar air pada perbatasan dari fase tanah antara keadaan plastis – cair.

2. Batas Plastis (Plastic Limit) = PL merupakan kadar air minimum dimana tanah masih dalam keadaan plastis.
3. Batas Susut (Shrinkage Limit) = SL adalah batas kadar air dimana tanah tidak kenyang air lagi.
4. Indeks Plastisitas = Plastisitas Index = PI adalah interval kadar air dimana tanah dalam keadaan plastis.

Plastisitas Indeks (PI) menunjukkan tingkat keplastisan tanah. Apabila nilai Indeks Plastisitas tinggi, maka tanah banyak mengandung butiran lempung. Klasifikasi jenis tanah menurut *Atterberg* berdasarkan nilai Indeks Plastisitas dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2: Hubungan nilai Indeks Plastisitas dengan jenis tanah menurut *Atterberg* (Indrastono, 1995).

IP	Jenis Tanah	Plastisitas	Kohesi
0	Pasir	Non plastis	Non kohesif
< 7	Lanau	Rendah	Agak kohesif
7-17	Lempung berlanau	Sedang	Kohesif
>7	Lempung murni	Tinggi	Kohesif

## 2.2. Penyelidikan Lapangan

Dalam merencanakan sebuah pondasi sangatlah penting untuk mengetahui jenis, sifat terlebih karakteristik tanah tersebut. Juga apakah tanah tersebut dapat menahan beban yang ada di atasnya maupun dari pengaruh gaya vertical ataupun horizontal. Untuk mengetahui tentang jenis tanah tersebut dilakukan test laboratorium dan tanahnya diambil dari berbagai lapisan maupun juga pengamatan langsung dilapangan.

Dalam penulisan tugas akhir Hardianty (2016) menjelaskan tujuan dari penyelidikan tanah ini yakni:

1. Untuk menentukan kondisi alamiah dan lapisan – lapisan tanah pada lokasi yang akan ditinjau.

2. Untuk mendapatkan sampel tanah asli atau tidak terganggu (*undisturbed*) dan tidak asli atau terganggu (*disturbed*) untuk mengidentifikasi tanah tersebut secara visual dan untuk keperluan pengujian di laboratorium.
3. Untuk menentukan kedalaman tanah keras.
4. Untuk mengetahui kedalaman muka air tanah di lokasi proyek.
5. Untuk mengetahui jenis tanah pada setiap kedalaman tertentu yang diperoleh dari hasil *Standart Penetration Test* (SPT).
6. Mempelajari kemungkinan timbulnya masalah perilaku bangunan yang sudah ada di sekitar lokasi pembangunan tersebut.

Penyelidikan tanah (*soil investigation*) dibagi menjadi dua jenis yaitu:

1. Penyelidikan 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 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 *indexproperties* 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:

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. Uji Standart Penetration Test (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 komulatif pada perlawanan penetrasi tanah dan menetapkan kepadatan dari tanah yang tidak berkohesi 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).

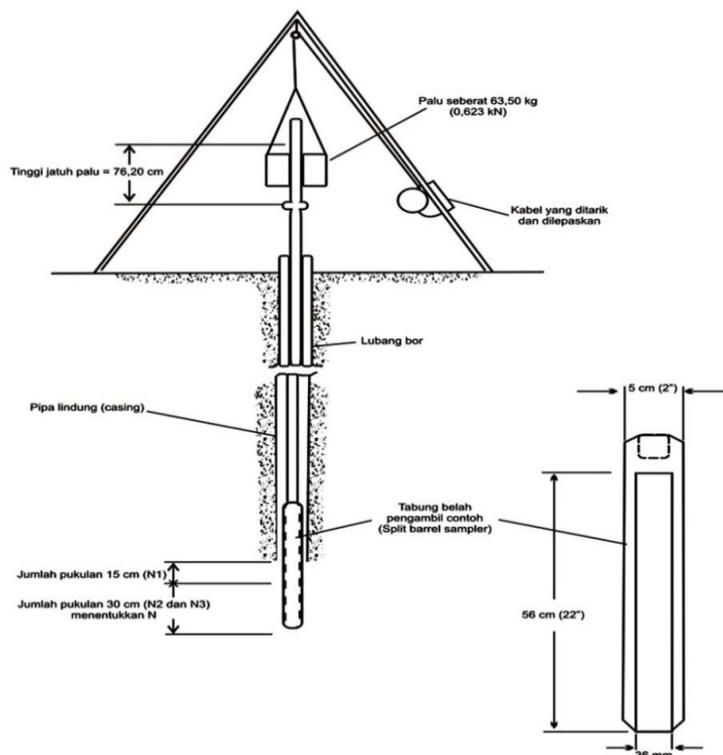
#### A. Persiapan Pengujian

Lakukan persiapan pengujian SPT di lapangan dengan tahapan sebagai berikut (Gambar 2.3):

- a. Pasang blok penahan (*knocking block*) pada pipa bor.
- b. Beri tanda pada ketinggian sekitar 75 cm pada pipa bor yang berada di atas penahan.
- c. Bersihkan lubang bor pada kedalaman yang akan dilakukan pengujian dari bekas-bekas pengeboran.
- d. Pasang split barrel sampler pada pipa bor, dan pada ujung lainnya

disambungkan dengan pipa bor yang telah dipasang blok penahan.

- e. Masukkan peralatan uji SPT ke dalam dasar lubang bor atau sampai kedalaman pengujian yang diinginkan.
- f. Beri tanda pada batang bor mulai dari muka tanah sampai ketinggian 15 cm, 30 cm dan 45 cm.



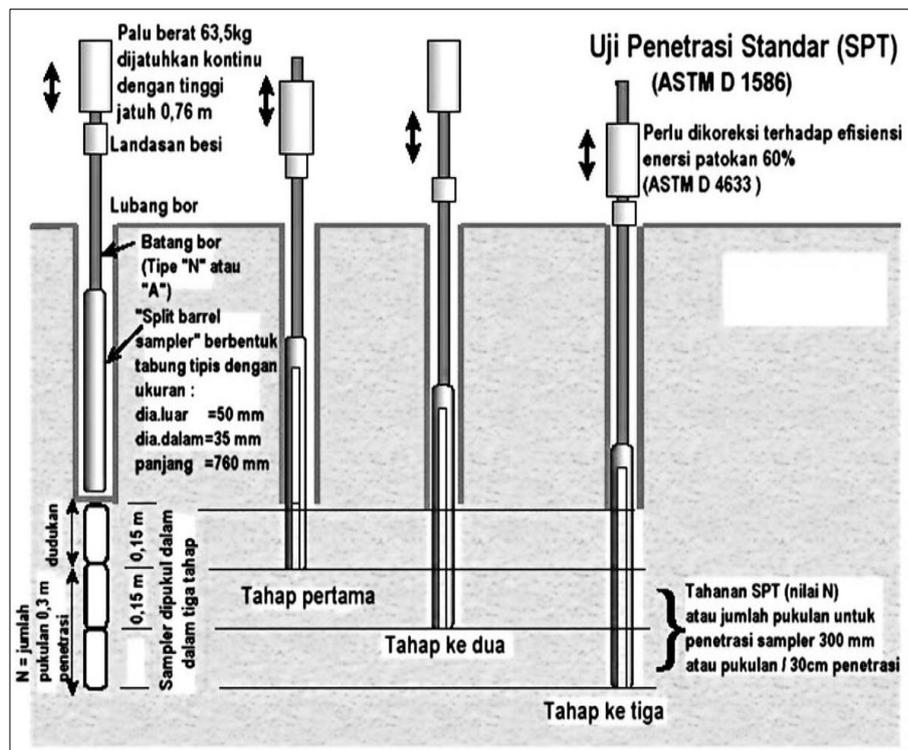
Gambar 2.3: Pengujian penetrasi standar (SPT) (SNI 4153, 2008).

## B. Prosedur Pengujian

Lakukan pengujian dengan tahapan sebagai berikut (Gambar 2.4):

- a. Lakukan pengujian pada setiap perubahan lapisan tanah atau pada interval sekitar 1,50 m s.d 2,00 m atau sesuai keperluan.
- b. Tarik tali pengikat palu (hammer) sampai pada tanda yang telah dibuat sebelumnya (kira-kira 75 cm).
- c. Lepaskan tali sehingga palu jatuh bebas menimpa penahan, ulangi 2) dan 3) berkali-kali sampai mencapai penetrasi 15 cm.
- d. Hitung jumlah pukulan atau tumbukan N pada penetrasi 15 cm yang

- pertama.
- e. Ulangi 2), 3), 4) dan 5) sampai pada penetrasi 15 cm yang ke-dua dan ke-tiga.
  - f. Catat 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.
  - g. Bila nilai N lebih besar daripada 50 pukulan, hentikan pengujian dan tambah pengujian sampai minimum 6 meter.
  - h. Catat jumlah pukulan pada setiap penetrasi 5 cm untuk jenis tanah batuan.



Gambar 2.4: Skema urutan pengujian penetrasi standar (SPT), (SNI 4153,2008).

### **2.3. Pengujian Laboratorium**

Dengan uji laboratorium, parameter kuat geser tanah pasir ( $\phi$ ) maupun lempung ( $c$ ) dapat disesuaikan atau disimulasikan dengan kondisi pekerjaan di lapangan.

#### **2.3.1. 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. Data yang didapat dari uji lapangan harus dievaluasi terlebih dahulu untuk memperoleh hasil interpretasi yang baik. 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.

##### **A. Modulus Young (E)**

Karena sulitnya pengambilan contoh asli di lapangan untuk tanah granuler maka beberapa pengujian lapangan (*in-situ-test*) telah dikerjakan untuk mengestimasi nilai modulus elastisitas tanah. Nilai perkiraan modulus elastisitas dapat diperoleh dari pengujian SPT (*Standart Penetration Test*).

Selain itu modulus elastisitas tanah dapat juga di cari dengan pendekatan terhadap jenis dan konsistensi tanah dengan N-SPT , seperti pada Tabel 2.3 dan Tabel 2.4.

Tabel 2.3: Korelasi N-SPT dengan Modulus Elastisitas pada tanah lempung (Randolph,1978).

Subsurface condition	Penetration resistance range N	E50 (%)	Poisson's Ratio ( $\nu$ )	Shear strength Su (psf)	Young's Modulus Range Es (psi)	Shear Modulus Range G (psi)
Very soft	2	0,020	0,5	250	170-340	60-110
Soft	2-4	0,020	0,5	375	260-520	80-170
Stiff	8-15	0,010	0,45	1500	1040-2080	340-690
Very stiff	15-30	0,005	0,40	3000	2080-4160	690-1390
Hard	30	0,004	0,35	4000	2890-5780	960-1930
	40	0,004	0,35	5000	3470-6940	1150-2310
	60	0,0035	0,30	7000	4860-9720	1620-3420
	80	0,0035	0,30	9000	6250-12500	2080-4160
	100	0,003	0,25	11000	7640-15270	2540-5090
	120	0,003	0,25	13000	9020-18050	3010-6020

Tabel 2.4: Korelasi N-SPT dengan modulus elastisitas pada tanah pasir (Schmertman,1970).

Subsurface condition	Penetration Resistance range (N)	Friction Angle $\phi$ (deg)	Poisson Ratio ( $\nu$ )	Cone penetration $q_c=4N$	Relative Density $D_r(\%)$	Young's Modulus Range Es (psi)	Shear Modulus Range G (psi)
Very loose	0-4	28	0,45	0-16	0-15	0-440	0-160
Loose	4-10	28-30	0,4	16-40	15-35	440-1100	160-390
Medium	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

B. Poisson's Ratio ( $\nu'$ )

Rasio poisson 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. Sementara pada program plaxis khususnya model tanah undrained  $\nu' < 0,5$ . Dalam Tabel 2.5 ditunjukkan hubungan antara jenis tanah, konsistensi dengan poisson ratio.

Tabel 2.5: Hubungan Jenis Tanah, konsistensi dan poisson ratio ( $\nu$ ), (Hardiyatmo, 1994).

Soil Type	Description	( $\nu$ )
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

C. Berat Jenis Tanah Kering ( $\gamma_{dry}$ )

Berat jenis tanah kering adalah perbandingan antara berat tanah kering dengan satuan volume tanah. Berat jenis tanah kering dapat diperoleh dari data *Soil Test* dan *Direct Shear*.

D. Berat Jenis Tanah Jenuh ( $\gamma_{sat}$ )

Berat jenis tanah jenuh adalah perbandingan antara berat tanah jenuh air dengan satuan volume tanah jenuh. Di mana ruang porinya terisi penuh oleh air. Pada Tabel 2.6 ditunjukkan hubungan antara jenis tanah, angka porie, kadar air, konsistensi dengan berat isi tanah kering.

Tabel 2.6: Hubungan antara jenis tanah, angka porie, kadar air, konsistensi dengan berat isi tanah kering (Djarmiko, 1993).

Jenis Tanah	Angka Pori	Kadar air alami dalam keadaan jenuh %	Berat isi tanah Kering $\gamma$	
			Lb/ft <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>
Pasir lepas seragam	0,80	30	92	14,50
Pasir padat seragam	0,45	16	116	18
Pasir kelanauan lepas berbutir tajam/besudut	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

#### E. Sudut Geser Dalam ( $\phi$ )

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*. Hubungan kepadatan relatif, sudut geser tanah dan nilai N dari pasir dapat dilihat pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7: Hubungan dari,  $\Phi$  dan N dari pasir (Sosrodarsono, 1983).

Nilai N	Kepadatan Relative ( $D_r$ )		Sudut Geser Dalam	
			Menurut Peck	Menurut Mayerhof
0 – 4	0,0 – 0,2	Sangat lepas	< 28,5	< 30
4 – 10	0,2 – 0,4	Lepas	28,5 – 30	30 – 35

Tabel 2.7: *Lanjutan.*

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

F. 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*. Selain itu nilai berat jenis tanah kering ( $\gamma_{dry}$ ), berat jenis tanah jenuh ( $\gamma_{sat}$ ), sudut geser ( $\phi$ ) dan kohesi (C) dapat juga di peroleh dari program *Allpile* dengan memasukkan nilai N-SPT.

G. Sudut Dilatasi ( $\Psi$ )

Sudut dilatasi adalah sudut yang dibentuk bidang horizontal dengan arah pengembangan butiran pada saat butiran menerima tegangan deviatorik. Dilatasi merupakan fenomena yang terjadi pada pasir padat dan *over-consolidated clay* dimana pada saat dibebani (mengalami gaya geser) struktur tanah mengalami pengembangan volume (pertambahan volume) Tanah lempung normal konsolidasi tidak memiliki sudut dilatasi, tetapi pada tanah pasir, besar sudut ini tergantung pada kepadatan relatif (Dr) dan sudut geser dalamnya yang dinyatakan dengan Pers tersebut.

$$\Psi = \phi - 30^\circ \quad (2.1)$$

#### H. Permeabilitas (k)

*Permeabilitas* adalah kecepatan masuknya air pada tanah dalam keadaan jenuh. Penetapan *permeabilitas* dalam tanah baik vertial maupun horizontal sangat penting peranannya dalam pengelolaan tanah dan air.

Ada empat macam pengujian untuk menentukan koefisien *permeabilitas* dilaboratorium, yaitu:

1. Uji tinggi energi tetap (*Constant – Head*).
2. Uji tinggi energi turun (*failing – Head*).
3. Penentuan secara tidak langsung dari uji konsolidasi.
4. Penentuan secara tidak langsung dari uji kapiler horizontal.

Nilai koefisien *permeabilitas* tanah dapat ditentukan berdasarkan jenis tanah tersebut seperti pada Tabel 2.8:

Tabel 2.8: Nilai koefisien *permeabilitas* tanah (Das,1995).

Jenis tanah	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
Lepung	< 0.000001	< 0.000002

#### 2.4. Pondasi

Pondasi adalah suatu konstruksi pada bagian dasar struktur/bangunan (*sub-structure*) yang berfungsi meneruskan beban dari bagian atas struktur/bangunan (*upper-structure*) ke lapisan tanah yang berada dibagian bawahnya tanpa mengakibatkan keruntuhan geser dan penurunan (*settlement*) tanah/pondasi yang berlebihan.

Untuk tujuan itu, pondasi bangunan harus diperhitungkan agar dapat menjamin kestabilan bangunan terhadap berat sendiri, beban-beban berguna dan gaya-gaya luar seperti tekanan angin, gempa bumi dan lain-lain, dan tidak boleh terjadi penurunan pondasi setempat ataupun penurunan pondasi yang merata lebih dari batas tertentu.

Kegagalan fungsi pondasi dapat disebabkan karena "*base shear failure*" atau penurunan yang berlebihan, dan sebagai akibatnya dapat timbul kerusakan struktural pada kerangka bangunan atau kerusakan lain seperti tembok retak, lantai ubin pecah dan pintu jendela yang sukar dibuka.

Agar dapat dihindari kegagalan fungsi pondasi, maka pondasi bangunan harus diletakkan pada lapisan tanah yang cukup keras/padat serta kuat mendukung beban bangunan tanpa timbul penurunan yang berlebihan, dan untuk mengetahui letak/kedalaman lapisan tanah padat dengan daya dukung yang cukup besar, maka perlu dilakukan penyelidikan tanah.

Adapun pondasi dikelompokkan ke dalam dua bagian, yaitu:

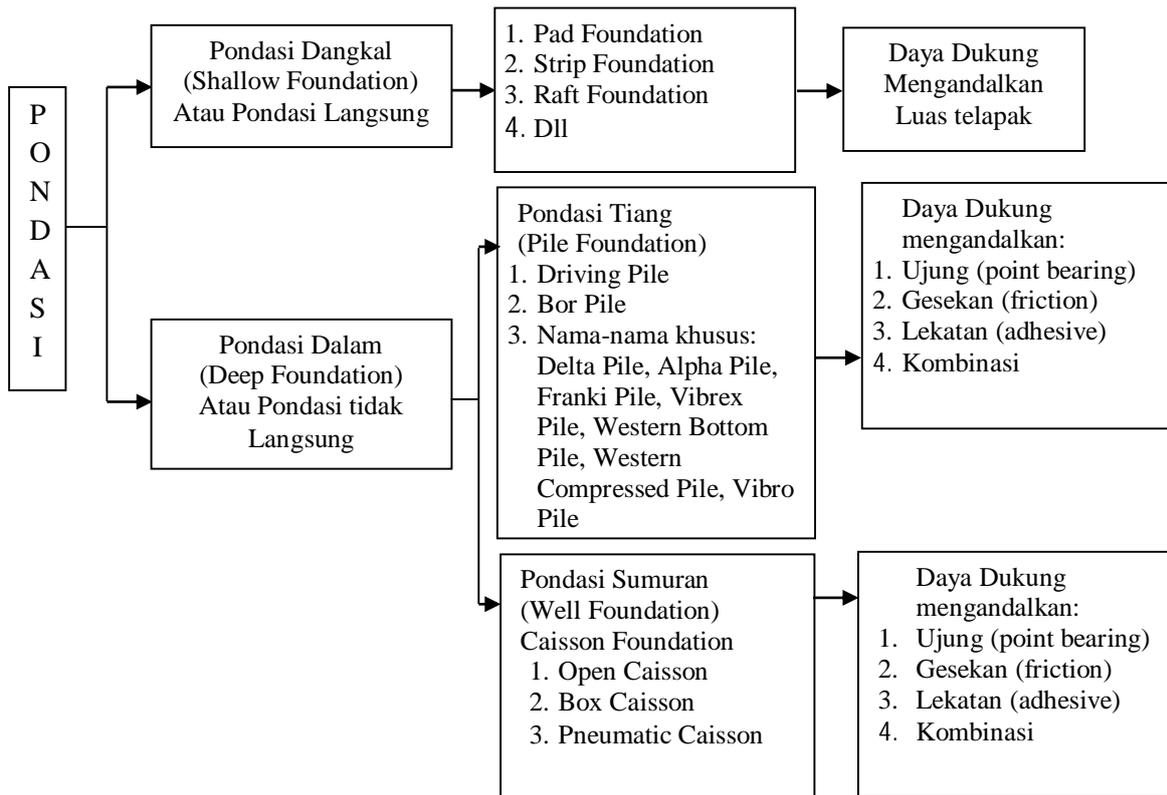
1. Pondasi Dangkal (*Shallow Foundation*)

Terletak pada kedalaman yang dangkal, umumnya kedalaman pondasi dangkal lebih kecil dari panjang atau lebar pondasi. Pondasi dangkal dengan jenis pondasi telapak, pondasi rakit, dan lain-lain. (Bowles, 1997).

2. Pondasi Dalam (*Deep Foundation*)

Merupakan pondasi yang dipergunakan untuk meneruskan beban ke lapisan tanah yang mampu memikulnya dan letaknya cukup dalam. Pondasi dalam dengan jenis pondasi *bored pile*, tiang pancang, dan lain-lain (Bowles, 1997).

Untuk lebih jelas mengenai jenis-jenis pondasi, dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.5: Pengelompokan pondasi (Raphl, 1973).

Adapun sebuah pondasi harus mampu memenuhi beberapa persyaratan stabilitas dan deformasi (Bowles, 1997), seperti:

1. Kedalaman harus memadai untuk menghindarkan pergerakan tanah lateral dari bawah pondasi khusus untuk pondasi tapak dan pondasi rakit.
2. Kedalaman harus berada di bawah daerah perubahan volume musiman yang disebabkan oleh pembekuan, pencairan, dan pertumbuhan tanaman.
3. Sistem harus aman terhadap penggulingan, rotasi, penggelinciran atau pergeseran tanah.
4. Sistem harus aman terhadap korosi atau kerusakan yang disebabkan oleh bahan berbahaya yang terdapat di dalam tanah.
5. Sistem harus cukup mampu beradaptasi terhadap beberapa perubahan geometri konstruksi atau lapangan selama proses pelaksanaan dan mudah dimodifikasi seandainya perubahan perlu dilakukan.
6. Metode pemasangan pondasi harus seekonomis mungkin.

7. Pergerakan tanah keseluruhan (umumnya penurunan) dan pergerakan diferensial harus dapat ditolerir oleh elemen pondasi dan elemen bangunan atas.
8. Pondasi dan konstruksinya harus memenuhi syarat standar untuk perlindungan lingkungan.

### **2.5.1. Pondasi Tiang**

Pondasi tiang adalah suatu konstruksi pondasi yang mampu menahan gaya vertikal ke sumbu tiang dengan cara menyerap lenturan. Pondasi tiang dibuat menjadi suatu kesatuan yang monolit dengan menyatukan pangkal tiang yang terdapat di bawah konstruksi dengan tumpuan pondasi. Pondasi tiang digunakan untuk suatu bangunan yang tanah dasar di bawah bangunan tersebut tidak mempunyai daya dukung (*bearing capacity*) yang cukup untuk memikul beban berat bangunan dan beban yang diterimanya atau apabila tanah pendukung yang mempunyai daya dukung yang cukup letaknya sangat dalam. Pondasi tiang ini berfungsi untuk menyalurkan beban-beban yang diterimanya dari konstruksi di atasnya ke lapisan tanah dalam yang mampu memikul berat bangun tersebut.

Teknik pemasangan pondasi tiang ini dapat dilakukan dengan pemancangan tiang baja/beton pracetak atau dengan membuat tiang beton bertulang yang langsung dicor di tempat (*cast in place*), yang sebelumnya telah dibuatkan lubang terlebih dahulu, pondasi ini disebut dengan pondasi *bore pile*. Pada umumnya pondasi tiang ditempatkan tegak lurus (vertikal) di dalam tanah, tetapi apabila diperlukan dapat dibuat miring agar dapat menahan gaya-gaya horizontal. Sudut kemiringan yang dicapai tergantung dari alat yang digunakan serta disesuaikan dengan perencanaan.

Adapun pondasi tiang digunakan untuk beberapa maksud, antara lain:

- A. Untuk meneruskan beban bangunan yang terletak di atas air atau tanah lunak ke tanah pendukung yang kuat.
- B. Untuk meneruskan beban ke tanah yang relatif lunak sampai kedalaman tertentu sehingga pondasi bangunan mampu memberikan dukungan yang cukup untuk mendukung beban tersebut oleh gesekan dinding tiang dengan tanah disekitarnya.

- C. Untuk mengangkut bangunan yang dipengaruhi oleh gaya angkat ke atas akibat tekanan hidrostatis atau momen penggulingan.
- D. Untuk menahan gaya-gaya horizontal dan gaya yang arahnya miring.
- E. Untuk memadatkan tanah pasir, sehingga kapasitas dukung tanah tersebut bertambah.
- F. Mendukung pondasi bangunan yang permukaan tanahnya mudah tergerus air.

### **2.5.2. Penggolongan Pondasi Tiang**

Adapun Pondasi tiang dapat dibagi menjadi 3 kategori, sebagai berikut:

#### **A. Tiang perpindahan besar (*Large Displacement Pile*)**

Tiang perpindahan besar, yaitu tiang pejal atau berlubang dengan ujung tertutup yang dipancang ke dalam tanah sehingga terjadi perpindahan volume tanah yang relative besar. Termasuk dalam tiang perpindahan besar adalah tiang kayu, tiang beton pejal, tiang beton prategang (pejal atau berlubang), tiang baja bulat (tertutup pada ujungnya).

#### **B. Tiang perpindahan kecil (*Small Displacement Pile*)**

Tiang perpindahan kecil, adalah sama seperti tiang kategori pertama hanya volume tanah yang dipindahkan saat pemancangan relative kecil, contohnya: tiang beton berlubang dengan ujung terbuka, tiang beton prategang berlubang dengan ujung terbuka, tiang baja H, tiang baja bulat ujung terbuka, dan tiang ulir.

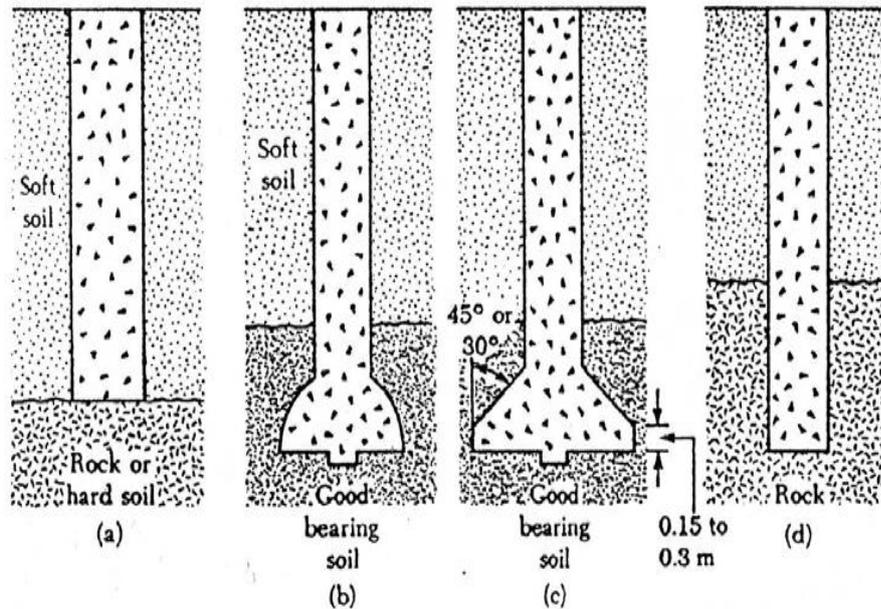
#### **C. Tiang tanpa perpindahan (*Non Displacement Pile*)**

Tiang tanpa perpindahan, terdiri dari tiang yang dipasang di dalam tanah dengan cara menggali atau mengebor tanah. Termasuk dalam tiang tanpa perpindahan adalah *bore pile*, yaitu tiang beton yang pengecorannya langsung di dalam lubang hasil pengeboran tanah (pipa baja diletakkan di dalam lubang dan dicor beton) (Hardiyatmo, 2002).

### **2.5. Pondasi Tiang Bor (*Bored Pile*)**

Tiang bor dipasang ke dalam tanah dengan cara mengebor tanah terlebih dahulu, baru kemudian diisi tulangan dan dicor beton. Tiang bor biasanya dipakai pada tanah yang stabil dan kaku, sehingga memungkinkan untuk membentuk

lubang yang stabil dengan alat bor. Jika tanah mengandung air, pipa besi dibutuhkan untuk menahan dinding lubang dan pipa ini ditarik ke atas pada waktu pengecoran. Pada tanah yang keras atau batuan lunak, dasar tiang dapat dibesarkan untuk menambah tahanan dukung ujung tiang, adapun berbagai jenis pondasi tiang bor dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6: Jenis-jenis tiang bor (Das, 1995).

Adapun beberapa alasan yang digunakan pada pondasi tiang bor (*Bored pile*) dalam konstruksi, yaitu:

1. Tiang bor tunggal dapat digunakan pada tiang kelompok atau *pile cap*.
2. Kedalaman tiang dapat divariasikan.
3. Tiang bor dapat dikerjakan sebelum penyelesaian tahapan selanjutnya dalam konstruksi.
4. Proses pengerjaan tiang bor dapat menghindari kerusakan bangunan yang ada disekitarnya.
5. Pada pondasi tiang pancang, proses pemancangan pada tanah lempung akan membuat tanah bergelombang dan menyebabkan tiang pancang sebelumnya bergerak ke samping dan menimbulkan suara serta getaran. Hal ini tidak terjadi pada konstruksi tiang bor.

6. Karena dasar dari tiang bor dapat diperbesar, hal ini memberikan ketahanan yang besar untuk daya dukung.

7. Pondasi tiang bor mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap beban lateral.

Adapun beberapa kelemahan dari pondasi tiang bor:

1. Keadaan cuaca yang buruk dapat mempersulit pengeboran dan pembetonan.
2. Pengeboran dapat mengakibatkan gangguan kepadatan, bila tanah berupa pasir atau tanah kerikil.
3. Pengecoran beton sulit apabila dipengaruhi air tanah karena mutu beton tidak dapat dikontrol dengan baik.
4. Pembesaran ujung bawah tiang dapat dilakukan bila tanah berupa pasir.
5. Air yang mengalir ke dalam lubang bor dapat mengakibatkan gangguan tanah, sehingga mengurangi kapasitas dukung tanah terhadap tiang bor.
6. Akan terjadi tanah runtuh (*ground loss*) jika tindakan pencegahan tidak dilakukan.
7. Karena diameter tiang relatif besar dan memerlukan banyak beton, untuk proyek pekerjaan kecil dapat mengakibatkan biaya yang melonjak.
8. Walaupun penetrasi sampai ke tanah pendukung pondasi dianggap telah terpenuhi, terkadang terjadi tiang pendukung kurang sempurna karena adanya lumpur yang tertimbun di dasar tiang.

Ada tiga metode pelaksanaan pondasi *bored pile* yaitu:

1. Metode Kering
2. Metode Basah, dan
3. Metode *Casing*

Dalam pembangunan jalan tol Medan – Kualanamu – Tebing Tinggi seksi 6 dalam pelaksanaan pekerjaan pondasi *bored pile* menggunakan metode *casing*, karena metode tersebut dapat digunakan disegala cuaca pada musim kemarau ataupun musim hujan. Menggunakan metode *casing* meminimalkan terjadinya kelongsoran pada saat pekerjaan jika terjadinya musim hujan.

## 2.6. Uji Pembebanan Statik (*Static Loading Test*)

### 1. Cara Uji Pembebanan Tiang

Dalam praktek biasanya dilakukan dua cara uji pembebanan tiang, yaitu:

#### 1. *Test Pile*

1. Desain awal tiang dilakukan berdasarkan data penyelidikan tanah.
2. Uji pembebanan tiang dilakukan untuk desain akhir.
3. Uji pembebanan dilakukan hingga tiang mengalami keruntuhan.

#### 2. *Test On Working Pile*

1. Dilakukan apabila sudah ada pengalaman desain sebelumnya.
2. Dilakukan secara acak terhadap pondasi tiang untuk mengetahui kapasitas desain pondasi tiang.

### 2. Peralatan Pembebanan

1. *Hydraulic Jack*
2. *Pressure Gauge*
3. *Reference Beam*
4. *Dial Gauge*

### 3. Interpretasi Hasil Uji Pembebanan

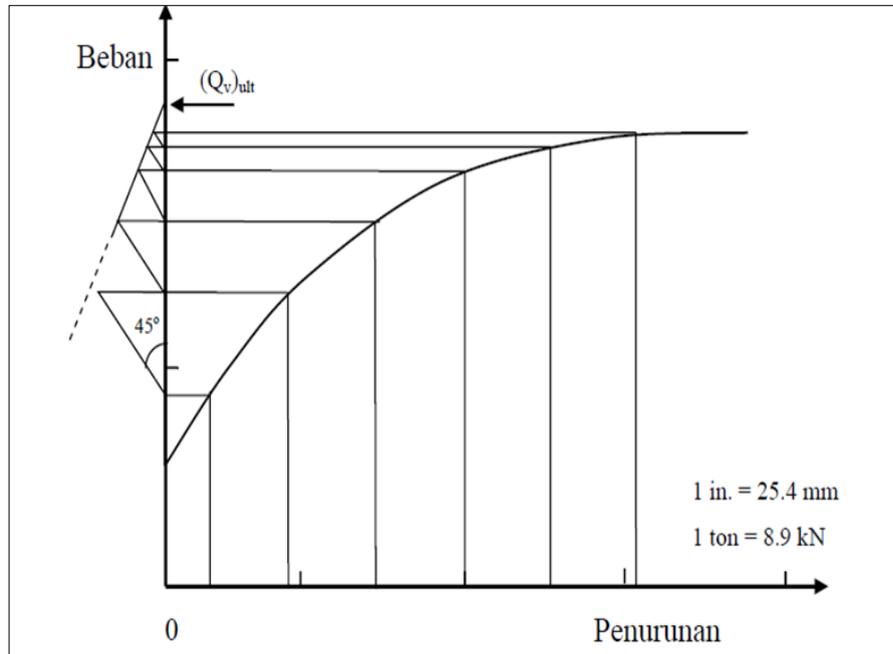
Adapun metode yang digunakan untuk menginterpretasikan data hasil uji pengujian adalah sebagai berikut:

#### 1. Metode Mazurkiewicz (1972)

Prosedur untuk menentukan beban ultimit menggunakan metode ini adalah sebagai berikut (Gambar 2.7):

1. Plot kurva beban–penurunan.
2. Pilih sejumlah penurunan dan gambarkan garis verikal yang memotong kurva. Kemudian gambar garis horizontal dari titik perpotongan ini pada kurva sampai memotong sumbu beban.
3. Dari perpotongan masing-masing kurva, gambar garis 45° sampai memotong garis beban selanjutnya.

4. Perpotongan ini jatuh kira-kira pada garis lurus. Titik yang didapat oleh perpotongan dari perpanjangan garis ini pada sumbu vertikal beban adalah beban ultimit



Gambar 2.7: Hubungan beban - penurunan Metode Mazurkiewicz (1972).

## 2. Metode Chin

Dasar dari teori ini, diantaranya sebagai berikut:

1. Kurva *load-settlement* digambar dalam kaitannya dengan  $S/Q$ , dimana:
 
$$S/Q = C1 \cdot S + C2 \quad (2.2)$$
2. Kegagalan beban ( $Q_f$ ) atau beban terakhir ( $Q_{ult}$ ) digambarkan sebagai:
 
$$Q_{ult} = 1/C1 \quad (2.3)$$

Dimana :

$S$  : *settlement*

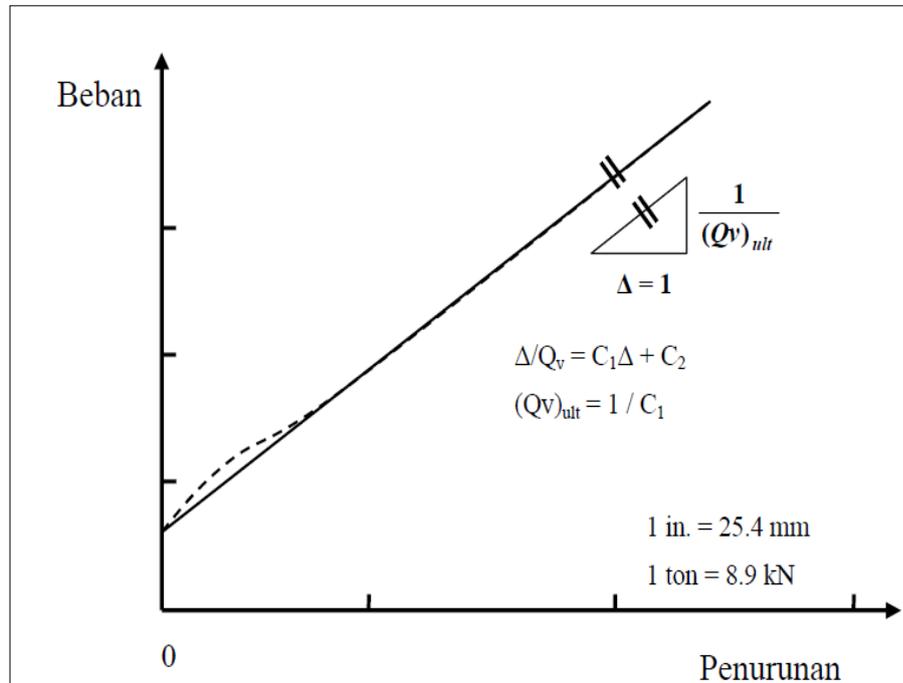
$Q$  : penambahan beban

$C1$  : kemiringan garis lurus

Prosedur untuk menentukan beban ultimit menggunakan metode ini adalah sebagai berikut:

1. Plot kurva antara rasio beban terhadap penurunan ( $S/Q$ ).
2. Diperoleh persamaan garis tersebut adalah  $S/Q = C1 \cdot S + C2$ .
3.  $C1$  dihitung dari persamaan garis atau dari gradien/kemiringan.

4. Beban ultimit adalah  $1/C_1$ . Metode ini biasanya menghasilkan beban ultimit beban yang terlalu tinggi sehingga harus dikoreksi (1.2 – 1.4).



Gambar 2.8: Hubungan beban - penurunan Metode Chin.

### 3. Metode Davisson (1972)

Prosedur yang digunakan untuk mendapatkan beban runtuh (ultimit) menurut metode ini adalah sebagai berikut (Gambar 2.9):

1. Gambarkan kurva beban – penurunan.
2. Tentukan penurunan elastic,

$$\Delta = (Q_v a) L / AE \quad (2.4)$$

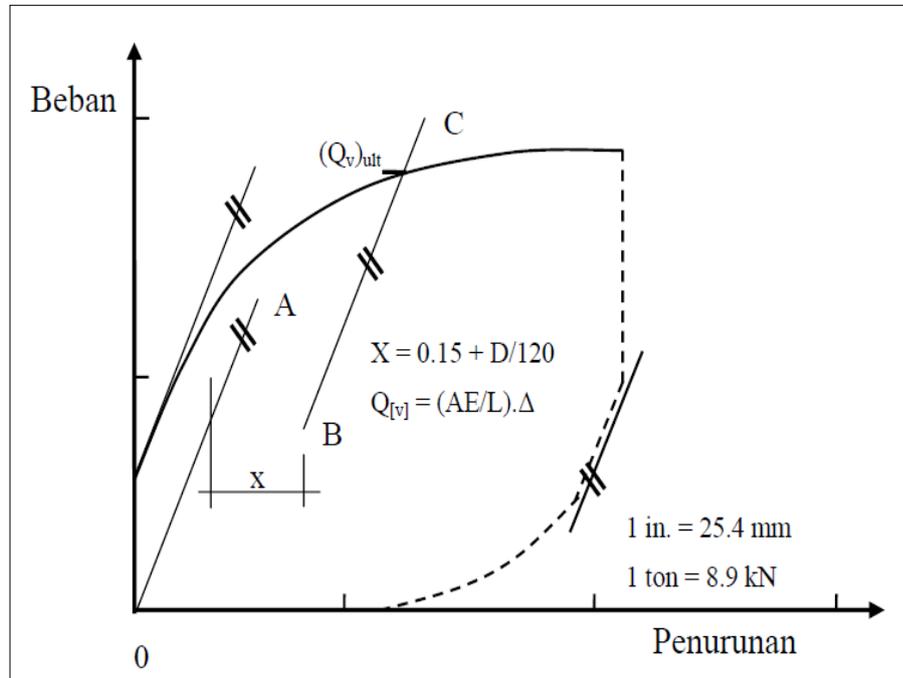
dari tiang dimana  $Q_v a$  adalah beban yang digunakan,  $L$  adalah panjang tiang,  $A$  adalah luas potongan melintang tiang dan  $E$  adalah modulus elastisitas tiang.

3. Gambarkan sebuah garis OA berdasarkan persamaan diatas.
4. Gambarkan sebuah garis BC yang sejajar dengan OA pada jarak sejauh  $x$ , dimana  $x$  adalah:

$$x = 0,15 + D / 120 \text{ (inchi)} \quad (2.5)$$

$D$  = diameter tiang dalam satuan inchi

5. Beban runtuh ditentukan dari perpotongan garis BC pada kurva beban - penurunan.



Gambar 2.9: Hubungan beban - penurunan Metode Davisson (1972).

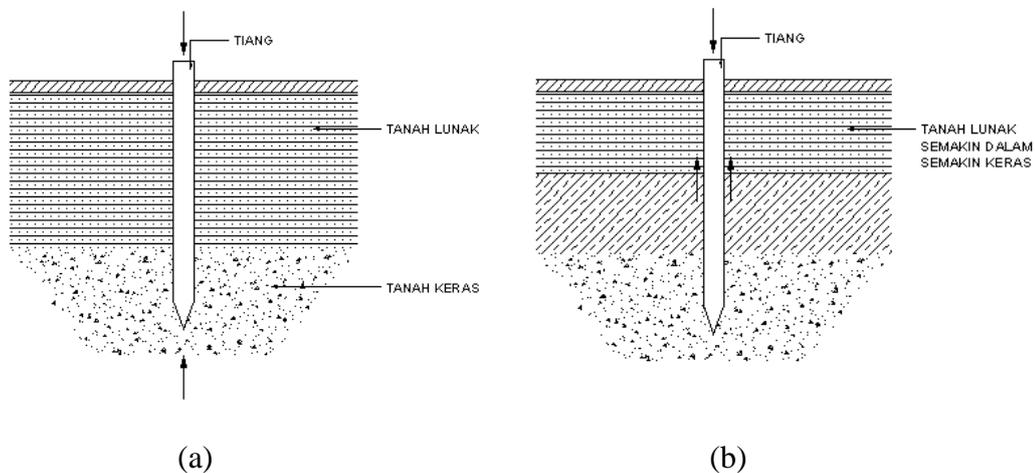
## 2.8. Kapasitas Daya Dukung

### 2.8.1. 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 zona 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 2.12a).
2. Tiang gesek (*friction pile*) adalah tiang yang kapasitas dukungnya lebih ditentukan oleh perlawanan gesek antara dinding tiang dan tanah

disekitarnya.(Gambar 2.10b). Tahanan gesek dan pengaruh konsolidasi lapisan tanah dibawahnya diperhitungkan pada hitungan kapasitas tiang.



Gambar 2.10: Tiang ditinjau dari cara mendukung bebannya (Hardiyatmo, 2002).

### 2.8.2. Dari Data *Standard Penetratoin Test* (SPT)

*Standard Penetration Test* (SPT) adalah sejenis percobaan dinamis dengan memasukkan suatu alat yang dinamakan *split spoon* kedalam tanah. Dengan percobaan ini akan diperoleh kepadatan relatif (*relative density*), sudut geser tanah ( $\Phi$ ) berdasarkan nilai jumlah pukulan (N).

### 2.8.3. Dari Data Parameter Tanah (Laboratorium)

Adapun perkiraan kapasitas daya dukung pondasi tiang pada tanah kohesi dan non kohesi didasarkan pada data uji laboratorium, O'Neill and Reese (1999) mengusulkan persamaan untuk menghitung tahanan ujung tiang ditentukan dengan perumusan sebagai berikut:

1. Kekuatan ujung tiang (*end bearing*) dan kekuatan lekatan (*skin friction*) pada tanah kohesif (O'Neill and Reese, 1999) ditunjukkan dalam Pers. 2.6 dan 2.7.

Kekuatan ujung tiang:

$$q_b = A_p \cdot N_c \cdot C_u \quad (2.6)$$

Tahanan geser selimut tiang:

$$q_s = \alpha \cdot C_u \cdot p \cdot \Delta L \quad (2.7)$$

Dimana:

$p$  = Keliling

$C_u$  = Kohesif lapisan tanah yang tidak teratur

$\alpha$  = Faktor adhesi

$\Delta L$  = Kedalaman

Hubungan nilai pendekatan untuk mendapatkan nilai  $C_u$  berdasarkan nilai SPT dapat dilihat pada Tabel 2.9.

Tabel 2.9: Parameter rencana tiang untuk tanah kohesip (BMS Panduan perencanaan Teknik Jembatan, 1992).

Kondisi Tanah Kohesip		Nilai "N"	Kuat Geser Undrained rata-rata nominal, $C_u$ kPa	Koeffisien terganggu "fe"
Konsistensi				
Sangat lembek	Hilang antara jari tangan	0 – 2	0 - 10	1.0
Lembek	Mudah dibentuk dengan jari	2 – 4	10 - 25	1.0
Teguh	Dapat dibentuk dengan jari dan tekanan kuat	4 – 8	25 – 45	1.0
			45 - 50	1.0 – 0.95
Kenyal	Tidak dapat dibentuk dengan jari	8 – 15	50 - 60	0.95 – 0.8
			60 – 80	0.8 – 0.65
			80 - 100	0.65 – 0.55
Sangat kenyal	Getas atau tahan	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
Keras	Keras	>30	>200	0.34

Adapun Persamaan Untuk mencari nilai  $\alpha$ :

$$\alpha = 0,55 \rightarrow \text{for } \frac{C_u}{P_a} \leq 1,5$$

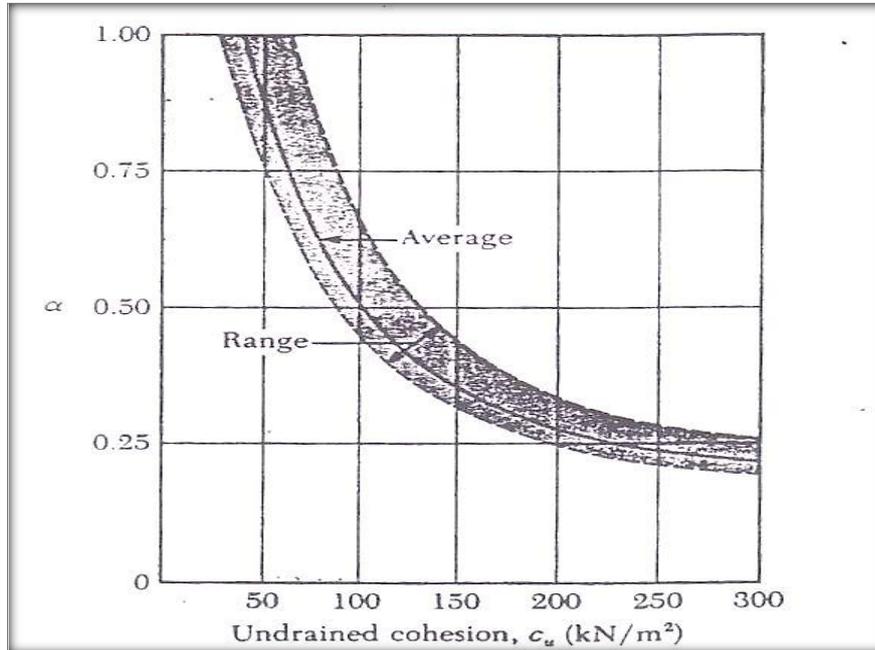
$$0,55 - 0,1 \cdot \left( \frac{C_u}{P_a} - 1,5 \right) \rightarrow \text{for } 1,5 < \frac{C_u}{P_a} \leq 2,5 \quad (2.8)$$

Luas selimut tiang:

$$p = \pi \cdot d \quad (2.9)$$

Luas penampang tiang:

$$A_p = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \quad (2.10)$$



Gambar 2.11: Korelasi antara  $\alpha$  dengan  $C_u$  pada tanah lempung (*cohesion undrained*).

2. Kekuatan ujung tiang (*end bearing*) dan kekuatan lekatan (*skin friction*) pada tanah non kohesif (O'Neill and Reese, 1999) ditunjukkan dalam Pers. 2.12 dan 2.13.

Kekuatan ujung tiang:

$$Q_b = q_p \cdot a_p \quad (2.11)$$

Adapun persamaan untuk mencari nilai  $q_p$ :

$$q_p = 57,5 \cdot N_{spt} \quad (2.12)$$

Tahanan geser selimut tiang:

$$q_s = \sum f \cdot p \cdot \Delta L \quad (2.13)$$

Adapun persamaan untuk mencari nilai  $f$

$$f = \beta \cdot \sigma \quad (2.14)$$

Dimana:

$\beta$  = faktor adhesi

$\sigma$  = tegangan

Tabel 2.10: Parameter rencana tiang untuk tanah non kohesif.

Kondisi Tanah		Batas kedalaman /diameter tiang	$F_t$		$N_q$	
Konsistensi	N-SPT		Tiang Pancang	Tiang Bor	Tiang Pancang	Tiang Bor
Lepas	0-10	6	0,8	0,3	60	25
Sedang	10-30	8	1,0	0,5	100	60
Padat	30-50	15	1,5	0,8	180	100

## 2.9. 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. 2.15 dan 2.16:

$$Q_a = \frac{Q_u}{FK} \quad (2.15)$$

$$Q_a = \frac{Q_p}{FK_{ujung}} + \frac{Q_s}{FK_{selimut}} \quad (2.16)$$

Penentuan faktor keamanan tergantung pada beberapa faktor, antara lain adalah sebagai berikut:

1. Jenis dan kepentingan struktur.
2. Variasi kondisi tanah.
3. Tingkat kehandalan penyelidikan geoteknik.
4. Ketersediaan data uji pembebanan didekat lokasi.
5. Tingkat pengawasan dan pengendalian mutu pekerjaan pondasi.
6. Probabilitas beban rencana yang akan terjadi sepanjang masa bangunan.

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, bahkan mungkin hanya beberapa saat saja selama masa konstruksi.

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 2.11).
2. Pengendalian normal: Situasi yang paling umum, hampir serupa dengan kondisi diatas, tetapi kondisi tanah bervariasi dan tidak tersedia data pengujian tanah (Tabel 2.11).
3. Pengendalian kurang: Tidak ada uji pembebanan, kondisi tanah sulit dan bervariasi, pengawasan pekerjaan kurang, tetapi pengujian geoteknik dilakukan dengan baik (Tabel 2.11).
4. Pengendalian buruk: Kondisi tanah amat buruk dan sukar ditentukan, penyelidikan geoteknik tidak memadai (Tabel 2.11).

Tabel 2.11: Faktor keamanan untuk pondasi tiang (Reese & O'Neil, 1989; Pugsley, 1966).

Klasifikasi struktur bangunan	Bangunan monumental	Bangunan permanen	Bangunan sementara
Probabilitas kegagalan yang dapat diterima	10-3	10-4	10-3
FK (Pengendalian baik)	2.3	2.0	1.4
FK (Pengendalian normal)	3.0	2.5	2.0
Klasifikasi struktur bangunan	Bangunan monumental	Bangunan permanen	Bangunan sementara
FK (Pengendalian kurang)	3.5	2.8	2.3
FK (Pengendalian buruk)	4.0	3.4	2.8

Untuk beban aksial tarik dianjurkan menggunakan faktor keamanan yang lebih tinggi daripada kondisi beban aksial tekan karena keruntuhan akibat beban tarik umumnya bersifat tiba-tiba. Karena itu dianjurkan untuk menggunakan faktor keamanan sebesar 1.5 kali dari nilai yang diberikan dalam Tabel 2.11.

## 2.10. Penurunan Tiang Tunggal (*Settlement*)

Terdapat dua hal yang perlu diketahui mengenai penurunan, yaitu:

- a. Besarnya penurunan yang akan terjadi.
- b. Kecepatan penurunan.

Istilah penurunan (*settlement*) digunakan untuk menunjukkan gerakan titik tertentu pada bangunan terhadap titik referensi yang tetap. Umumnya, penurunan yang tidak seragam lebih membahayakan bangunan dari pada penurunan totalnya. Selain dari kegagalan daya dukung (*bearing capacity failure*) tanah, setiap proses penggalian selalu dihubungkan dengan perubahan keadaan tegangan di dalam tanah. Perubahan tegangan pasti akan disertai dengan perubahan bentuk, umumnya ini yang menyebabkan penurunan pada pondasi.

Menurut Poulos dan Davis (1980), penurunan jangka panjang untuk pondasi tunggal tidak perlu ditinjau karena penurunan tiang akibat konsolidasi dari tanah relatif kecil. Hal ini disebabkan karena pondasi tiang direncanakan terhadap dukung ujung dan kuat dukung friksinya atau penjumlahan dari kedua nya.

Perkiraan penurunan tiang tunggal dapat dihitung berdasarkan Persamaan di bawah ini:

- a. Untuk tiang apung atau friksi

$$S = \frac{Q \cdot l}{E_s \cdot D} \quad (2.17)$$

Dimana:

$$l = l_o \cdot R_k \cdot R_h \cdot R_v$$

- b. Untuk tiang dukung ujung

$$S = \frac{Q \cdot l}{E_s \cdot D} \quad (2.18)$$

Dimana:

$$I = I_o \cdot R_k \cdot R_b \cdot R_v$$

Keterangan:

S = Besar penurunan yang terjadi

Q = Besar beban yang bekerja

D = Diameter tiang

Es = Modulus elastisitas tana disekitar tiang

Io = Faktor pengaruh penurunan tiang yang tidak mudah mampat (incompressible) dalam massa semi tak terhingga

R<sub>k</sub> = Faktor koreksi kemudahmampatan tiang untuk  $\mu = 0.35$

R<sub>h</sub> = Faktor koreksi untuk ketebalan lapisan yang terletak pada tanah keras

R<sub>μ</sub> = Faktor koreksi angka poisson

R<sub>b</sub> = Faktor koreksi untuk kekakuan lapisan pendukung

H = Kedalaman

K adalah suatu ukuran kompressibilitas relatif dari tiang dan tanah yang dinyatakan oleh Persamaan:

$$K = \frac{E_p \cdot R_A}{E_s} \quad (2.19)$$

Dimana R<sub>A</sub> dihitung dengan Pers.

$$R_A = \frac{A_p}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2} \quad (2.20)$$

Keterangan:

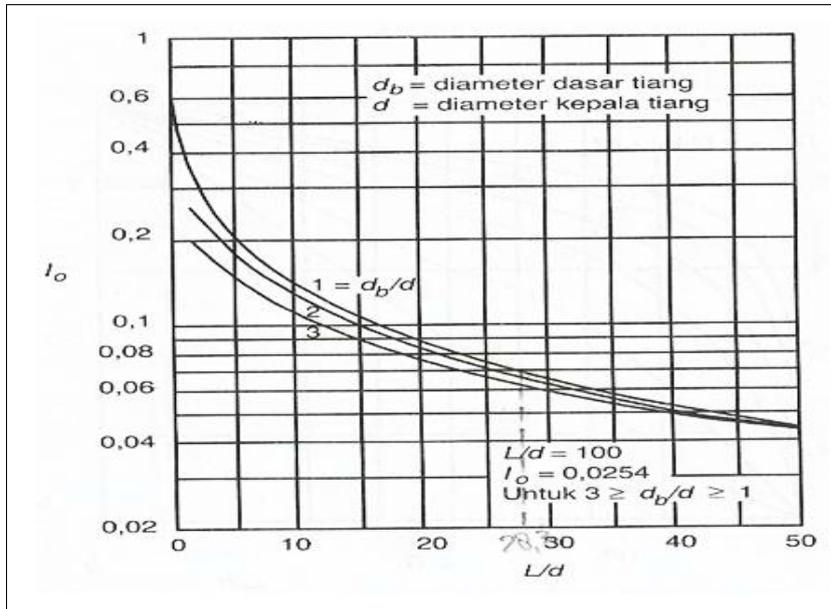
K = faktor kekakuan tiang

E<sub>p</sub> = modulus elastisitas dari bahan tiang

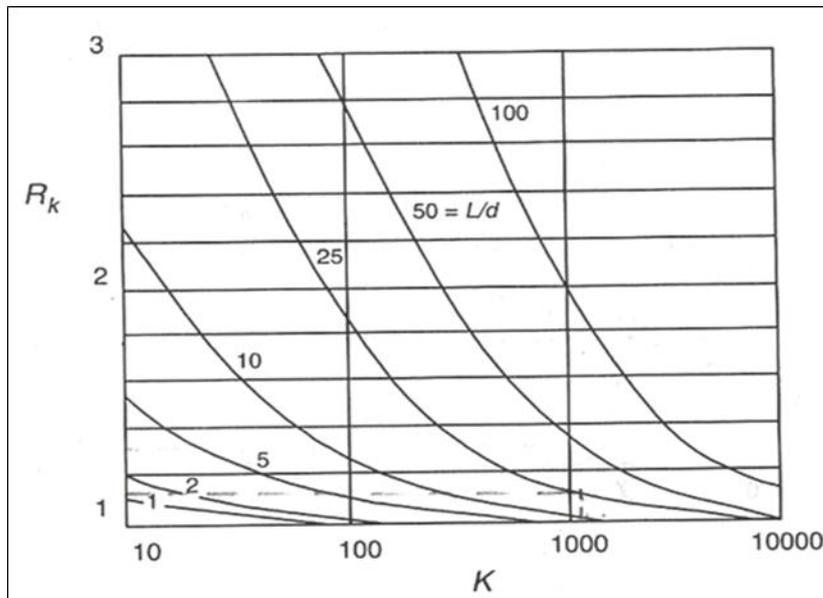
E<sub>s</sub> = modulus elastisitas tanah di sekitar tiang

E<sub>b</sub> = 10 E<sub>s</sub> = modulus elastisitas tanah di dasar tiang

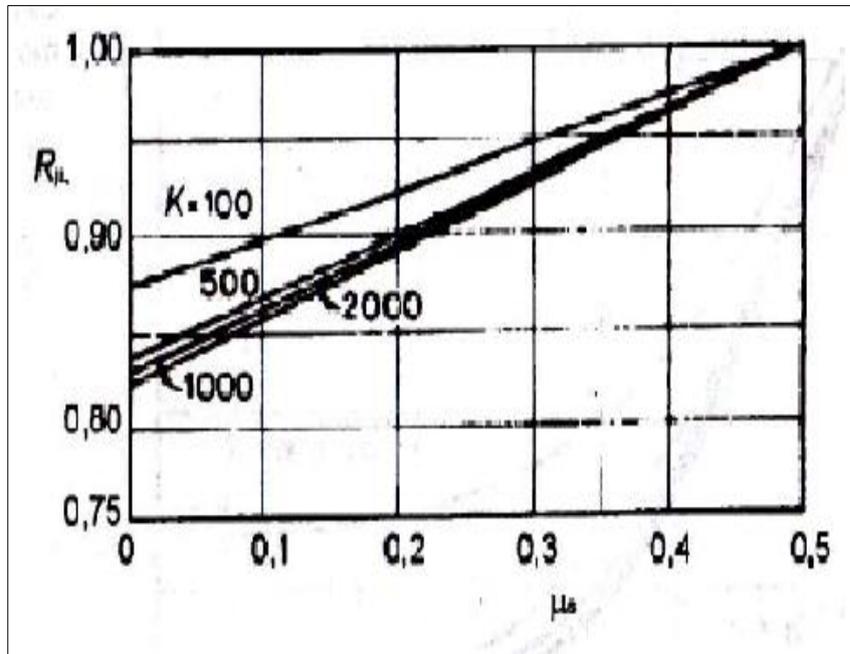
Terzaghi menyarankan nilai  $\mu = 0,3$  untuk tanah pasir,  $\mu = 0,4$  sampai  $0,43$  untuk tanah lempung. Umumnya banyak digunakan  $\mu = 0,3$  sampai  $0,35$  untuk tanah pasir dan  $\mu = 0,4$  sampai  $0,5$  untuk tanah lempung. Sedangkan Io, Rk, Rh, R<sub>μ</sub>, dan Rb dapat dilihat pada Gambar 2.12, Gambar 2.13, Gambar 2.14, Gambar 2.15 dan Gambar 2.16.



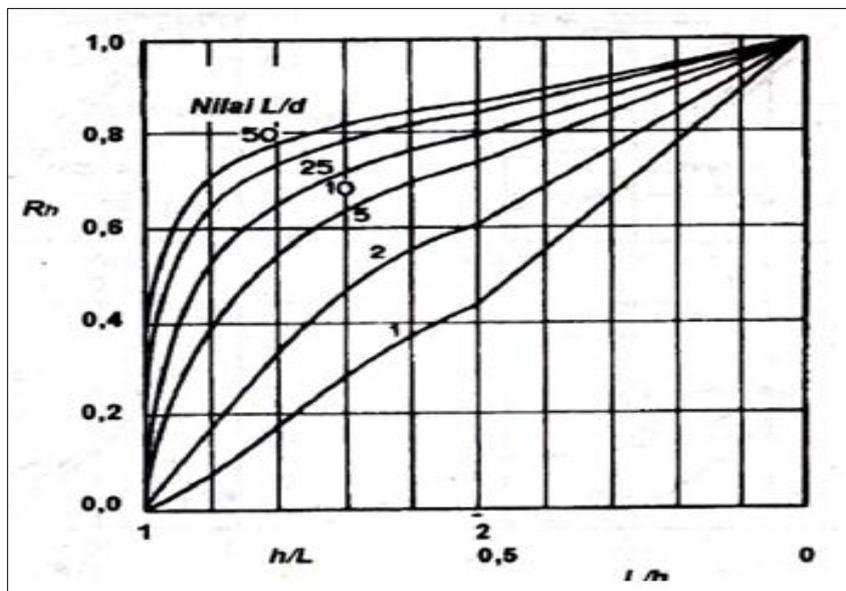
Gambar 2.12: Faktor penurunan  $I_o$  (Poulos dan Davis, 1980).



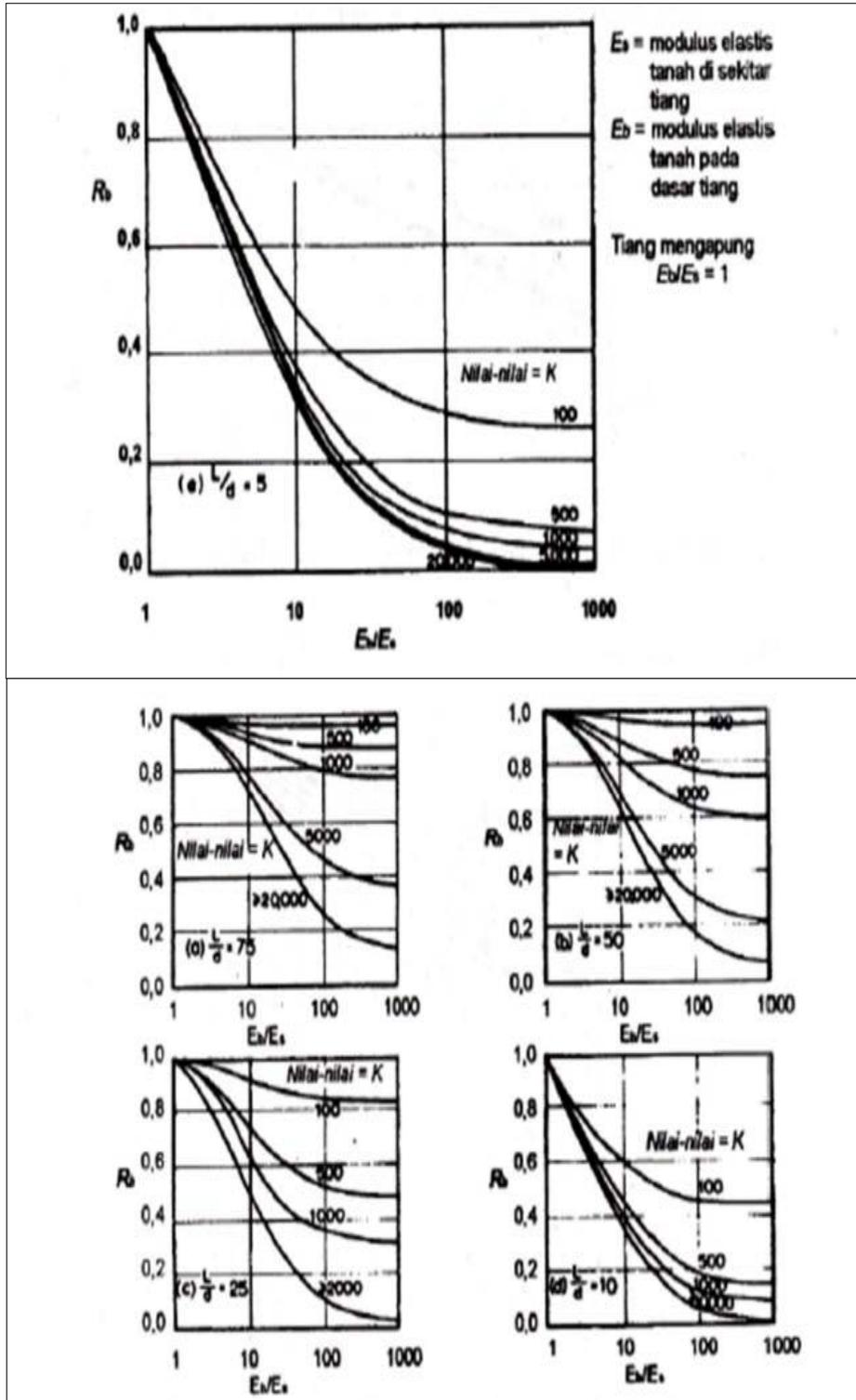
Gambar 2. 13: Koreksi kompresi  $R_k$  (Poulos dan Davis, 1980).



Gambar 2.14: Koreksi kedalaman  $R_h$  (Poulus dan Davis, 1980).



Gambar 2.15: Koreksi angka Poisson,  $R_\mu$  (Poulus dan Davis, 1980).



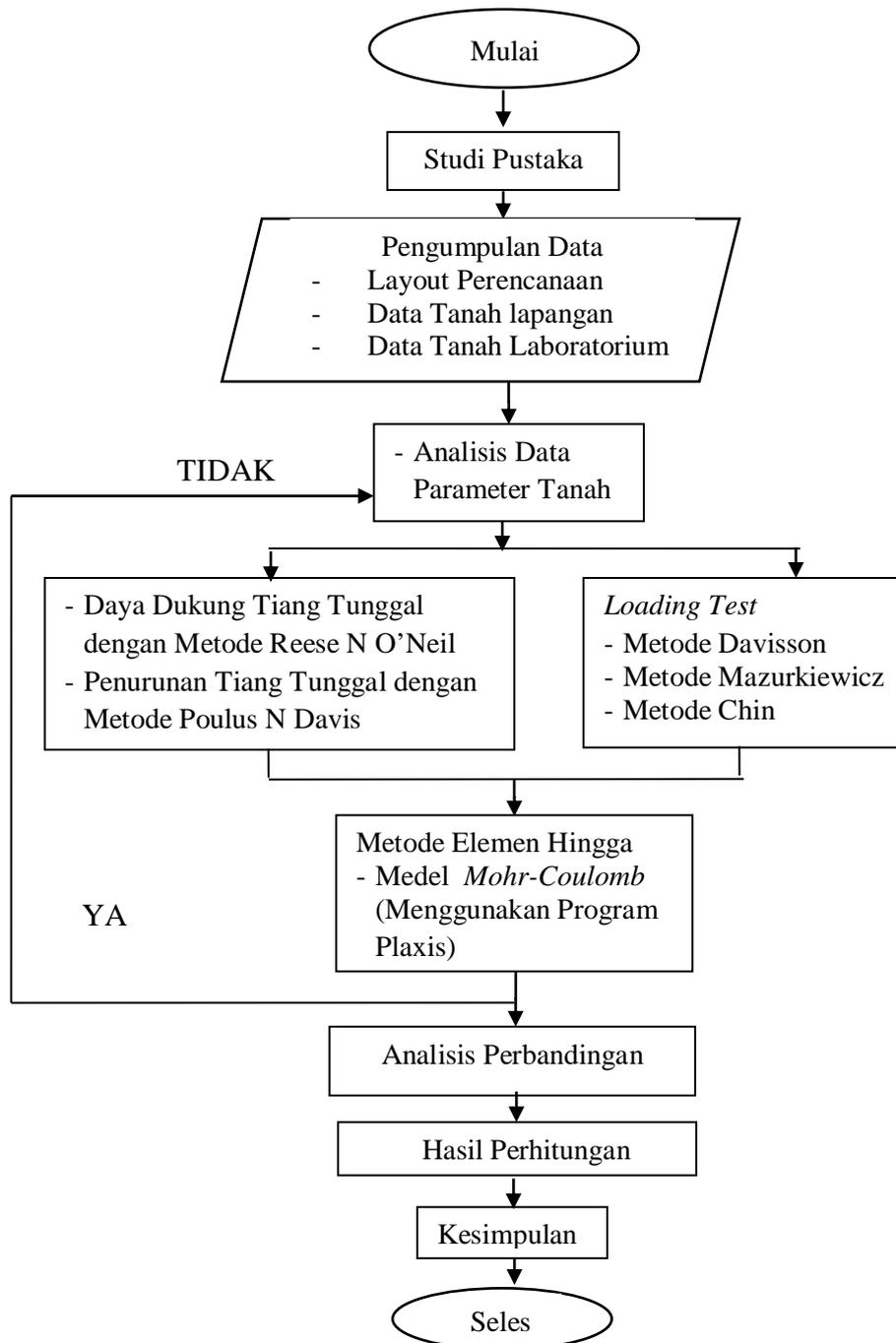
Gambar 2.16: Koreksi kekakuan lapisan pendukung  $R_b$  (Poulos dan Davis, 1980).

### BAB III

## METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1. Bagan Alir Penelitian

Tahapan perencanaan dapat disajikan secara sistematis dalam Gambar 3.1.

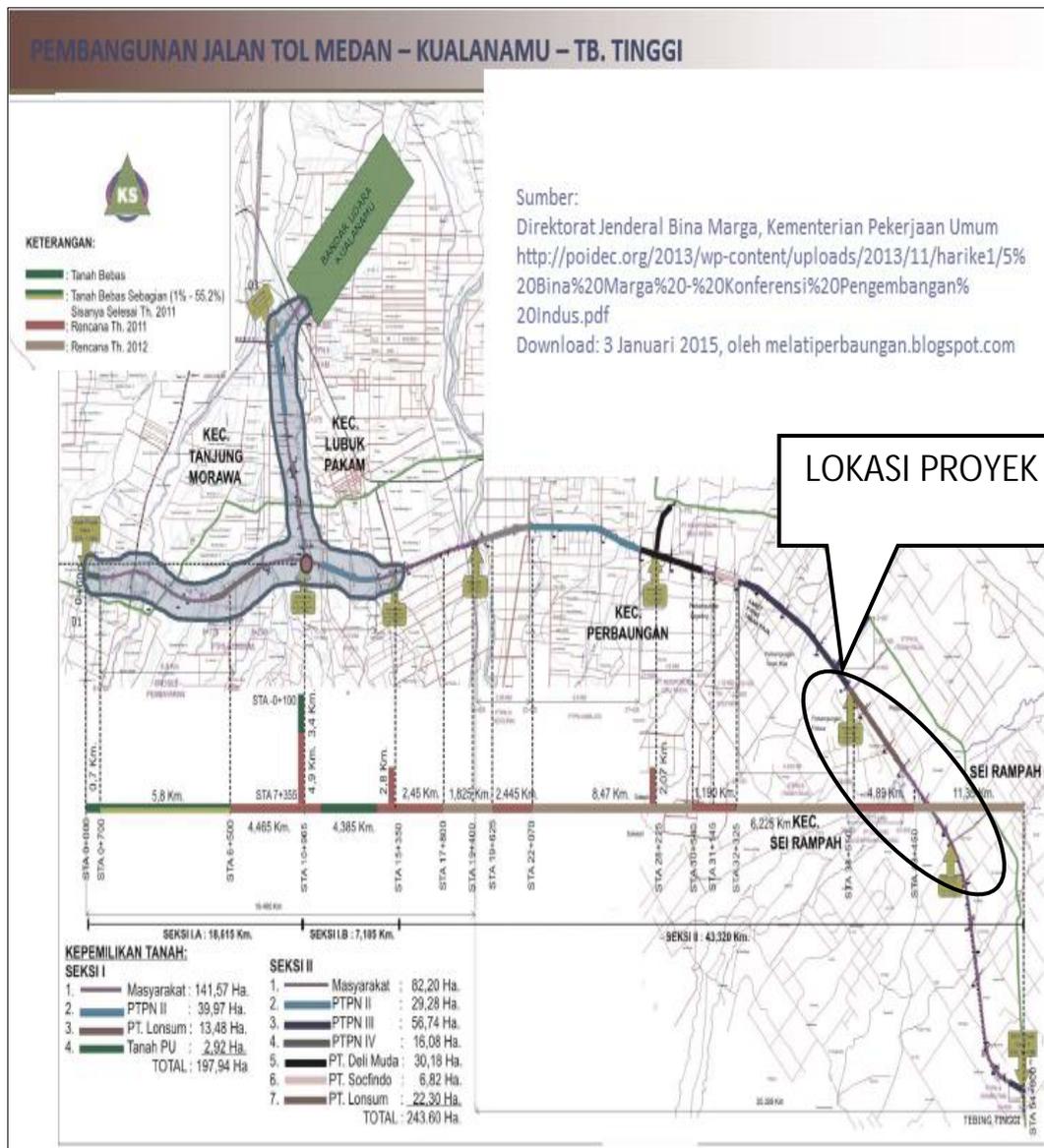


Gambar 3.1: Diagram alir penelitian.

### 3.2. Data Umum Proyek

Data umum dari pembangunan Jalan Tol Medan – Kualanamu – Tebing Tinggi Seksi 6, Sumatra Utara adalah sebagai berikut:

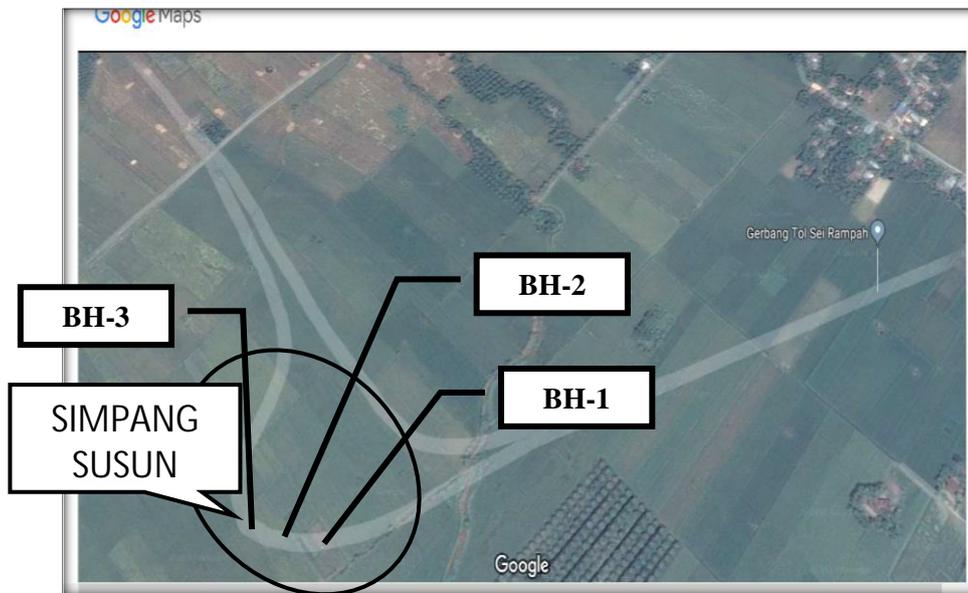
1. Nama Proyek : Pembangunan Jalan Tol MKTT Seksi 6
2. Lokasi Proyek : Sungai Rampah, Medan
3. Kontraktor Utama : PT. WASKITA KARYA (Persero)
4. Denah lokasi proyek dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Denah Lokasi Proyek Pembangunan Jalan Tol Medan Kualanamu Tebing Tinggi Seksi 6.

### 3.3. Lokasi Titik Pengeboran

Dari data yang diperoleh dari pihak kontraktor, penulis memilih 3 titik pengeboran yaitu pada bagian jembatan simpang susun Sei Rampah Rampah seperti diperlihatkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3: Lokasi titik pengeboran BH-1, BH-2 dan BH-3 simpang susun MKTT seksi 6 (Dokumentasi PT. Waskita Karya).

### 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. Analisa 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 *Standart Penetration Test (SPT)* sedalam 30 m, data laboratorium dan data hasil pengujian statik tekan (*loading test*) yang terletak dalam kawasan pembangunan.

Tabel 3.1: Data hasil pengeboran BH1 (lokasi Jembatan S.Susun Rambah).

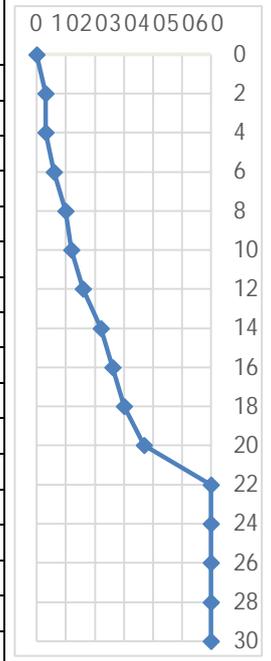
Depth	Jenis Tanah	Standart Penetration Test (SPT)				N Value	N Value Graph
		No of Blows			N Value		
		0-15	15-30	30-45			
0	-	0	0	0	0	<p>The graph shows N values plotted against depth. The x-axis represents N values from 0 to 60, and the y-axis represents depth from 0 to 30 meters. The data points are: (0,0), (2,3), (4,3), (6,4), (8,4), (10,7), (12,9), (14,21), (16,30), (18,41), (20,53), (22,60), (24,60), (26,60), (28,60), (30,60).</p>	
2	Clay	1	2	1	3		
4	Sand	1	1	2	3		
6	Clay	2	1	3	4		
8	Clay	3	2	2	4		
10	Clay	5	3	4	7		
12	Sand	6	4	5	9		
14	Sand	7	10	11	21		
16	Sand	9	13	17	30		
18	Sand	12	17	24	41		
20	Sand	15	21	32	53		
22	Sand	-	-	-	60		
24	Sand	-	-	-	60		
26	Sand	-	-	-	60		
28	Sand	-	-	-	60		
30	Sand	-	-	-	60		

Tabel 3.2: Data hasil pengeboran BH2 (lokasi Jembatan S.Susun Rambah).

Depth	Jenis Tanah	Standart Penetration Test (SPT)				N Value	N Value Graph
		No of Blows			N Value		
		0-15	15-30	30-45			
0	-	0	0	0	0	<p>The graph shows N values plotted against depth. The x-axis represents N values from 0 to 60, and the y-axis represents depth from 0 to 30 meters. The data points are: (0,0), (2,3), (4,2), (6,5), (8,14), (10,20), (12,41), (14,60), (16,60), (18,60), (20,60), (22,60), (24,60), (26,60), (28,60), (30,60).</p>	
2	Clay	1	1	2	3		
4	Sand	2	1	1	2		
6	Clay	1	3	2	5		
8	Clay	4	6	8	14		
10	Clay	7	9	11	20		
12	Sand	14	20	21	41		
14	Sand	-	-	-	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		

Tabel 3.3: Data hasil pengeboran BH3 (lokasi Jembatan S.Susun Rampah).

Depth	Jenis Tanah	Standart Penetration Test (SPT)			N Value	N Value Graph
		No of Blows				
		0-15	15-30	30-45		
0	-	0	0	0	0	
2	Clay	1	2	1	3	
4	Sand	2	1	2	3	
6	Sand	3	2	4	6	
8	Clay	5	4	6	10	
10	Clay	6	5	7	12	
12	Clay	6	7	9	16	
14	Clay	9	10	12	22	
16	Clay	11	12	14	26	
18	Sand	13	14	16	30	
20	Sand	15	17	20	37	
22	Sand	-	-	-	60	
24	Sand	-	-	-	60	
26	Sand	-	-	-	60	
28	Sand	-	-	-	60	
30	Sand	-	-	-	60	



Dari ketiga tabel dan grafik di atas terlihat bahwa pada titik pengeboran BH-1 nilai N-SPT naik di kedalaman 8 m pada lapisan tanah pasir dan terus meningkat pada kedalaman 22 m saat mencapai tanah keras hingga kedalaman 30 m.

Pada titik pengeboran BH-2 terlihat bahwa nilai N-SPT naik di kedalaman 4 m pada lapisan tanah pasir dan mencapai tanah keras di kedalaman 14 m hingga kedalaman 30 m, begitu juga dengan pengeboran pada titik BH-3 nilai N-SPT naik pada kedalaman 6 m pada lapisan tanah pasir dan mencapai tanah keras di kedalaman 22 m hingga kedalaman 30 m.

Setelah diketahui kondisi lapisan tanah dari ketiga titik pengeboran tersebut struktur lapisan tanah pada lokasi titik BH-2 yang memiliki tekstur tanah yang cukup baik.

### 3.6. Analisis Parameter Tanah

Struktur lapisan tanah pada lokasi penelitian berdasarkan data SPT terdiri atas lapisan tanah lempung dan pasir. Setelah diketahui kondisi lapisan tanah, kemudian dilakukan input parameter tanah untuk masing-masing lapisan konsistensi tanah lempung ataupun berpasir. Model tanah yang digunakan pada pemodelan ini adalah model *Mohr Coloumb*. 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* ( $\nu$ ), sudut geser dalam ( $\phi$ ), kohesi ( $c$ ), sudut dilatasi ( $\Psi$ ) berat isi tanah ( $\gamma$ ).

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 korelasi jenis tanah dan koefisien rembesan.
2. Untuk modulus elastisitas ( $E$ ) diambil dari nilai perkiraan modulus elastisitas tanah dapat dilihat pada Tabel 2.3 dan 2.4, yaitu dengan cara mengkorelasikan nilai SPT dan konsistensi jenis tanah terhadap modulus elastisitas. Nilai modulus elastisitas di konversikan kedalam satuan kN/m<sup>2</sup>.
3. Untuk angka poisson ( $\nu$ ), diambil dari hubungan jenis tanah, konsistensi dan poisson ratio ( $\nu$ ) yaitu pada Tabel 2.5.
4. Untuk sudut geser dalam ( $\phi$ ), berat isi tanah jenuh dan kohesi ( $c$ ), diambil dari bantuan nilai korelasi yang menurut *Mayerhoff* dari data N-SPT dapat dilihat pada Tabel 2.7.
5. Sementara untuk  $\gamma$  saturated diperoleh dengan cara menambahkan  $\gamma$  unsaturated sebesar 9,8 (berat isi air), pada Tabel 2.6.
6. Untuk nilai *permeabilitas* ( $k$ ), diambil dari hubungan jenis tanah, yaitu pada Tabel 2.8, nilai *permeabilitas* di konversikan kedalam satuan m/hari.

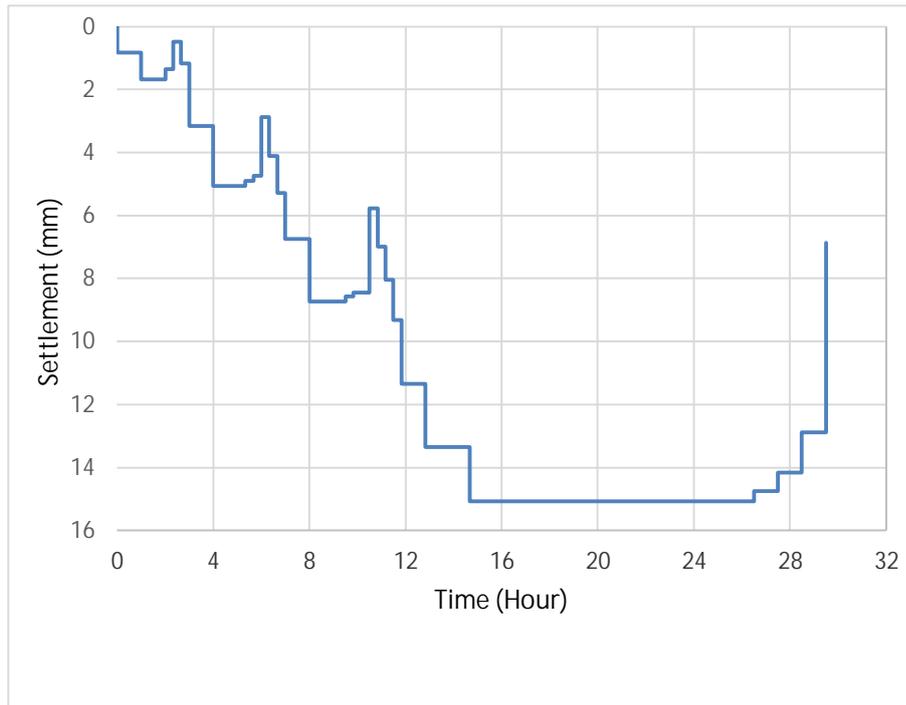
Adapun tabel parameter tanah dapat di lihat pada Lampiran.

### 3.7. Hasil Pengujian Pembebanan Statik (*Static Loading Test*)

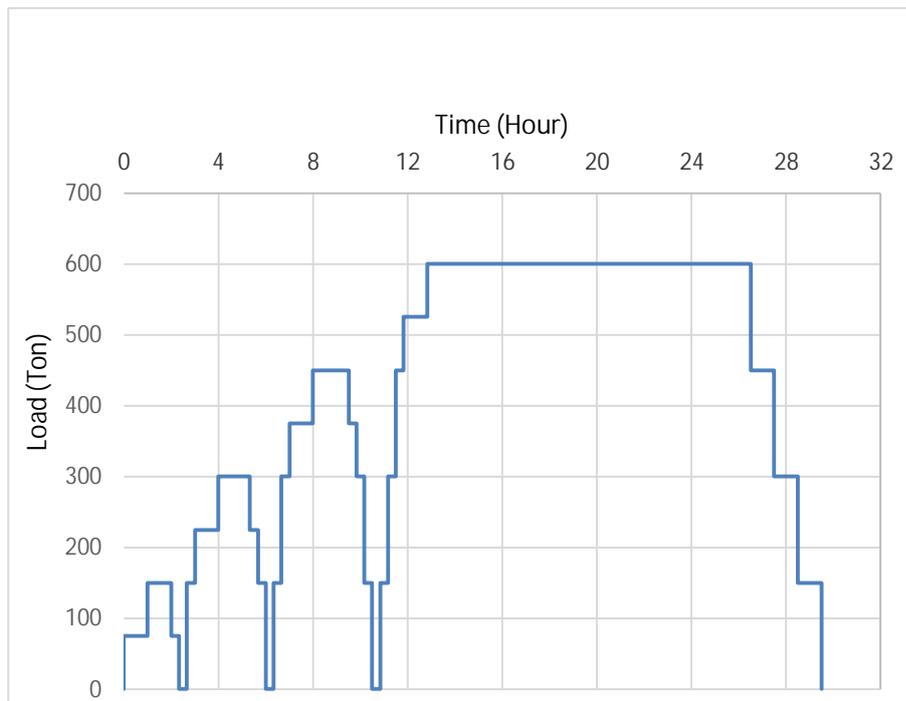
Hasil dari pengujian pembebanan dan besarnya penurunan dapat dilihat pada Tabel 3.4 dan Gambar 3.4 dalam bentuk kurva. Gambar 3.5 menunjukkan tahapan pembebanan dan lama waktu pembebanan untuk 4 siklus, sedangkan Gambar 3.6 menunjukkan kurva penurunan tekan, penurunan elastis dan penurunan tekan permanen pada 4 siklus pembebanan.

Tabel 3.4: Tabel rekapitulasi pembebanan pada pengujian *static loading*.

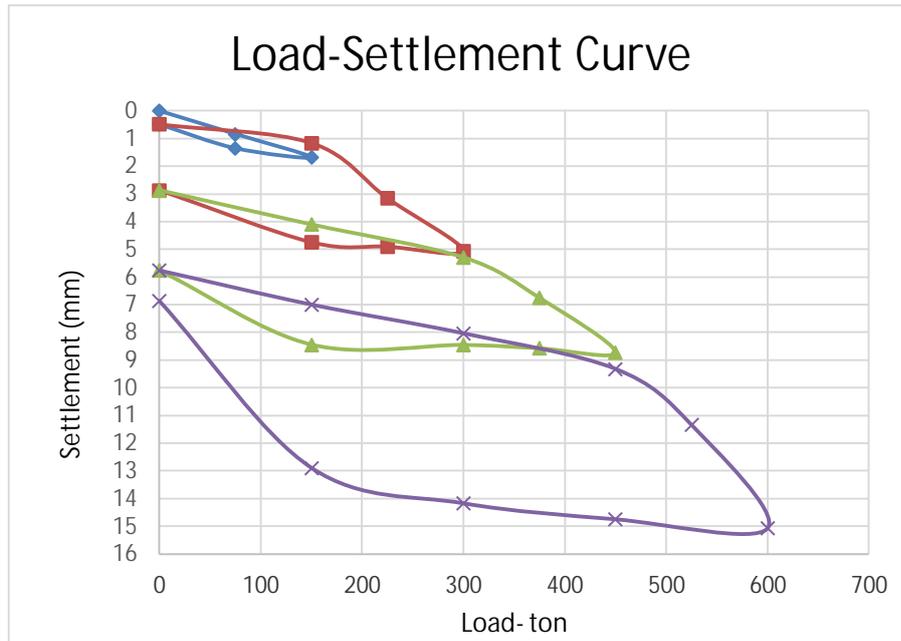
Siklus	Beban		Penurunan (mm)
	Ton	%	
1	0	0	0
	75	25%	0,835
	150	50%	1,68
2	75	25%	1,35
	0	0%	0,4875
	150	50%	1,165
	225	75%	3,1575
	300	100%	5,0575
3	225	75%	4,9025
	150	50%	4,745
	0	0%	2,865
	150	50%	4,1
	300	100%	5,2925
	375	125%	6,7525
	450	150%	8,72
	375	125%	8,575
4	300	100%	8,4525
	150	50%	8,44
	0	0%	5,7625
	150	50%	6,995
	300	100%	8,0325
	450	150%	9,3175
	525	175%	11,34
	600	200%	15,07
	450	150%	14,7475
	300	100%	14,17
	150	50%	12,8875
	0	0%	6,86



Gambar 3.4: Grafik siklus penurunan dengan waktu.



Gambar 3.5: Grafik siklus pembebanan dengan waktu.



Gambar 3.6: Kurva hubungan beban dan penurunan hasil uji beban statis.

Total pergeseran yang terjadi dari hasil pengujian *static loading*:

Beban rencana (100%)	: 300 ton
- Total pergeseran tekan	: 5.06 mm
- Pergeseran tekan elastis	: 2.19 mm
- Pergeseran tekan permanen	: 2.87 mm
Beban percobaan (200%)	: 600 ton
- Total pergeseran tekan	: 15.07 mm
- Pergeseran tekan elastis	: 8.21 mm
- Pergeseran tekan permanen	: 6.86 mm

### 3.8. Model Numerik dengan Program Analisis

Plaxis merupakan suatu aplikasi program komputer menggunakan metoda elemen hingga (*finite element*) untuk menganalisa deformasi dan stabilitas dalam permasalahan geoteknik. Plaxis ini telah dikembangkan sejak tahun 1987 oleh Delft University, Belanda. Program ini dapat menganalisis untuk perhitungan kondisi plane-strain maupun axisymmetric. Program ini merupakan program pendekatan prinsip finite element method dalam analisa beberapa masalah yang kompleks dibidang

geoteknik. Konsep dasar program ini membagi elemen-elemen kecil tak terhingga berbentuk beraturan (*meshing*). Pada titik sudut segitiga merupakan nilai deformasi yang belum diketahui. Penelitian menggunakan program Plaxis untuk mengetahui daya dukung pondasi dan penurunan yang terjadi akibat beban bangunan di atasnya.

### 3.8.1. Plaxis *Input*

Plaxis *input* merupakan tahap awal untuk membuat dan memodifikasi model geometri, mendefinisikan parameter model, menentukan kondisi batas (*boundary Condition*), *meshing* model serta menentukan kondisi awal (*initial condition*) dari model yang dibuat. Adapun langkah yang dilakukan pada tahap Plaxis input dengan material model mohr coulomb adalah sebagai berikut:

1. Kondisi awal geometri tanah dan material dengan awal proses yaitu project setting dan *dimension setting*.
2. Menentukan model struktur yang akan dilakukan analisis, model struktur dibagi menjadi dua jenis yaitu *plane strain* dan *axisymetry*
3. Menentukan elemen-elemen jaringan segitiga tak berhingga dan tak beraturan dalam beberapa titik nodal (*node*). PLAXIS memberikan dua pilihan yaitu 6 node dan 15 node.
4. Pembuatan model geometri konstruksi yang akan dilakukan analisis secara numeris. *Geometry line toolbar* menggambarkan konstruksi dan bidang batas pada *draw area* koordinat x dan y.
5. Menetapkan *Boundary Condition* sebagai batas yang diaplikasikan dalam penelitian. *Boundary Condition* ini memegang peran penting dalam analisis, karena sangat menentukan pola area deformasi dan tegangan regangan tanah yang akan terjadi setelah beban bekerja.
6. Menetapkan *boundary condition* menjadi geometri terkekang (*standard fixities*), pada kondisi ini sebagai batas perpindahan deformasi yang terpengaruh beban secara horizontal ( $U_x$ ) dan vertikal ( $U_y$ ).
7. General material setting, Pada bagian ini perlu tipe material, berat volume tanah ( $\gamma_{sat}$  dan  $\gamma_{unsat}$ ) nilai permeabilitas tanah ( $K_x$  dan  $K_y$ ). parameter setting nilai kekakuan bahan ( $E$ ) dari hasil uji di laboratorium maupun

menggunakan persamaan korelasi. Properties tanah seperti kohesi ( $c$ ), sudut gesek dalam ( $\phi$ ) dan sudut dilatasi ( $\psi$ ). *Interface setting* struktur merupakan interaksi struktur dengan tanah, pilih *rigid interface* jika keberadaan material mempengaruhi kekuatan tanah.

8. Tahap tipe konstruksi, konstruksi yang digunakan dalam simulasi numerik adalah model pelat (*plate*). Parameter input untuk pelat adalah nilai tipe material *normal stiffness* ( $EA$ ) yaitu nilai modulus elastisitas pelat dengan luas pelat, *flexural rigidly* ( $EI$ ) yaitu modulus elastisitas pelat dengan inersia pelat, ( $w$ ) adalah berat pelat dan ( $\nu$ ) merupakan angka *poisson rasio*.
9. Menentukan beban luar (*external load*)  
Besarnya beban luar diaplikasikan pada konstruksi dapat berupa beban terbagi rata (*distributed load*) maupun beban titik (*point loads*).
10. *Mesh Generation*, Pada tahap ini konstruksi yang akan didiskritisasi atau dibagi menjadi elemen-elemen segitiga yang lebih kecil, dan hasil geometri berupa *Meshing* yang tidak teratur. Tingkat ketelitian dalam mendiskritisasi (*meshing*) dapat dibagi menjadi beberapa pilihan antara lain *very coarse*, *coarse*, *medium fined*, *fine* dan *very fined*.  
Kondisi awal (*initial condition*) merupakan tahap penentuan awal sebelum dilakukan analisis. Kondisi ini dibagi menjadi dua yaitu kondisi awal tekanan air pori (*initial water pressure*) dan kondisi awal tegangan air pori (*initial stresses*).

### **3.8.2. Plaxis Calculation**

*Plaxis calculation* adalah tahap apakah model yang telah didefinisikan pada *Plaxis* input siap untuk dianalisis.

### **3.8.3. Plaxis Output**

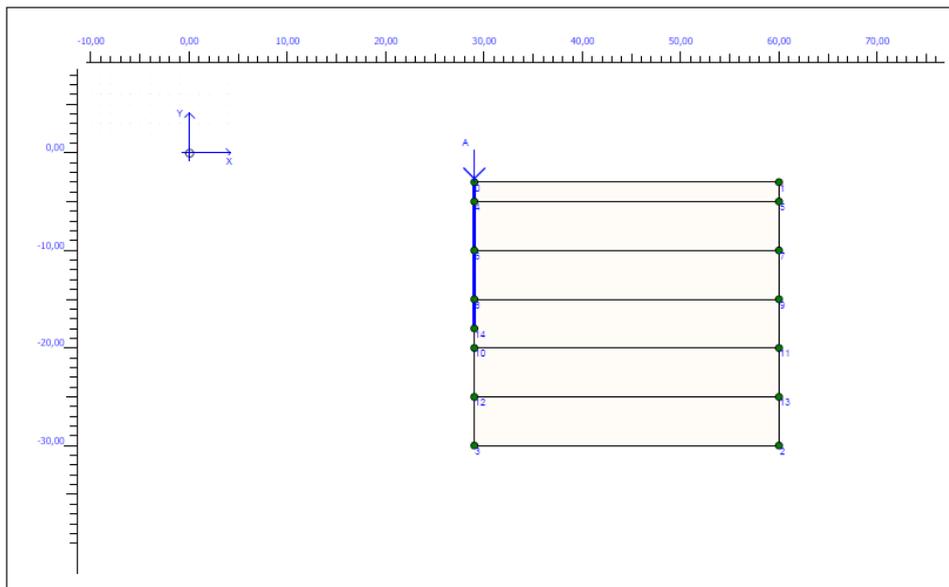
*Plaxis output* merupakan pemaparan hasil analisis proses hitungan dari *Plaxis calculation* yang terdiri dari *geometry*, *deformation* dan *stresses*. *Output* *Plaxis* dapat ditampilkan dalam bentuk gambar, angka dan kurva.

### 3.9. Langkah-langkah Pemodelan Menggunakan Program Plaxis

Pada bagian ini dijelaskan tentang cara-cara yang dilakukan untuk memodelkan suatu proyek ke dalam bentuk analisa yang bisa dihitung oleh program komputer. Adapun langkah-langkah tersebut sebagai berikut:

#### 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 sebagai kontur geometrik dengan dimensi sebagai berikut; tinggi kontur geometrik adalah  $2L$  dimana  $L$  merupakan kedalaman tiang sebesar 15 m, sedangkan untuk lebar kontur geometrik menggunakan *aximetry* 30 m (Gambar 3.7). Setelah pemodelan klaster lapisan tanah, selanjutnya ialah pemodelan struktur tiang.

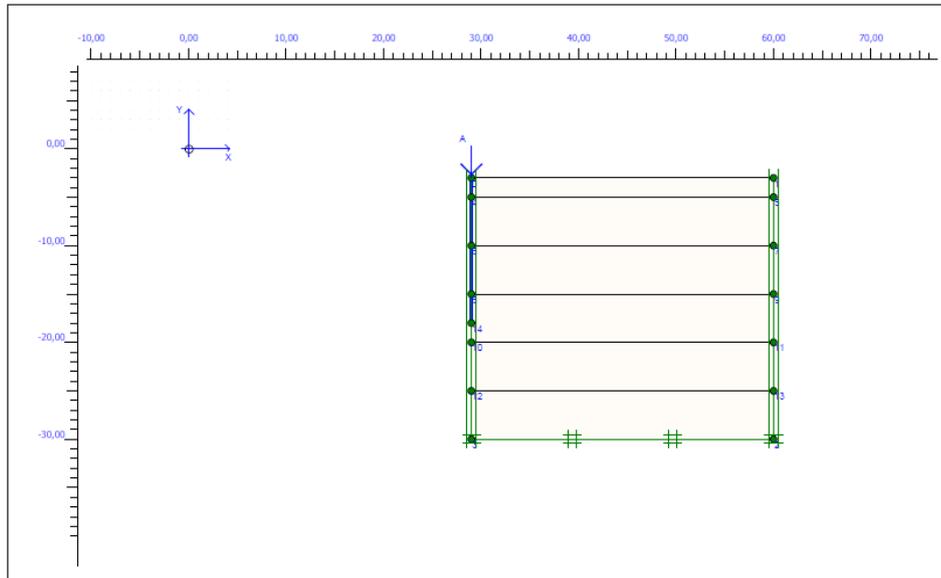


Gambar 3.7: Pemodelan geometri pada program analisis.

#### 2. Kondisi Batas (*Boundary Condition*)

Saat memilih kondisi batas dari sub menu load atau dengan mengklik tombol *standar fixities* pada *toolbar*, Plaxis secara otomatis akan menerapkan kondisi batas umum pada model geometri. Plaxis kemudian akan membentuk jepit penuh pada dasar geometri dan kondisi batas rol pada sisi vertical ( $u_x = 0$ ;  $u_y = \text{bebas}$ ). Jepit pada arah tertentu akan ditampilkan pada layar

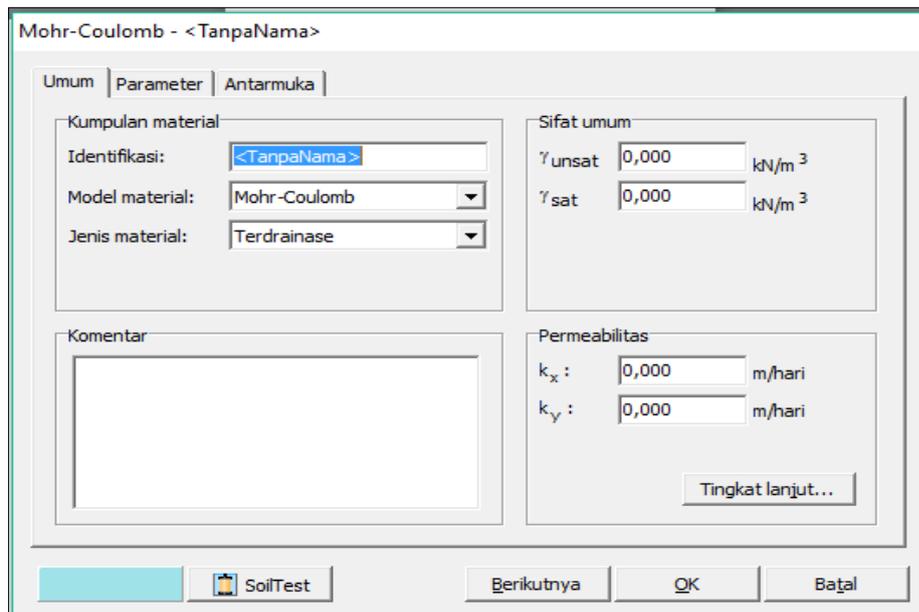
berupa dua garis paralel yang tegak lurus terhadap arah yang dijepit. Karena itu rol akan berupa dua garis vertikal sejajar dan jepit penuh akan berupa dua pasang garis vertikal sejajar yang bersilangan (*crosshatched lines*) (Gambar 3.8).



Gambar 3.8: Penetapan kondisi batas pada geometri.

### 3. Input Parameter Tanah

Analisis yang akan dilakukan didasarkan pada model material *Mohr-Coulomb* yang merupakan pemodelan dengan kondisi elastis-plastis terdiri dari beberapa parameter (Gambar 3.7) yakni *Modulus Young* ( $E$ ) dan *Poisson Rasio* ( $\nu$ ), kohesif ( $c$ ), sudut gesek dalam ( $\phi$ ), sudut dilatansi ( $\psi$ ), berat jenis kering ( $\gamma_{dry}$ ), berat jenis jenuh ( $\gamma_{sat}$ ), dan juga permeabilitas ( $K$ ).

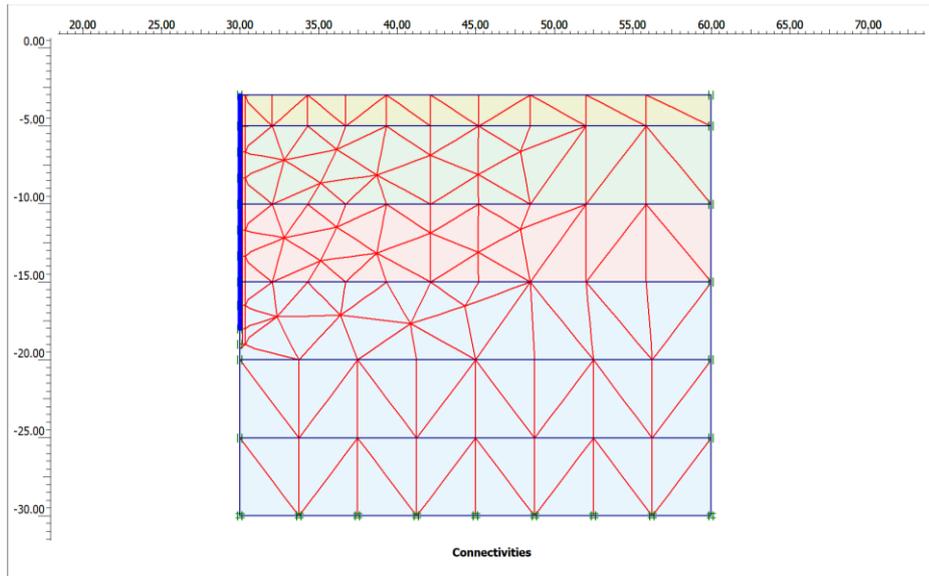


Gambar 3.9: Input parameter tanah dan pemodelan Mohr-coulomb.

#### 4. Penyusunan Jaringan Elemen (*Meshing*)

Setelah model didefinisikan secara lengkap serta sifat material telah diaplikasikan kesetiap lapisan, maka geometri harus disusun menjadi elemen-elemen yang lebih kecil untuk melakukan hitungan elemen hingga. Komposisi dari elemen-elemen tersebut sebagai jaring elemen hingga.

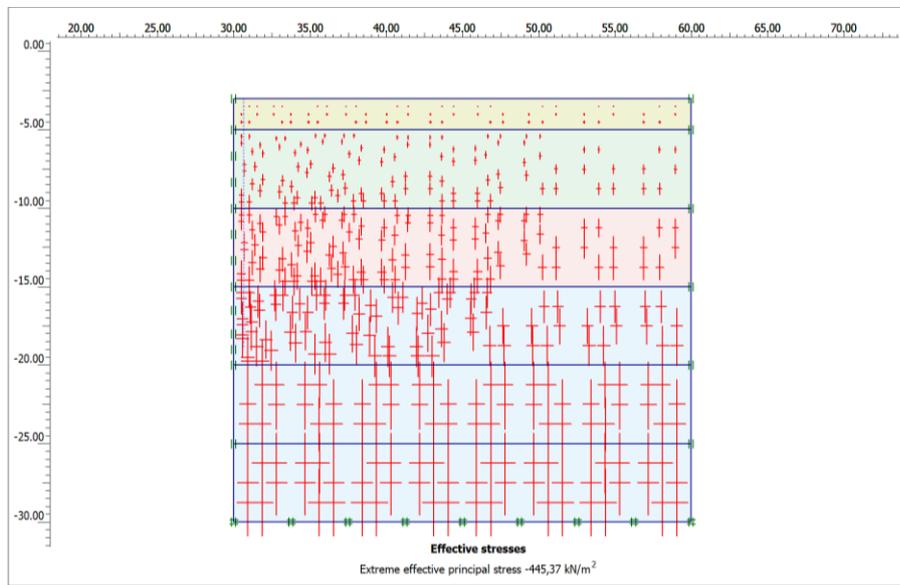
Penyusunan jaring elemen dalam program Plaxis dimulai dengan mengklik tombol penyusunan jaring elemen pada toolbar atau dengan memilih *Generate* dari sub menu *Mesh*. Penyusunan jaring elemen juga langsung dimulai setelah opsi *refine line* dari sub menu *mesh*. Hasil dari proses *meshing* (diskritisasi) model dalam Plaxis dapat dilihat pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10: Penyusunan jaringan *meshing*.

5. Kondisi Awal (*Initial Condition*)

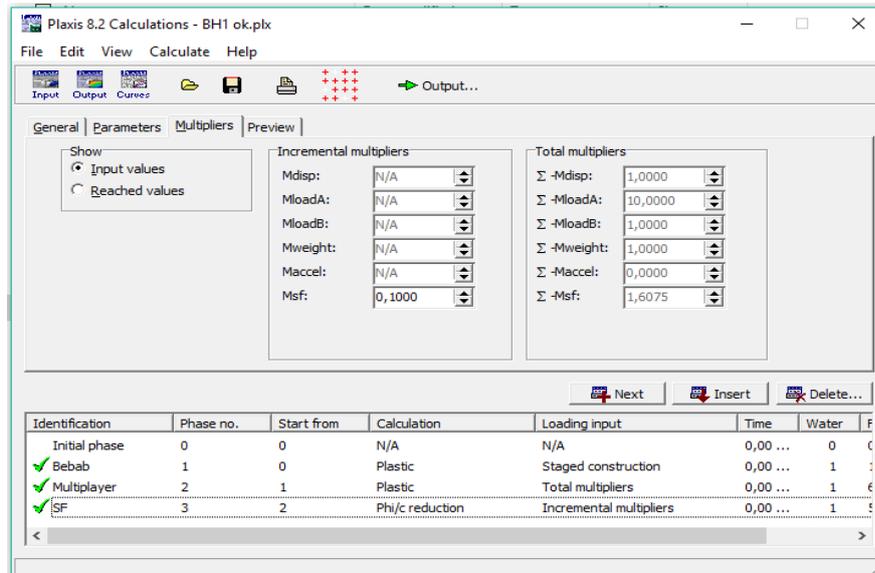
Kondisi awal didefinisikan untuk menghitung tekanan air pori awal (*initial condition*) dan tegangan awal (*initial soil stress*) seperti Gambar 3.11.



Gambar 3.11: Hasil perhitungan *initial soil stresses*.

## 6. Kalkulasi

Setelah proses input, selanjutnya adalah proses kalkulasi dengan mengklik tombol *calculate* untuk masuk ke dalam program *calculation* seperti pada Gambar 3.12.



Gambar 3.12: Tahapan perhitungan.

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

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

## BAB 4

### ANALISA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Perhitungan Daya Dukung Menggunakan Data Parameter (SPT)

Menghitung kapasitas daya dukung dengan menggunakan data SPT dilakukan per lapisan tanah serta perhitungannya menggunakan metode O'Neil & Reese. Perhitungan ini menggunakan dua rumus yakni untuk jenis tanah non-koheusif (pasir) dan jenis tanah koheusif (lempung).

##### 4.1.1. Perhitungan Pada Titik BH-1

$$\text{Diameter (D)} = 100 \text{ cm} = 1 \text{ m}$$

Luas selimut tiang pondasi (p)

$$p = \pi \cdot d$$

$$p = 1,0 \times 3,14 = 3,14 \text{ m}$$

Luas penampang tiang pondasi (Ap)

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

$$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 1^2 = 0,785 \text{ m}^2$$

Faktor keamanan (SF)

$$\text{Ujung} = 3$$

$$\text{Geser} = 2,5$$

➤ Daya dukung ujung tiang dan geser selimut tiang pada tanah koheusif

❖ Kedalaman 2 m

1. Daya dukung ujung tiang

$$Q_b = A_p \cdot N_c \cdot C_u$$

$$A_p = 0,785$$

$$N_c = 8$$

$$C_u = 17,83$$

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

$$= 111,97 \text{ kN}$$

2. Daya dukung geser selimut tiang

$$Q_s = \alpha \cdot C_u \cdot p \cdot \Delta L$$

$$\alpha = 0,55$$

$$C_u = 17,83$$

$$\begin{aligned} Q_s &= 0,55 \times 17,83 \times 3,14 \times 2 \\ &= 61,61 \text{ kN} \end{aligned}$$

3. Daya dukung *ultimate*

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

$$= 111,97 + 61,61$$

$$= 173,6 \text{ kN} = 17,4 \text{ ton}$$

4. Daya dukung ijin

$$\begin{aligned} Q_{all} &= \frac{Q_b}{SF} + \frac{Q_s}{SF} \\ &= \frac{112,02}{3} + \frac{61,61}{2,5} \\ &= 65,3 \text{ kN} = 6,5 \text{ ton} \end{aligned}$$

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

❖ Kedalaman 4 m

1. Daya dukung ujung tiang

$$Q_b = q_p \cdot a_p$$

$$q_p = 57,5 \cdot N = 57,5 \times 3 = 172,5$$

$$a_p = 0,785$$

$$\begin{aligned} Q_b &= 172,5 \times 0,785 \\ &= 135,41 \text{ kN} \end{aligned}$$

2. Daya dukung geser selimut tiang

$$Q_s = \sum f \cdot p \cdot \Delta L$$

$$f = \beta \cdot \sigma = 1,01 \times 48 = 48,58$$

$$= 48,58 \times 3,14 \times 2$$

$$= 305,2 \text{ kN}$$

3. Daya dukung *ultimate*

$$\begin{aligned} Q_{ult} &= Q_b + Q_s \text{ (komulatif)} \\ &= 135,48 + 366,82 \\ &= 502,30 \text{ kN} = 50,2 \text{ ton} \end{aligned}$$

4. Daya dukung ijin

$$\begin{aligned} Q_{all} &= \frac{Q_b}{SF} + \frac{Q_s}{SF} \\ &= \frac{135,38}{3} + \frac{366,82}{2,5} \\ &= 176,4 \text{ kN} = 17,6 \text{ ton} \end{aligned}$$

Untuk perhitungan lengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1: Hasil perhitungan daya dukung berdasarkan data SPT pada titik BH-1.

Depth	Nspt	Cu	$\alpha$	$\beta$	Nc	Skin Friction (kN)		End Bearing	Qult (ton)	Qall (ton)
						Local	Cumm			
0	0									
2	3	17,83	0,55	-	8	61,61	61,61	111,97	17,4	6,5
4	3	-	-	1,01	-	305,21	366,82	135,41	50,2	17,6
6	4	24,60	0,55	-	9	84,99	451,81	173,76	62,6	22,0
8	4	24,60	0,55	-	9	84,99	536,80	173,76	71,1	24,8
10	7	44,89	0,55	-	9	155,14	691,94	317,17	100,9	35,8
12	9	-	-	0,65	-	790,17	1482,11	406,24	188,8	65,7
14	21	-	-	0,59	-	840,92	2323,03	947,89	327,1	115,3
16	30	-	-	0,52	-	869,19	3192,22	1354,13	454,6	160,6
18	41	-	-	0,46	-	876,50	4068,72	1850,64	591,9	209,6
20	53	-	-	0,41	-	863,46	4932,18	2392,29	732,4	260,1
22	60	-	-	0,36	-	832,09	5764,27	2708,25	847,3	300,5
24	60	-	-	0,30	-	781,88	6546,15	2708,25	925,4	326,5
26	60	-	-	0,26	-	714,17	7260,32	2708,25	996,9	350,3
28	60	-	-	0,25	-	753,98	8014,30	2708,25	1072,3	375,5
30	60	-	-	0,25	-	810,53	8824,83	2708,25	1153,3	402,5

Adapun penjelasan mengenai tabel pada titik BH-1 dengan kedalaman 2 m untuk jenis tanah lempung memiliki nilai NSPT 3 menghasilkan nilai daya dukung ujung tiang sebesar 111,97 kN dan Qult sebesar 17,4 ton, sedangkan nilai Qall (Qijin) yang sudah dibagi dengan angka keamanan untuk ujung 3 dan untuk geser 2,5 menghasilkan nilai sebesar 6,5 ton. Pada kedalaman 4 m untuk jenis tanah pasir memiliki nilai NSPT 3 menghasilkan nilai daya dukung ujung tiang sebesar

135,41 kN dan Qult sebesar 50,2 ton, sedangkan nilai Qall (Qijin) yang sudah dibagi dengan angka keamanan untuk ujung 3 dan untuk geser 2,5 menghasilkan nilai sebesar 17,6 ton.

#### 4.1.2. Perhitungan Pada Titik BH-2

$$\text{Diameter (D)} = 100 \text{ cm} = 1 \text{ m}$$

Luas selimut tiang pondasi (p)

$$p = \pi \cdot d$$

$$p = 1 \times 3,14 = 3,14 \text{ m}$$

Luas penampang tiang pondasi (Ap)

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

$$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 1^2 = 0,785 \text{ m}^2$$

Faktor keamanan (SF)

$$\text{Ujung} = 3$$

$$\text{Geser} = 2,5$$

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

❖ Kedalaman 8 m

1. Daya dukung ujung tiang

$$Q_b = A_p \cdot N_c \cdot C_u$$

$$A_p = 0,785$$

$$N_c = 9$$

$$C_u = 92,26$$

$$Q_b = 0,785 \times 9 \times 92,26$$

$$= 651,78 \text{ kN}$$

2. Daya dukung geser selimut tiang

$$Q_s = \alpha \cdot C_u \cdot p \cdot \Delta L$$

$$\alpha = 0,55$$

$$C_u = 92,26$$

$$Q_s = 0,55 \times 92,26 \times 3,14 \times 2$$

$$= 318,81 \text{ kN}$$

3. Daya dukung *ultimate*

$$\begin{aligned} Q_{ult} &= Q_b + Q_s \text{ (komulatif)} \\ &= 651,78 + 844,88 \\ &= 1496,7 \text{ kN} = 149,7 \text{ ton} \end{aligned}$$

4. Daya dukung ijin

$$\begin{aligned} Q_{all} &= \frac{Q_b}{SF} + \frac{Q_s}{SF} \\ &= \frac{651,78}{3} + \frac{844,88}{2,5} \\ &= 542,3 \text{ kN} = 54,2 \text{ ton} \end{aligned}$$

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

❖ Kedalaman 4 m

1. Daya dukung ujung tiang

$$\begin{aligned} Q_b &= q_p \cdot a_p \\ q_p &= 57,5 \cdot N = 57,5 \times 3 = 172,5 \\ a_p &= 0,785 \\ Q_b &= 172,5 \times 0,785 \\ &= 135,41 \text{ kN} \end{aligned}$$

2. Daya dukung geser selimut tiang

$$\begin{aligned} Q_s &= \sum f \cdot p \cdot \Delta L \\ f &= \beta \cdot \sigma = 1,01 \times 56 = 56,67 \\ &= 56,67 \times 3,14 \times 2 \\ &= 356,08 \text{ kN} \end{aligned}$$

3. Daya dukung *ultimate*

$$\begin{aligned} Q_{ult} &= Q_b + Q_s \text{ (komulatif)} \\ &= 135,48 + 417,69 \\ &= 553,17 \text{ kN} = 55,3 \text{ ton} \end{aligned}$$

4. Daya dukung ijin

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

$$= \frac{135,48}{3} + \frac{417,69}{2,5}$$

$$= 193,42 \text{ kN} = 19,3 \text{ ton}$$

Untuk perhitungan lengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2: Hasil perhitungan daya dukung berdasarkan data SPT pada titik BH-2.

Depth	Nspt	Cu	$\alpha$	$\beta$	Nc	Skin Friction (kN)		End Bearing	Qult (ton)	Qall (ton)
						Local	Cumm			
0	0									
2	3	17,83	0,55	-	8	61,61	61,61	111,97	17,4	6,5
4	3	-	-	1,01	-	356,08	417,69	135,413	55,3	19,3
6	5	31,36	0,55	-	9	108,38	526,07	221,57	74,8	26,4
8	14	92,26	0,55	-	9	318,81	844,88	651,78	149,7	54,2
10	20	132,85	0,55	-	9	459,10	1303,98	938,59	224,3	81,0
12	41	-	-	0,65	-	823,10	2127,08	1850,638	397,8	144,9
14	60	-	-	0,59	-	870,42	2997,50	2708,25	570,6	208,2
16	60	-	-	0,52	-	895,53	3893,03	2708,25	660,1	238,1
18	60	-	-	0,46	-	899,88	4792,91	2708,25	750,1	268,1
20	60	-	-	0,41	-	884,02	5676,93	2708,25	838,5	297,6
22	60	-	-	0,36	-	849,99	6526,92	2708,25	923,5	325,9
24	60	-	-	0,30	-	797,21	7324,13	2708,25	1003,2	352,5
26	60	-	-	0,26	-	727,04	8051,17	2708,25	1075,9	376,7
28	60	-	-	0,25	-	766,55	8817,72	2708,25	1152,6	402,3
30	60	-	-	0,25	-	823,10	9640,82	2708,25	1234,9	429,7

Adapun penjelasan mengenai tabel pada titik BH-2 dengan kedalaman 8 m untuk jenis tanah pasir memiliki nilai NSPT 14 menghasilkan nilai daya dukung ujung tiang sebesar 651,78 kN dan Qult sebesar 149,7 ton, sedangkan nilai Qall (Qijin) yang sudah dibagi dengan angka keamanan untuk ujung 3 dan untuk geser 2,5 menghasilkan nilai sebesar 54,2 ton. Pada kedalaman 4 m untuk jenis tanah lempung memiliki nilai NSPT 3 menghasilkan nilai daya dukung ujung tiang sebesar 135,413 kN dan Qult sebesar 55,3 ton, sedangkan nilai Qall (Qijin) yang sudah dibagi dengan angka keamanan untuk ujung 3 dan untuk geser 2,5 menghasilkan nilai sebesar 19,3 ton.

### 4.1.3. Perhitungan Pada Titik BH-3

$$\text{Diameter (D)} = 100 \text{ cm} = 1 \text{ m}$$

Luas selimut tiang pondasi (p)

$$p = \pi \cdot d$$

$$p = 1 \times 3,14 = 3,14 \text{ m}$$

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)

$$\text{Ujung} = 3$$

$$\text{Geser} = 2,5$$

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

❖ Kedalaman 10 m

1. Daya dukung ujung tiang

$$Q_b = A_p \cdot N_c \cdot C_u$$

$$N_c = 9$$

$$C_u = 78,72$$

$$Q_b = 0,785 \times 9 \times 78,72$$

$$= 556,18 \text{ kN}$$

2. Daya dukung geser selimut tiang

$$Q_s = \alpha \cdot C_u \cdot p \cdot \Delta L$$

$$\alpha = 0,55$$

$$C_u = 78,72$$

$$Q_s = 0,55 \times 78,72 \times 3,14 \times 2$$

$$= 272,05 \text{ kN}$$

3. Daya dukung *ultimate*

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

$$= 556,81 + 1444,83$$

$$= 2001,0 \text{ kN} = 200,1 \text{ ton}$$

4. Daya dukung ijin

$$\begin{aligned} Q_{all} &= \frac{Q_b}{SF} + \frac{Q_s}{SF} \\ &= \frac{556,81}{3} + \frac{1444,83}{2,5} \\ &= 704,1 = 70,4 \text{ ton} \end{aligned}$$

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

❖ Kedalaman 18 m

1. Daya dukung ujung tiang

$$\begin{aligned} Q_b &= q_p \cdot a_p \\ q_p &= 57,5 \times N = 57,5 \times 30 = 1725 \\ a_p &= 0,785 \\ Q_b &= 1725 \times 0,785 \\ &= 1354,13 \text{ kN} \end{aligned}$$

2. Daya dukung geser selimut tiang

$$\begin{aligned} Q_s &= \sum f \cdot p \cdot \Delta L \\ f &= \beta \cdot \sigma = 0,47 \times 312,8 = 147,016 \\ &= 315,928 \times 3,14 \times 2 \\ &= 913,50 \text{ kN} \end{aligned}$$

3. Daya dukung *ultimate*

$$\begin{aligned} Q_{ult} &= Q_b + Q_s \text{ (komulatif)} \\ &= 1354,13 + 3806,43 \\ &= 5161,01 \text{ kN} = 516,1 \text{ ton} \end{aligned}$$

4. Daya dukung ijin

$$\begin{aligned} Q_{all} &= \frac{Q_b}{SF} + \frac{Q_s}{SF} \\ &= \frac{1354,81}{3} + \frac{3806,20}{2,5} \\ &= 1810,66 \text{ kN} = 181,1 \text{ ton} \end{aligned}$$

Untuk perhitungan lengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3: Hasil perhitungan daya dukung berdasarkan data SPT pada titik BH-3.

Depth	Nspt	Cu	$\alpha$	$\beta$	Nc	Skin Friction (kN)		End Bearing	Qult (ton)	Qall (ton)
						Local	Cumm			
0	0									
2	3	17,83	0,55	-	8	61,61	61,61	111,97	17,4	6,5
4	3	-	-	1,01	-	391,69	453,30	135,413	58,9	20,5
6	6	-	-	0,90	-	494,20	947,50	270,825	121,8	42,4
8	10	65,19	0,55	-	9	225,28	1172,78	460,57	163,3	57,5
10	12	78,72	0,55	-	9	272,05	1444,83	556,18	200,1	70,4
12	16	105,79	0,55	-	9	365,57	1810,40	747,39	255,8	90,3
14	22	146,38	0,55	-	9	505,87	2316,27	1034,2	335,0	118,6
16	26	173,45	0,55	-	9	576,26	2892,53	1225,4	411,8	145,5
18	30	-	-	0,46	-	913,90	3806,43	1354,125	516,1	181,1
20	37	-	-	0,41	-	900,47	4706,90	1670,088	637,7	223,7
22	60	-	-	0,36	-	867,88	5574,78	2708,25	828,3	294,2
24	60	-	-	0,30	-	815,61	6390,39	2708,25	909,9	321,3
26	60	-	-	0,26	-	745,05	7135,44	2708,25	984,4	346,1
28	60	-	-	0,25	-	786,65	7922,09	2708,25	1063,0	372,3
30	60	-	-	0,25	-	845,72	8767,81	2708,25	1147,6	400,5

Adapun penjelasan mengenai tabel pada titik BH-3 dengan kedalaman 10 m untuk jenis tanah pasir memiliki nilai NSPT 12 menghasilkan nilai daya dukung ujung tiang sebesar 556,18 kN dan Qult sebesar 200,1 ton, sedangkan nilai Qall (Qijin) yang sudah dibagi dengan angka keamanan untuk ujung 3 dan untuk geser 2,5 menghasilkan nilai sebesar 70,4 ton. Pada kedalaman 18 m untuk jenis tanah lempung memiliki nilai NSPT 30 menghasilkan nilai daya dukung ujung tiang sebesar 1354,13 kN dan Qult sebesar 516,1 ton, sedangkan nilai Qall (Qijin) yang sudah dibagi dengan angka keamanan untuk ujung 3 dan untuk geser 2,5 menghasilkan nilai sebesar 181,1 ton.

## 4.2. Perhitungan Penurunan (*Settlement*)

### 4.2.1. Penurunan Pada Titik BH-1

Pada kedalaman 16 m diperoleh nilai N untuk lapisan pasir = 30

Maka,  $q_c = 4N = 4 \times 30 = 120 \text{ kg/cm}^2$

➤ Modulus elastisitas di sekitar tiang ( $E_s$ )

$$E_s = 3 \times q_c$$

$$= 3 \times 120 = 360 \text{ kg/cm}^2 = 36 \text{ mpa}$$

- Menentukan modulus elastisitas tanah di dasar tiang

$$E_b = 10 \times E_s$$

$$= 10 \times 36 \text{ mpa} = 360 \text{ mpa}$$

- Menentukan modulus elastisitas dari bahan tiang

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

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

$$R_a = \frac{A_p}{A_s} = \frac{0,785}{0,785} = 1$$

- Menentukan faktor kekakuan tiang

$$K = \frac{E_p \cdot R_a}{E_s} = \frac{25742,96 \times 1}{36} = 715$$

$$\text{Untuk } \frac{db}{d} = \frac{100}{100} = 1 \text{ (diameter ujung dan atas tiang)}$$

$$\text{Untuk } \frac{l}{d} = \frac{1600}{100} = 16 \text{ cm}$$

Dari masing – masing grafik di peroleh:

$$I_o = 0,1 \left( \text{untuk } \frac{l}{d} = 16; \frac{db}{d} = 1 \right) \text{ (Gambar 2.12)}$$

$$R_k = 1,5 \left( \text{untuk } \frac{l}{d} = 16; K = 715 \right) \text{ (Gambar 2.13)}$$

$$R_h = 0,77 \left( \text{untuk } \frac{l}{d} = 16; \frac{h}{l} = 1,8 \right) \text{ (Gambar 2.14)}$$

$$R_\mu = 0,98 \left( \text{untuk } \mu_s = 0,35; K = 715 \right) \text{ (Gambar 2.15)}$$

$$R_b = 0,35 \left( \text{untuk } \frac{l}{d} = 16; \frac{E_b}{E_s} = 10 \right) \text{ (Gambar 2.16)}$$

- Penurunan dengan beban rencana 300 ton dan 600 ton.

1. Untuk tiang apung atau tiang friksi

$$l = 0.1 \times 1.5 \times 0.77 \times 0.98 = 0.113$$

$$S = \frac{300000 \text{ kg} \times 0,113}{360 \text{ kg/cm}^2 \times 100} = 0,942 \text{ cm} = 9,42 \text{ mm (dengan } Q = 300 \text{ ton)}$$

$$S = \frac{600000 \times 0,113}{360 \text{ kg/cm}^2 \times 100} = 1,884 \text{ cm} = 18,84 \text{ mm (dengan } Q = 600 \text{ ton)}$$

2. Untuk tiang dukung ujung

$$l = 0.1 \times 1.5 \times 0.35 \times 0.98 = 0.0514$$

$$S = \frac{300000 \text{ kg} \times 0,0514}{360 \text{ kg/cm}^2 \times 100} = 0,428 \text{ cm} = 4,28 \text{ mm (dengan } Q = 300 \text{ ton)}$$

$$S = \frac{600000 \text{ kg} \times 0,0514}{\frac{360 \text{ kg}}{\text{cm}^2} \times 100} = 0,857 \text{ cm} = 8,57 \text{ mm (dengan } Q = 600 \text{ ton)}$$

$$S \text{ total} = 9,42 + 4,28 = 13,7 \text{ mm (dengan } Q = 300 \text{ ton)}$$

$$S \text{ total} = 18,84 + 5,87 = 24,71 \text{ mm (dengan } Q = 600)$$

#### 4.2.2. Penurunan Pada Titik BH-2

Pada kedalaman 16 m diperoleh nilai N untuk lapisan pasir = 60

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

- Modulus elastisitas di sekitar tiang ( $E_s$ )

$$\begin{aligned} E_s &= 3 \times q_c \\ &= 3 \times 240 = 720 \text{ kg/cm}^2 = 72 \text{ mpa} \end{aligned}$$

- Menentukan modulus elastisitas tanah di dasar tiang

$$\begin{aligned} E_b &= 10 \times E_s \\ &= 10 \times 72 \text{ mpa} = 720 \text{ mpa} \end{aligned}$$

- Menentukan modulus elastisitas dari bahan tiang

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

$$R_a = \frac{A_p}{A_p} = \frac{0,785}{0,785} = 1$$

- Menentukan faktor kekakuan tiang

$$K = \frac{E_p \cdot R_a}{E_s} = \frac{25742,96 \times 1}{72} = 357$$

$$\text{Untuk } \frac{d_b}{d} = \frac{100}{100} = 1 \text{ (diameter ujung dan atas tiang)}$$

$$\text{Untuk } \frac{l}{d} = \frac{1600}{100} = 16 \text{ cm}$$

Dari masing – masing grafik di peroleh:

$$l_o = 0,1 \left( \text{untuk } \frac{l}{d} = 16; \frac{d_b}{d} = 1 \right) \text{ (Gambar 2.12)}$$

$$R_k = 1,2 \left( \text{untuk } \frac{l}{d} = 16; K = 357 \right) \text{ (Gambar 2.13)}$$

$$R_h = 0,77 \left( \text{untuk } \frac{l}{d} = 16; \frac{h}{l} = 1,8 \right) \text{ (Gambar 2.14)}$$

$$R_\mu = 0,88 \text{ (untuk } \mu_s = 0,35; K = 357 \text{) (Gambar 2.15)}$$

$$R_b = 0,35 \left( \text{untuk } \frac{l}{d} = 16; \frac{E_b}{E_s} = 10 \right) \text{ (Gambar 2.16)}$$

- Penurunan dengan beban rencana 300 ton dan 600 ton.

1. Untuk tiang apung atau tiang friksi

$$l = 0,1 \times 1,2 \times 0,77 \times 0,88 = 0,081$$

$$S = \frac{300000 \text{ kg} \times 0,081}{720 \text{ kg/cm}^2 \times 100} = 0,337 \text{ cm} = 3,37 \text{ mm (dengan } Q = 300 \text{ ton)}$$

$$S = \frac{600000 \times 0,081}{720 \text{ kg/cm}^2 \times 100} = 0,674 \text{ cm} = 6,75 \text{ mm (dengan } Q = 600 \text{ ton)}$$

2. Untuk tiang dukung ujung

$$l = 0,1 \times 1,2 \times 0,35 \times 0,88 = 0,0369$$

$$S = \frac{300000 \text{ kg} \times 0,0369}{720 \text{ kg/cm}^2 \times 100} = 0,154 \text{ cm} = 1,54 \text{ mm (dengan } Q = 300 \text{ ton)}$$

$$S = \frac{600000 \text{ kg} \times 0,0369}{720 \text{ kg/cm}^2 \times 100} = 0,307 \text{ cm} = 3,07 \text{ mm (dengan } Q = 600 \text{ ton)}$$

$$S \text{ total} = 3,37 + 1,54 = 4,91 \text{ mm (dengan } Q = 300 \text{ ton)}$$

$$S \text{ total} = 6,75 + 3,07 = 9,82 \text{ mm (dengan } Q = 600 \text{ ton)}$$

### 4.2.3. Penurunan Pada Titik BH-3

Pada kedalaman 16 m diperoleh nilai N untuk lapisan pasir = 26

Maka,  $q_c = 4N = 4 \times 26 = 104 \text{ kg/cm}^2$

- Modulus elastisitas di sekitar tiang ( $E_s$ )

$$\begin{aligned} E_s &= 3 \times q_c \\ &= 3 \times 104 = 312 \text{ kg/cm}^2 = 31,2 \text{ mpa} \end{aligned}$$

- Menentukan modulus elastisitas tanah di dasar tiang

$$\begin{aligned} E_b &= 10 \times E_s \\ &= 10 \times 31,2 \text{ mpa} = 312 \text{ mpa} \end{aligned}$$

- Menentukan modulus elastisitas dari bahan tiang

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

$$R_a = \frac{A_p}{A_p} = \frac{0,785}{0,785} = 1$$

- Menentukan faktor kekakuan tiang

$$K = \frac{E_p \cdot R_a}{E_s} = \frac{25742,96 \times 1}{31,2} = 825$$

$$\text{Untuk } \frac{db}{d} = \frac{100}{100} = 1 \text{ (diameter ujung dan atas tiang)}$$

$$\text{Untuk } \frac{1}{d} = \frac{1600}{100} = 16 \text{ cm}$$

Dari masing-masing grafik di peroleh:

$$I_o = 0,1 \left( \text{untuk } \frac{1}{d} = 16; \frac{db}{d} = 1 \right) \text{ (Gambar 2.12)}$$

$$R_k = 1,6 \left( \text{untuk } \frac{1}{d} = 16; K = 825 \right) \text{ (Gambar 2.13)}$$

$$R_h = 0,77 \left( \text{untuk } \frac{1}{d} = 16; \frac{h}{l} = 1,8 \right) \text{ (Gambar 2.14)}$$

$$R_\mu = 0,98 \left( \text{untuk } \mu_s = 0,35; K = 825 \right) \text{ (Gambar 2.15)}$$

$$R_b = 0,35 \left( \text{untuk } \frac{1}{d} = 16; \frac{E_b}{E_s} = 10 \right) \text{ (Gambar 2.16)}$$

➤ Penurunan dengan beban rencana 300 ton dan 600 ton.

1. Untuk tiang apung atau tiang friksi

$$l = 0.1 \times 1.6 \times 0.77 \times 0.98 = 0.120$$

$$S = \frac{300000 \text{ kg} \times 0,120}{825 \text{ kg/cm}^2 \times 100} = 0,436 \text{ cm} = 4,36 \text{ mm (dengan } Q = 300 \text{ ton)}$$

$$S = \frac{600000 \times 0,120}{825 \text{ kg/cm}^2 \times 100} = 0,872 \text{ cm} = 8,72 \text{ mm (dengan } Q = 600 \text{ ton)}$$

2. Untuk tiang dukung ujung

$$l = 0.1 \times 1.2 \times 0.35 \times 0.98 = 0,0412$$

$$S = \frac{300000 \text{ kg} \times 0,0412}{825 \text{ kg/cm}^2 \times 100} = 0,149 \text{ cm} = 1,49 \text{ mm (dengan } Q = 300 \text{ ton)}$$

$$S = \frac{600000 \text{ kg} \times 0,0412}{825 \text{ kg/cm}^2 \times 100} = 0,299 \text{ cm} = 2,99 \text{ mm (dengan } Q = 600 \text{ ton)}$$

$$S \text{ total} = 4,36 + 1,49 = 5,85 \text{ mm (dengan } Q = 300 \text{ ton)}$$

$$S \text{ total} = 8,72 + 2,99 = 11,71 \text{ mm (dengan } Q = 600 \text{ ton)}$$

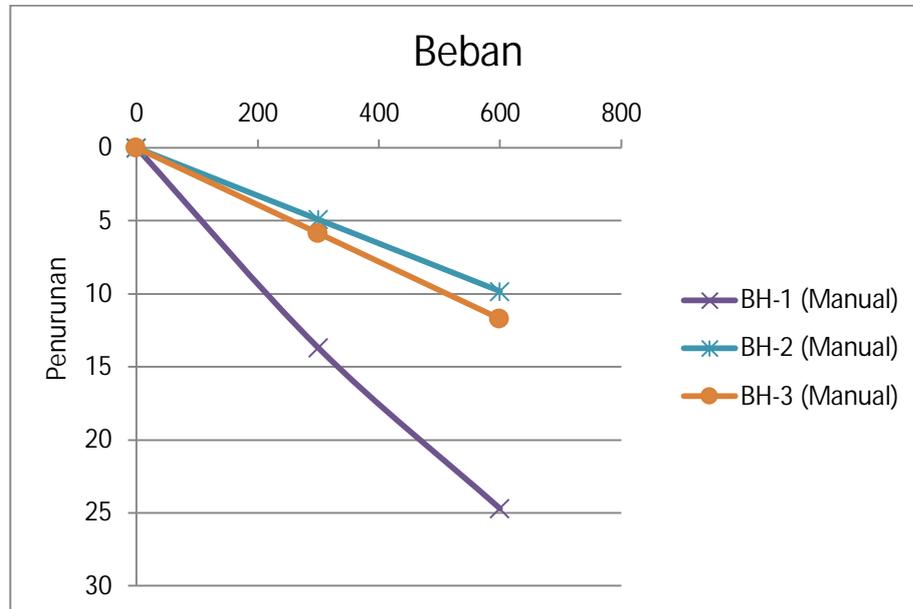
Untuk rekapan nilai perbandingan penurunan dapat dilihat pada Tabel 4.4 dan kurva penurunan dapat dilihat pada Gambar 4.1.

Tabel 4.4: Rekapitulasi perhitungan penurunan tiang tunggal.

No	Titik	Beban	Penurunan untuk tiang Apung/friksi	Penurunan untuk tiang dukung ujung	S-Total
1	BH-1	300	9,42 mm	4,28 mm	13,7 mm
		600	18,84 mm	8,57 mm	24,71 mm
2	BH-2	300	3,37 mm	1,54 mm	4,91 mm
		600	6,75 mm	3,07 mm	9,82 mm
3	BH-3	300	4,36 mm	1,49 mm	5,85 mm
		600	8,72 mm	2,99 mm	11,71 mm

Dari hasil tabel rekapitulasi di atas titik BH-1 dengan beban 300 menghasilkan nilai penurunan (S-Total) sebesar 13,7 mm dan beban 600 sebesar 24,71 mm.

Titik BH-2 dengan beban 300 menghasilkan nilai penurunan (S-Total) sebesar 4,91 mm dan beban 600 sebesar 9,82 mm. titik BH-3 dengan beban 300 menghasilkan nilai penurunan sebesar 5,85 mm dan beban 600 sebesar 11,71 mm.



Gambar 4.1: Kurva penurunan titik BH-1, BH-2 dan BH-3.

Terlihat jelas perbedaan ketiga kurva diatas karena memiliki karakteristik tanah yang berbeda2 dari tiap titiknya. Dalam perhitungan manual pada titik BH-1 memiliki lapisan tanah yang kurang baik sehingga mengalami penurunan yang cukup signifikan.

#### 4.3. Kapasitas Daya Dukung *Bored Pile* dari Data *Loading Test*

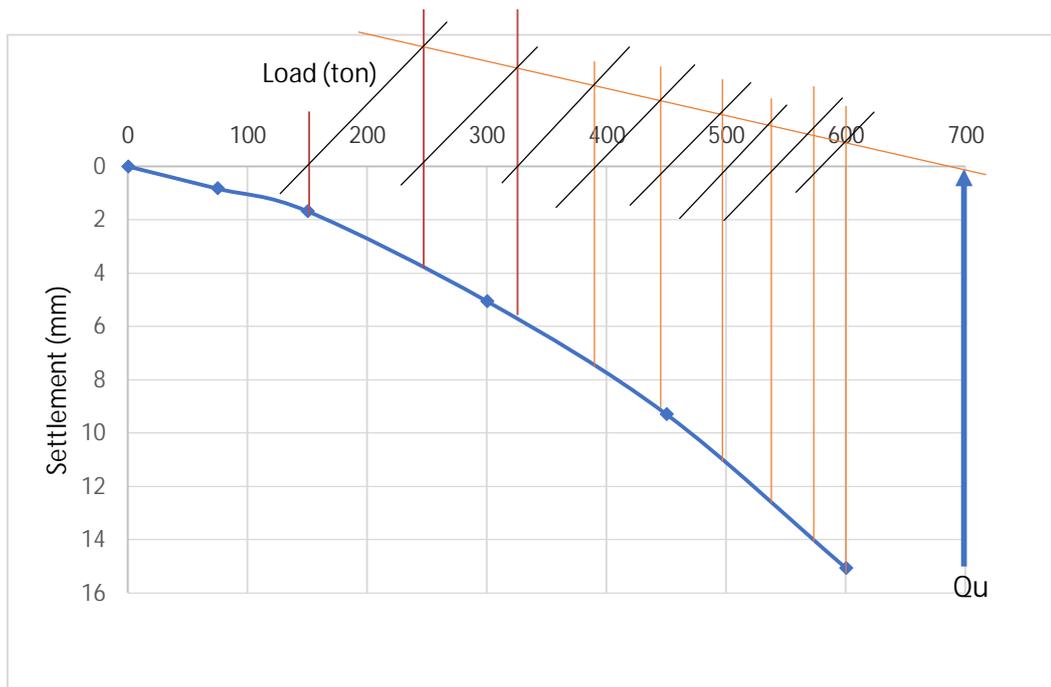
Data *bored pile*:

Diameter tiang (D)	= 100 cm = 1 m = 39,3701 in
Panjang tiang (L)	= 15 m
Keliling <i>bored pile</i> (p)	= $\pi \times D = 3.14 \times 100 = 314 \text{ cm} = 3.14 \text{ m}$
Luas <i>bored pile</i> (Ap)	= $\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 = \frac{1}{4} \times 3.14 \times 100^2 = 0.785 \text{ m}^2$
Modulus elastisitas Ep	= $4700 \cdot \sqrt{35} = 25742.9 \text{ mpa}^2 = 25742900 \text{ kN/m}^2$
Beban rencana	= 300 ton = 2940 kN
Beban uji	= 600 ton = 5880 kN

#### 4.3.1. Menginterpretasikan Data Hasil Uji Pembebanan Menggunakan Metode Mazurkiewicz (1972)

Beban runtuh ditentukan dari perpotongan garis BC pada kurva beban-penurunan (Gambar 4.2).

1. Diplot kurva beban uji yang diberikan terhadap penurunan.
2. Menarik garis dari beberapa titik penurunan yang dipilih hingga memotong kurva, kemudian ditarik garis vertikal hingga memotong sumbu beban.
3. Dari perpotongan setiap beban tersebut dibuat garis bersudut  $45^\circ$  terhadap garis perpotongan berikutnya dan seterusnya.
4. Menghubungkan titik-titik yang terbentuk ini hingga menghasilkan sebuah garis lurus. Perpotongan garis lurus ini dengan sumbu beban merupakan beban ultimitnya (Gambar 4.2).



Gambar 4.2: Interpretasi daya dukung dengan metode Mazurkiewicz (1972).

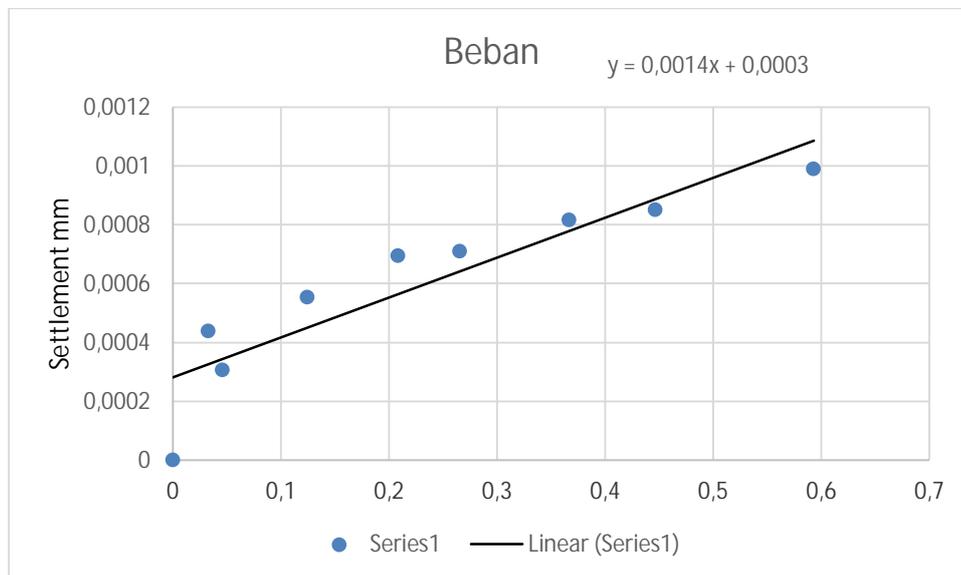
Dengan menggambarkan garis ini pada kurva beban penurunan diperoleh beban maksimum ( $Q_u$ ) dengan metode Mazurkiewicz sebesar = 700 ton.

#### 4.3.2. Menginterpretasikan Data Hasil Uji Pembebanan Menggunakan Metode Chin

1. Plot kurva antara rasio beban terhadap penurunan ( $S/Q$ ).
2. Diperoleh persamaan garis tersebut adalah  $S/Q = C1.S + C2$ .
3.  $C1$  dihitung dari persamaan garis atau dari gradien/kemiringan.
4. Beban ultimit adalah  $1/C1$ . Metode ini biasanya menghasilkan beban ultimit beban yang terlalu tinggi sehingga harus dikoreksi (1,2 – 1,4), Sehingga diperoleh hasil sebagai berikut:

$$Q_{ult} = \frac{1}{0,0014}$$
$$= 714 \text{ ton}$$

Dari langkah penyelesaian dengan menggunakan Metode Chin, maka diperoleh beban ultimate ( $Q_{ult}$ ) dari data hasil *Loading Test* dilokasi tersebut dapat dilihat pada gambar grafik 4.3.



Gambar 4.3: Interpretasi daya dukung dengan metode Chin.

Dengan menggambarkan garis ini pada kurva beban penurunan diperoleh beban maksimum ( $Q_{ult}$ ) dengan metode Chin sebesar = 714 ton.

### 4.3.3. Menginterpretasikan Data Hasil Uji Pembebanan Menggunakan Metode Davisson

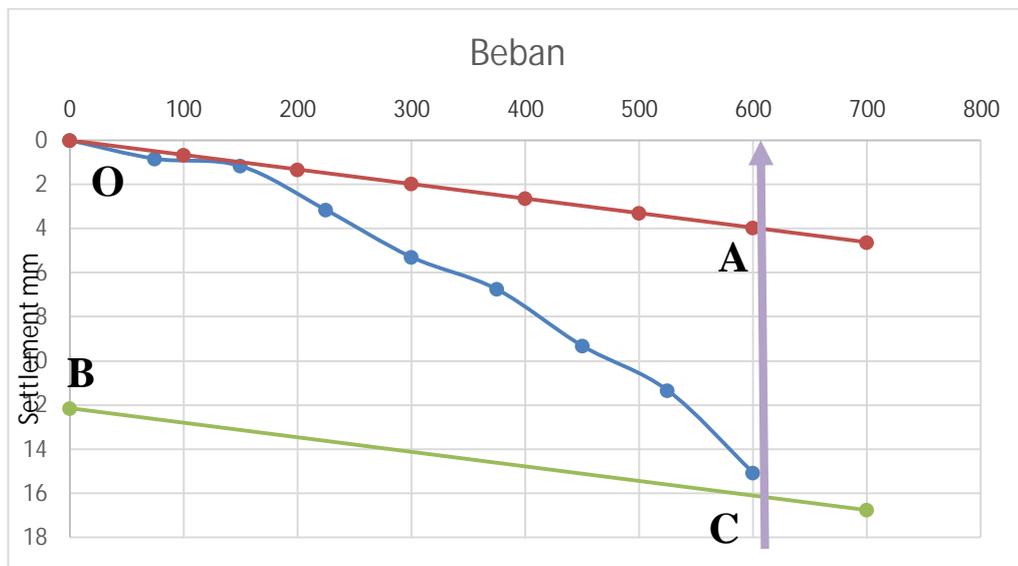
1. Gambarkan kurva beban-penurunan.
2. Tentukan penurunan elastis dari tiang dengan Pers. 2.5.

$$\Delta = \frac{5340 \times 15}{0.785 \times 25742900} = 0.0039 \text{ m} = 3.9 \text{ mm}$$

3. Gambarkan sebuah garis OA berdasarkan persamaan diatas
4. Gambarkan sebuah garis BC yang sejajar dengan OA pada jarak sejauh x menggunakan Pers. 2.6.

$$x = 0.15 + \frac{39.3701}{120} = 0.478 \text{ in} = 12.1 \text{ mm}$$

5. Beban runtuh ditentukan dari perpotongan garis BC pada kurva beban-penurunan (Gambar 4.4).

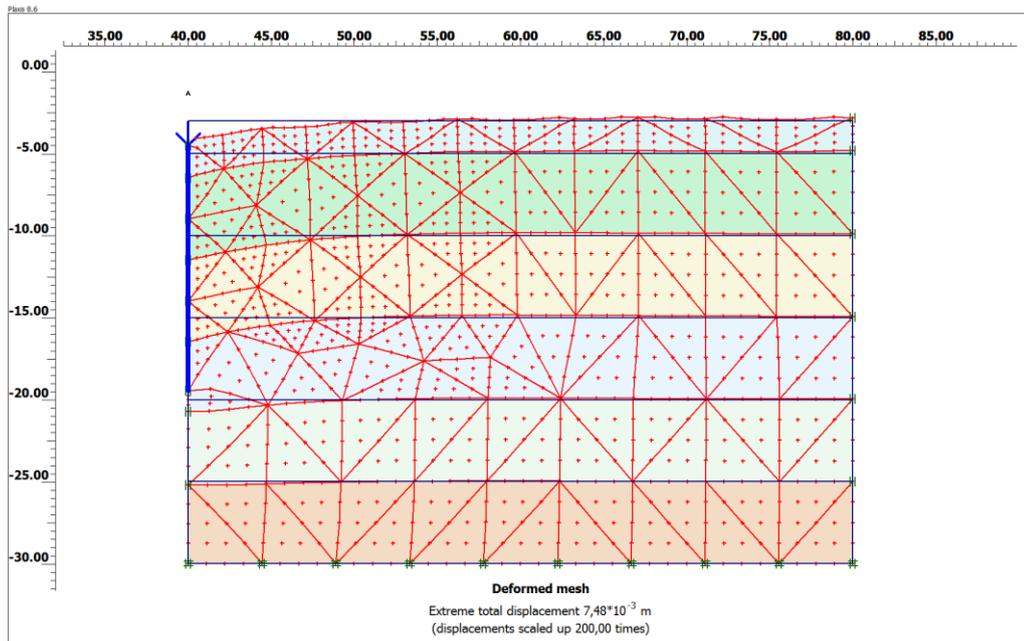


Gambar 4.4: Interpretasi daya dukung dengan metode Davisson.

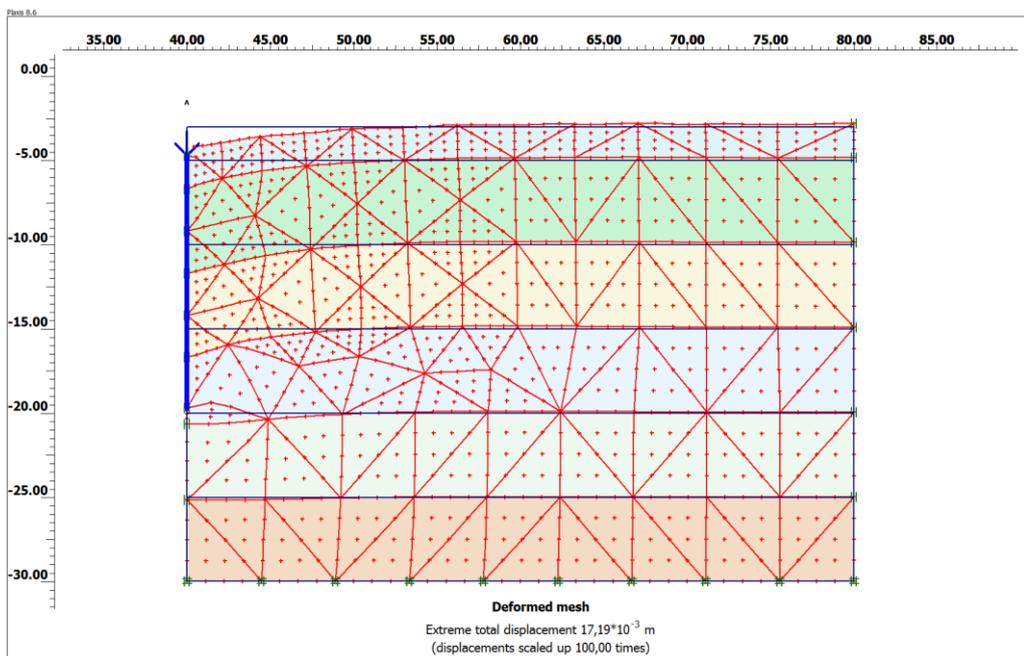
Dengan menggambarkan garis ini pada kurva beban penurunan diperoleh beban maksimum ( $Q_{ult}$ ) dengan metode Davisson sebesar = 600 ton.

#### 4.4. Hasil Analisis Program Plaxis Untuk Penurunan

Setelah melakukan kalkulasi pada tahapan analisis kemudian dapat dilihat hasil outputnya berupa gambar dan grafik seperti Gambar 4.5 dan Gambar 4.6.



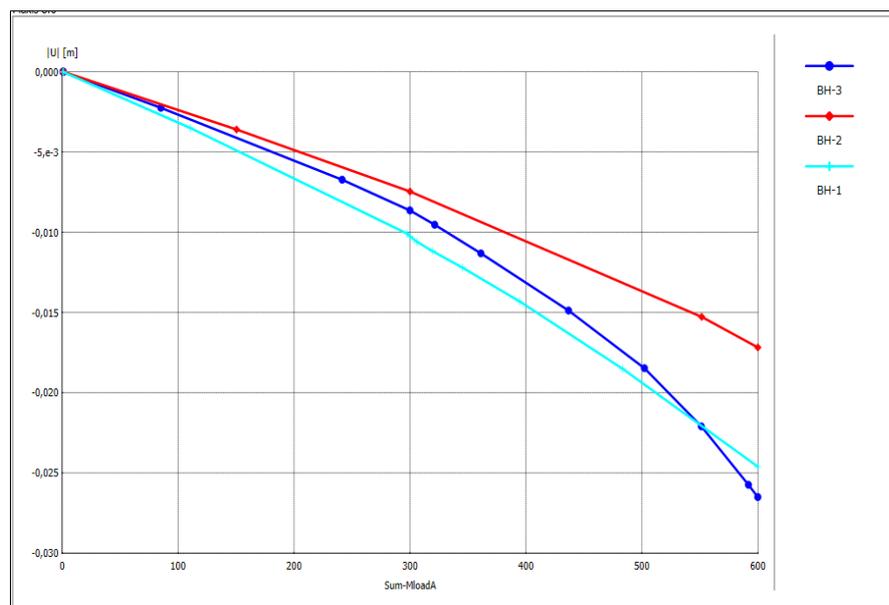
Gambar 4.5: Penurunan dengan beban 300 ton.



Gambar 4.6: Penurunan dengan beban 600 ton.

Kedua gambar penurunan diatas adalah perwakilan dari ketiga titik tersebut yang diambil dari program Plaxis pada titik BH-2, karna pada titik tersebut yang memiliki struktur lapisan tanah yang cukup baik diantara 3 titik tersebut.

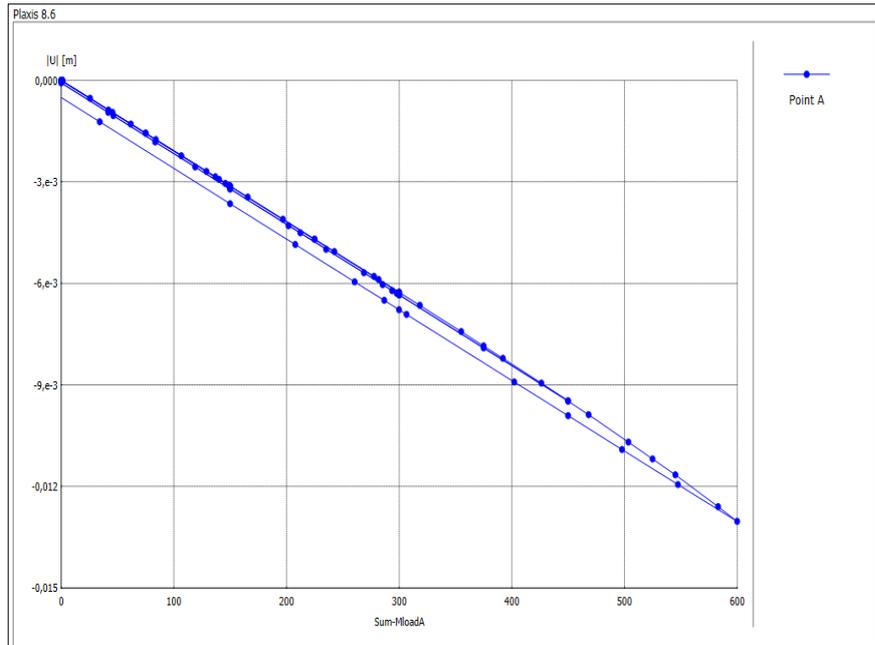
Setelah proses perhitungan selesai, maka langkah berikutnya adalah masuk pada katagori kurva penurunan. Adapun perbandingan kurva penurunan antara titik BH-1, BH-2 dan BH-3 dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7: Kurva perbandingan penurunan antara titik BH-1, BH-2 dan BH-3 dalam program Plaxis.

Pada gambar 4.7 yang dihasilkan oleh program Plaxis dijelaskan bahwa grafik berwarna hijau titik BH-1 yang menghasilkan nilai penurunan sebesar 24,62 mm, grafik berwarna merah titik BH-2 yang menghasilkan nilai penurunan sebesar 17,19 mm dan yang berwarna biru titik BH-3 yang menghasilkan nilai penurunan sebesar 26,51 mm.

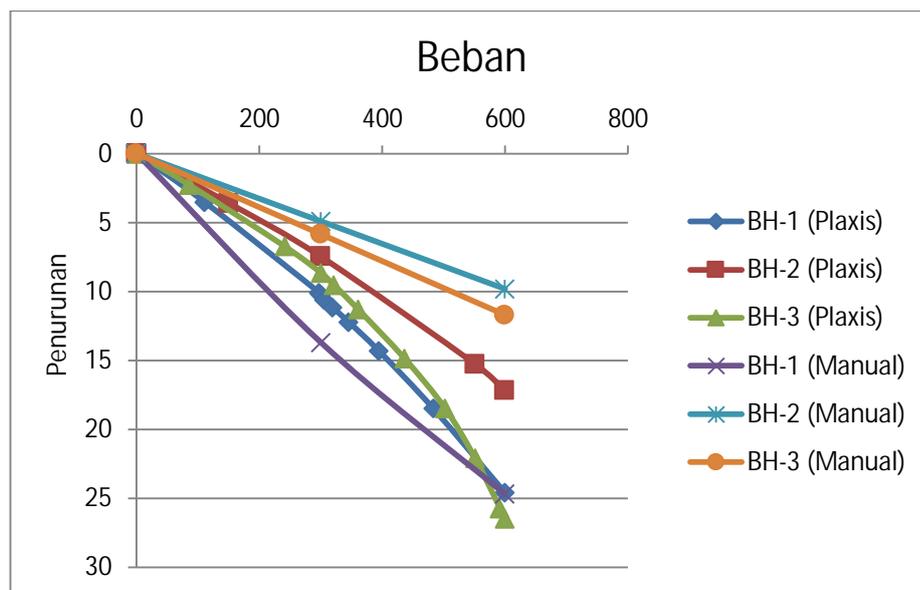
Adapun kurva pembebanan dan penurunan Loading test yang dihasilkan oleh program Plaxis dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8: Kurva beban *versus* penurunan menggunakan program analisis.

#### 4.5. Perbandingan Hasil Analitis dan Program Plaxis untuk Penurunan dan *Loading Test*

Adapun kurva perbandingan penurunan antara analitis dan program Plaxis dapat dilihat pada Gambar 4.9.

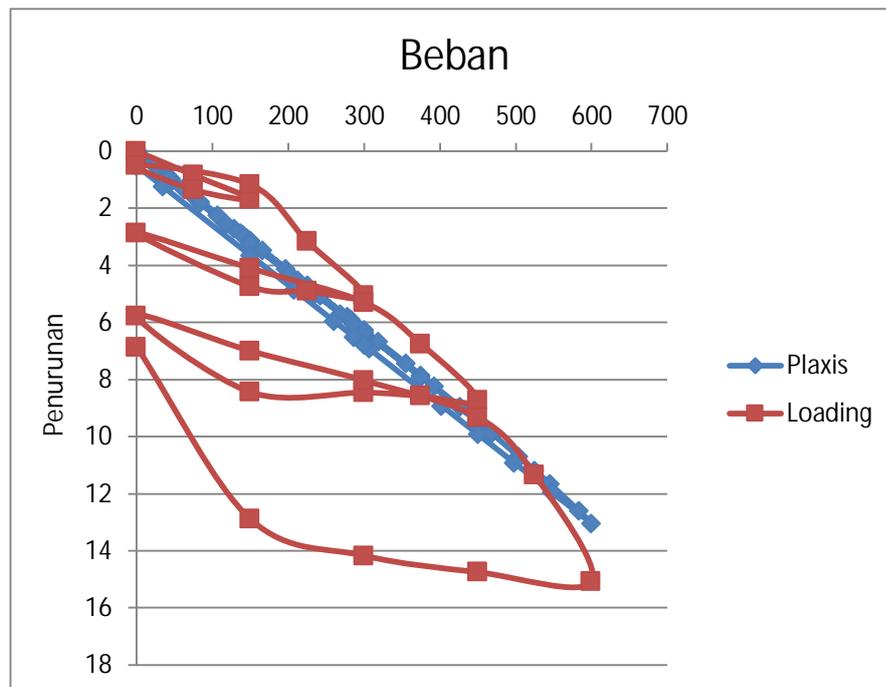


Gambar 4.9: Kurva perbandingan antara analitis dan program Plaxis.

Pada Gambar 4.9 dijelaskan bahwa grafik yang berwarna biru, orange dan ungu untuk perhitungan manual, sedangkan grafik yang berwarna merah, hijau dan dongker untuk perhitungan Plaxis.

Dalam gambar tersebut untuk perhitungan manual gambar grafik terlihat lurus kebawah sedangkan untuk perhitungan Plaxis terlihat sedikit melengkung kebawah, karena dalam perhitungan manual yang diketahui hanya elemen tanah ujung tiang dan permukaan tiang, sedangkan dalam perhitungan program Plaxis mengetahui sampai elemen-elemen tanah yang terkecil. Jadi menggunakan program jauh lebih akurat hasil perhitungannya.

Adapun kurva perbandingan *Loading test* antara analitis dan program Plaxis dapat dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10: Kurva perbandingan beban *versus* penurunan dengan metode elemen hingga dan data *loading test*.

#### 4.6. Hasil Analitis Daya Dukung Program Plaxis

1. Dari hasil perhitungan titik BH-1 dengan menggunakan program analisis di dapat nilai tegangan efektif sebesar 4528,93 kN/m<sup>2</sup> maka nilai Qu adalah:

$$Qu = \sigma \cdot Ap$$

$$\begin{aligned} Qu &= 4528,93 \times 0,785 \\ &= 3555,21 \text{ kN} \\ &= 355 \text{ ton} \end{aligned}$$

Dengan penurunan sebesar:

- 10,26 mm untuk beban 300 ton
- 24,62 mm untuk beban 600 ton

2. Dari hasil perhitungan titik BH-2 dengan menggunakan program analisis di dapat nilai tegangan efektif sebesar 16.262 kN/m<sup>2</sup> maka nilai Qu adalah:

$$Qu = \sigma \cdot Ap$$

$$\begin{aligned} Qu &= 12.262 \times 0,785 \\ &= 12.765,67 \text{ kN} \\ &= 1276 \text{ ton} \end{aligned}$$

Dengan penurunan sebesar:

- 7,48 mm untuk beban 300 ton
- 17,19 mm untuk beban 600 ton

3. Dari hasil perhitungan titik BH-1 dengan menggunakan program analisis di dapat nilai tegangan efektif sebesar 2240,53 kN/m<sup>2</sup> maka nilai Qu adalah:

$$Qu = \sigma \cdot Ap$$

$$\begin{aligned} Qu &= 2240,53 \times 0,785 \\ &= 1758,8 \text{ kN} \\ &= 176 \text{ ton} \end{aligned}$$

Dengan penurunan sebesar:

- 8,65 mm untuk beban 300 ton
- 26,51 mm untuk beban 600 ton

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Setelah melakukan pengolahan data, analisis dan evaluasi daya dukung serta penurunan pada podasi tiang bor dengan cara analitis dan menggunakan metode elemen hingga yang akan dibandingkan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Cara analitis menghasilkan daya dukung ultimit sebesar:

- 1) Titik BH-1 = 1153,1 ton
- 2) Titik BH-2 = 1234,7 ton
- 3) Titik BH-3 = 1147,4 ton

Elemen hingga (Plaxis) menghasilkan daya dukung ultimit sebesar:

- 1) Titik BH-1 = 355 ton
- 2) Titik BH-2 = 1276 ton
- 3) Titik BH-3 = 176 ton

2. Penurunan yang dihasilkan dari analitis sebesar:

- 1) Titik BH-1
  - Beban 300 ton = 13,7 mm
  - Beban 600 ton = 24,71 mm
- 2) Titik BH-2
  - Beban 300 ton = 4,91 mm
  - Beban 600 ton = 9,82 mm
- 3) Titik BH-3
  - Beban 300 ton = 5,85 mm
  - Beban 600 ton = 11,71 mm

Penurunan yang dihasilkan dari program analisis (Plaxis) sebesar:

- 1) Titik BH-1
  - Beban 300 ton = 10,26 mm
  - Beban 600 ton = 24,62 mm
- 2) Titik BH-2
  - Beban 300 ton = 7,48 mm

Beban 600 ton = 17,19 mm

3) Titik BH-3

Beban 300 ton = 8,65 mm

Beban 600 ton = 26,51 mm

3. Selisih penurunan Plaxis dan analitis:

- 1) Titik BH-1 untuk beban 600 ton adalah 0,09 mm atau 0,45% dari penurunan sebenarnya.
- 2) Titik BH-2 untuk beban 600 ton adalah 7,37 mm atau 36,85% dari penurunan sebenarnya.
- 3) Titik BH-3 untuk beban 600 ton adalah 14,8 mm atau 74% dari penurunan sebenarnya.

## 5.2. Saran

Dari hasil analisis serta kesimpulan yang diambil pada tugas akhir ini, penulis memberi saran untuk proses pemaksimalan perhitungan serta keakuratan hasil perhitungan kedepannya nanti, yaitu sebagai berikut:

1. Untuk menganalisis daya dukung pondasi lebih akurat memakai hasil data *loading test* karena hasil yang dikeluarkan alat *loading test* benar-benar menyajikan keadaan dilapangan sebenarnya.
2. Untuk memaksimalkan hasil perhitungan daya dukung dan penurunan, parameter-parameter yang digunakan sebagai input dalam program plaxis harus benar-benar diperhatikan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Das, B. M. (2007) *Principles of Foundation Engineering, SI*, Seventh, Edition United States of America: ©2011, 2007 Cengage Learning.
- Das, B. M. (2007) *Principles of Foundation Engineering*, Sixth Edition, North America: © 2007 by Nelson.
- Das, B. M. (1995) *Mekanika Tanah (Prinsi-prinsip Rekayasa Geoteknik)*, Jilid 1, Jakarta: Erlangga.
- Bowles, J. E. (1997) *Analisis Dan Desain Pondasi*, Edisi Keempat 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.
- 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.
- 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 Indonesia 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.

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

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.

# **LAMPIRAN**

Tabel L.1: Hasil pengujian beban statik aksil tekan (Loading test).

Siklus	Waktu		Beban		Pembacaan Penurunan (mm)				Rata-rata Penurunan (mm)
	Jam	Menit	Ton	%	1	2	3	4	
No		Durasi							
I	17.30	0	0	0	0	0	0	0	0
	17.30	0	75	25	0,58	0,36	0,79	1,05	0,695
		10			0,69	0,42	0,86	1,09	0,765
		20			0,71	0,43	0,86	1,1	0,775
		30			0,74	0,46	0,89	1,12	0,8025
		40			0,75	0,46	0,89	1,13	0,8075
		50			0,77	0,48	0,91	1,16	0,83
		60			0,79	0,48	0,91	1,16	0,835
	18.30	0	150	50	1,37	1,04	1,58	2	1,4975
		10			1,44	1,09	1,64	2,07	1,56
		20			1,48	1,13	1,69	2,11	1,6025
		30			1,51	1,16	1,71	2,15	1,6325
		40			1,54	1,18	1,73	2,16	1,6525
		50			1,57	1,21	1,75	2,19	1,68
		60			1,57	1,21	1,75	2,19	1,68
	19.30	0	75	25	1,35	0,93	1,45	1,73	1,365
		10			1,35	0,92	1,41	1,73	1,3525
		20			1,34	0,93	1,41	1,72	1,35
	19.50	0	0	0	0,8	0,45	0,75	0,71	0,6775
		10			0,53	0,38	0,58	0,56	0,5125
		20			0,5	0,36	0,56	0,53	0,4875
II	20.10	0	150	50	1,08	0,69	1,22	1,46	1,1125
		10			1,13	0,74	1,25	1,51	1,1575
		20			1,15	0,75	1,25	1,51	1,165
	20.30	0	225	75	2,72	2,28	2,81	3,55	2,84
		10			2,87	2,43	2,91	3,68	2,9725
		20			2,94	2,5	2,96	3,74	3,035
		30			2,98	2,54	2,99	3,77	3,07
		40			3,01	2,57	3,02	3,78	3,095
		50			3,04	2,6	3,05	3,81	3,125
		60			3,08	2,64	3,07	3,84	3,1575

Tabel L.2: Lanjutan.

Siklus No	Waktu		Beban		Pembacaan Penurunan (mm)				Rata-rata Penurunan (mm)
	Jam	Menit Durasi	Ton	%	1	2	3	4	
	21.30	0	300	100	4,5	4	4,35	5,3	4,5375
		10			4,79	4,2	4,53	5,52	4,76
		20			4,9	4,32	4,61	5,62	4,8625
		30			5	4,38	4,67	5,67	4,93
		40			5	4,42	4,69	5,7	4,9525
		50			5,04	4,45	4,71	5,71	4,9775
		60			5,06	4,49	4,75	5,75	5,0125
		70			5,1	4,5	4,78	5,77	5,0375
		80			5,13	4,53	4,78	5,79	5,0575
	22.50	0	225	75	4,99	4,4	4,65	5,62	4,915
		10			4,99	4,4	4,64	5,58	4,9025
		20			4,99	4,4	4,64	5,58	4,9025
	23.10	0	150	50	4,85	4,28	4,48	5,4	4,7525
		10			4,84	4,28	4,47	5,39	4,745
		20			4,84	4,28	4,47	5,39	4,745
	23.30	0	0	0	3,72	3,6	3,08	3,17	3,3925
		10			3,26	2,44	2,69	3	2,915
		20			3,21	2,39	2,9	2,96	2,865
III	23.50	0	150	50	4,3	3,42	3,85	4,54	4,0275
		10			4,35	3,45	3,89	4,6	4,0725
		20			4,38	3,48	3,92	4,62	4,1
	00.10	0	300	100	5,33	4,33	4,99	5,93	5,145
		10			5,45	4,43	5,08	6,01	5,2425
		20			5,51	4,48	5,14	6,04	5,2925
	00.30	0	375	125	6,45	5,4	6,01	7,08	6,235
		10			6,78	5,68	6,26	7,28	6,5
		20			6,88	5,77	6,34	7,36	6,5875
		30			6,93	5,82	6,38	7,42	6,6375
		40			6,98	5,86	6,43	7,45	6,68
		50			7,03	5,9	6,46	7,5	6,7225
		60			7,05	5,93	6,5	7,53	6,7525

Tabel L.3: Lanjutan.

Siklus No	Waktu		Beban		Pembacaan Penurunan (mm)				Rata-rata Penurunan (mm)
	Jam	Menit Durasi	Ton	%	1	2	3	4	
	01.30	0	450	150	8,4	7,3	7,72	8,85	8,0675
		10			8,67	7,56	7,94	9,05	8,305
		20			8,81	7,67	8,05	9,14	8,4175
		30			8,9	7,75	8,1	9,2	8,4875
		40			8,95	7,81	8,16	9,26	8,545
		50			9	7,86	8,2	9,3	8,59
		60			9,05	7,9	8,26	9,36	8,6425
		70			9,08	7,93	8,29	9,37	8,6675
		80			9,12	7,95	8,32	9,4	8,6975
		90			9,14	7,97	8,34	9,43	8,72
	03.00	0	375	125	8,98	7,8	8,21	9,31	8,575
		10			8,98	7,8	8,21	9,31	8,575
		20			8,98	7,8	8,21	9,31	8,575
	03.20	0	300	100	8,91	7,71	8,13	9,18	8,455
		10			8,9	7,71	8,1	9,1	8,4525
		20			8,9	7,71	8,1	9,1	8,4525
	03.40	0	150	50	8,87	7,69	8,07	9,13	8,44
		10			8,87	7,69	8,07	9,13	8,44
		20			8,87	7,69	8,07	9,13	8,44
	04.00	0	0	0	6,95	5,4	6,02	6,15	6,13
		10			6,49	5,23	5,8	5,85	5,8425
		20			6,41	5,15	5,72	5,77	5,7625
IV	04.20	0	150	50	7,64	6,22	6,65	7,35	6,965
		10			7,68	6,25	6,68	7,37	6,995
		20			7,68	6,25	6,68	7,37	6,995
	04.40	0	300	100	8,57	7,07	7,7	8,6	7,985
		10			8,61	7,07	7,75	8,64	8,0175
		20			8,62	7,09	7,77	8,65	8,0325
	05.00	0	450	150	9,68	8,08	8,83	9,89	9,12
		10			9,92	8,3	9	10,05	9,3175
		20			9,98	8,34	9,04	10,07	

Tabel L.4: Lanjutan.

Siklus No	Waktu		Beban		Pembacaan Penurunan (mm)				Rata-rata Penurunan (mm)
	Jam	Menit Durasi	Ton	%	1	2	3	4	
	05.20	0	525	175	11,18	9,61	10,24	11,35	10,595
		10			11,64	10,01	10,55	11,64	10,96
		20			11,74	10,12	10,64	11,72	11,055
		30			11,84	10,23	10,7	11,82	11,1475
		40			11,87	10,26	10,73	11,85	11,1775
		50			11,98	10,37	10,84	11,95	11,285
		60			12,05	10,42	10,9	11,99	11,34
	06.20	0	600	200	13,2	11,6	11,98	13,13	12,4775
		10			13,38	11,81	12,13	13,27	12,6475
		20			13,58	12,01	12,3	13,42	12,8275
		30			13,72	12,15	12,43	13,53	12,9575
		40			13,85	12,26	12,53	13,62	13,065
		50			13,9	12,32	12,59	13,69	13,125
	07.20	60			13,95	12,35	12,62	13,71	13,1575
		70			14	12,41	12,66	13,76	13,2075
		80			14,05	12,45	12,7	13,78	13,245
		90			14,12	12,52	12,75	13,82	13,2975
		100			14,15	12,55	12,74	13,85	13,3225
	08.10	110			14,18	12,57	12,76	13,88	13,3475
	09.10	170			15,47	13,91	14	15,08	14,615
	10.10	230			15,59	14,02	14,11	15,19	14,7275
	11.10	290			15,66	14,1	14,17	15,25	14,795
	12.10	350			15,71	14,15	14,23	15,3	14,8475
	13.10	410			15,78	14,2	14,31	15,37	14,9425
	14.10	470			15,83	14,24	14,34	15,43	14,96
	15.10	530			15,85	14,26	14,36	15,48	14,9875
	16.10	590			15,87	14,28	14,4	15,49	15,01
	17.10	650			15,91	14,31	14,44	15,55	15,0525
	18.10	710			15,93	14,33	14,45	15,57	15,07
	18.10	0	450	150	15,62	13,94	14,13	15,3	14,7475
		10			15,62	13,94	14,13	15,3	14,7475
		20			15,63	13,95	14,13	15,25	14,7475
		30			15,63	13,95	14,13	15,25	14,7475
		40			15,63	13,95	14,13	15,25	14,7475
		50			15,63	13,95	14,13	15,25	14,7475

Tabel L.5: Lanjutan.

Siklus No	Waktu		Beban		Pembacaan Penurunan (mm)				Rata-rata Penurunan (mm)
	Jam	Menit Durasi	Ton	%	1	2	3	4	
		60			15,63	13,95	14,13	15,25	14,7475
	19.10	0	300	100	15,06	13,42	13,65	14,73	14,215
		10			15,03	13,42	13,63	14,71	14,1975
		20			15,02	13,41	13,62	14,69	14,185
		30			15,02	13,41	13,61	14,67	14,1775
		40			15,01	13,41	13,6	14,67	14,1725
		50			15,01	13,41	13,6	14,67	14,1725
		60			15	13,41	13,6	14,67	14,17
	20.10	0	150	50	14,03	12,3	12,38	13,22	12,9825
		10			14,03	12,3	12,37	13,22	12,98
		20			14,01	12,27	12,35	13,22	12,9625
		30			14,01	12,27	12,35	13,22	12,9625
		40			13,98	12,23	12,32	13,21	12,935
		50			13,96	12,21	12,3	13,16	12,9057
		60			13,93	12,19	12,28	13,15	12,8875
	21.10	0	0	0	12,7	10,6	11,14	11,3	11,435
	22.10	60			11,81	9,9	10,5	10,58	10,6975
	23.10	120			11,68	9,75	10,38	10,47	10,57
	00.10	180			11,59	9,62	10,3	10,37	10,47
	01.10	240			9,82	8,75	8,88	8,89	9,085
	02.10	300			8,46	6,85	7,82	7,61	7,685
	03.10	360			8,41	6,79	7,8	7,57	7,6425
	04.10	420			8,41	6,79	7,8	7,57	7,6425
	05.10	480			8,41	6,79	7,8	7,57	7,6425
	06.10				8,33	6,67	7,67	4,82	6,8725
	07.10				8,32	6,66	7,65	4,81	6,86
	08.10				8,32	6,66	7,65	4,81	6,86
	09.10				8,32	6,66	7,65	4,81	6,86
	10.10				8,32	6,66	7,65	4,81	6,86
	11.10				8,32	6,66	7,65	4,81	6,86
	12.10				8,32	6,66	7,65	4,81	6,86



Tabel L.6: Hasil perhitungan daya dukung titik BH-1 (Metode REESE AND O'NEILL (1999)).

No	z (m)	$\Delta$ (m)	Nspt	Clay or Sand?	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\sigma_{\text{effective}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	Clay, cu (kPa)	$\alpha$	$\beta$	Friction (kPa)	Qsi	$\Sigma Q_s$	Nc*	Clay $\Sigma Q_b$	Sand $\Sigma Q_b$	$\Sigma Q_b$	$\Sigma Q_s + \Sigma Q_b$	Qall
							□												
1	0	0	0									0							0
2	2	2	3	clay	21,8	12	24	17,83	0,55	-	9,81	61,61	61,61	8,00	112,02	-	112,02	17,4	6,5
3	4	2	3	sand	21,8	12	48	-	-	1,01	48,58	305,21	366,82	-	0	135,4812	135,4812	50,2	17,6
4	6	2	4	clay	27,8	18	84	24,60	0,55	-	13,53	84,99	451,81	9,00	173,85	-	173,85	62,6	22,0
5	8	2	4	clay	27,8	18	120	24,60	0,55	-	13,53	84,99	536,80	9,00	173,85	-	173,85	71,1	24,8
6	10	2	7	clay	27,8	18	156	44,89	0,55	-	24,69	155,14	691,94	9,00	317,33	-	317,33	100,9	35,8
7	12	2	9	sand	27,8	18	192	-	-	0,65	125,71	789,88	1481,82	-	0	406,4435	406,4435	188,8	65,7
8	14	2	21	sand	27,8	18	228	-	-	0,59	133,84	840,97	2322,79	-	0	948,3683	948,3683	327,1	115,4
9	16	2	30	sand	27,8	18	264	-	-	0,52	138,34	869,19	3191,98	-	0	1354,812	1354,812	454,7	160,6
10	18	2	41	sand	27,8	18	300	-	-	0,46	139,44	876,12	4068,10	-	0	1851,576	1851,576	592,0	209,7
11	20	2	53	sand	27,8	18	336	-	-	0,41	137,36	863,04	4931,14	-	0	2393,501	2393,501	732,5	260,1
12	22	2	60	sand	27,8	18	372	-	-	0,36	132,26	831,02	5762,16	-	0	2709,624	2709,624	847,2	300,5
13	24	2	60	sand	27,8	18	408	-	-	0,30	124,30	780,98	6543,14	-	0	2709,624	2709,624	925,3	326,5
14	26	2	60	sand	27,8	18	444	-	-	0,26	113,59	713,72	7256,86	-	0	2709,624	2709,624	996,6	350,3
15	28	2	60	sand	27,8	18	480	-	-	0,25	120,00	753,98	8010,84	-	0	2709,624	2709,624	1072,0	375,4
16	30	2	60	sand	27,8	18	516	-	-	0,25	129,00	810,53	8821,37	-	0	2709,624	2709,624	1153,1	402,4

Tabel L.7: Hasil perhitungan daya dukung titik BH-2 (Metode REESE AND O'NEILL (1999)).

No	z (m)	$\Delta$ (m)	Nspt	Clay or Sand?	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\sigma_{\text{effective}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	Clay,cu (kPa)	$\alpha$	$\beta$	Friction (kPa)	Qsi	$\Sigma Q_s$	Nc*	Clay $\Sigma Q_b$	Sand $\Sigma Q_b$	$\Sigma Q_b$	$\Sigma Q_s + \Sigma Q_b$	Qall
							□												
1	0	0	0									0							0
2	2	2	3	clay	25,8	16	32	17,83	0,55	-	9,81	61,61	61,61	8,00	112,02	-	112,02	17,4	6,5
3	4	2	3	sand	21,8	12	56	-	-	1,01	56,67	356,08	417,69	-	0	135,4812	135,4812	55,3	19,3
4	6	2	5	clay	27,8	18	92	31,36	0,55	-	17,25	108,38	526,07	9,00	221,68	-	221,68	74,8	26,4
5	8	2	14	clay	27,8	18	128	92,26	0,55	-	50,74	318,81	844,88	9,00	652,11	-	652,11	149,7	54,2
6	10	2	20	clay	27,8	18	164	132,85	0,55	-	73,07	459,10	1303,98	9,00	939,07	-	939,07	224,3	81,0
7	12	2	41	sand	27,8	18	200	-	-	0,65	130,95	822,79	2126,77	-	0	1851,576	1851,576	397,8	145,0
8	14	2	60	sand	27,8	18	236	-	-	0,59	138,54	870,48	2997,25	-	0	2709,624	2709,624	570,7	208,3
9	16	2	60	sand	27,8	18	272	-	-	0,52	142,53	895,53	3892,78	-	0	2709,624	2709,624	660,2	238,1
10	18	2	60	sand	27,8	18	308	-	-	0,46	143,16	899,48	4792,26	-	0	2709,624	2709,624	750,2	268,1
11	20	2	60	sand	27,8	18	344	-	-	0,41	140,63	883,58	5675,84	-	0	2709,624	2709,624	838,5	297,6
12	22	2	60	sand	27,8	18	380	-	-	0,36	135,10	848,89	6524,73	-	0	2709,624	2709,624	923,4	325,9
13	24	2	60	sand	27,8	18	416	-	-	0,30	126,73	796,29	7321,02	-	0	2709,624	2709,624	1003,1	352,4
14	26	2	60	sand	27,8	18	452	-	-	0,26	115,64	726,58	8047,60	-	0	2709,624	2709,624	1075,7	376,6
15	28	2	60	sand	27,8	18	488	-	-	0,25	122,00	766,55	8814,15	-	0	2709,624	2709,624	1152,4	402,2
16	30	2	60	sand	27,8	18	524	-	-	0,25	131,00	823,10	9637,25	-	0	2709,624	2709,624	1234,7	429,6

Tabel L.9: Hasil perhitungan daya dukung titik BH-2 (Metode REESE AND O'NEILL (1999)).

No	z (m)	$\Delta$ (m)	Nspt	Clay or Sand?	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\sigma_{\text{effective}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	Clay,cu (kPa)	$\alpha$	$\beta$	Friction (kPa)	Qsi	$\Sigma Q_s$	Nc*	Clay $\Sigma Q_b$	Sand $\Sigma Q_b$	$\Sigma Q_b$	$\Sigma Q_s + \Sigma Q_b$	Qall
							□												
1	0	0	0									0							0
2	2	2	3	clay	27,8	18	36	17,83	0,55	-	9,81	61,61	61,61	8,00	112,02	-	112,02	17,4	6,5
3	4	2	3	sand	21,8	12,8	61,6	-	-	1,01	62,34	391,69	453,30	-	0	135,4812	135,4812	58,9	20,5
4	6	2	6	sand	21,8	12,8	87,2	-	-	0,90	78,68	494,38	947,68	-	0	270,9624	270,9624	121,9	42,4
5	8	2	10	clay	27,8	18,8	124,8	65,19	0,55	-	35,86	225,28	1172,96	9,00	460,81	-	460,81	163,4	57,5
6	10	2	12	clay	27,8	18,8	162,4	78,72	0,55	-	43,30	272,05	1445,01	9,00	556,46	-	556,46	200,1	70,4
7	12	2	16	clay	27,8	18,8	200	105,79	0,55	-	58,18	365,57	1810,58	9,00	747,76	-	747,76	255,8	90,3
8	14	2	22	clay	27,8	18,8	237,6	146,38	0,55	-	80,51	505,86	2316,44	9,00	1034,72	-	1034,72	335,1	118,6
9	16	2	26	clay	27,8	18,8	275,2	173,45	0,529	-	91,72	576,26	2892,70	9,00	1226,02	-	1226,02	411,9	145,5
10	18	2	30	sand	27,8	18,8	312,8	-	-	0,46	145,39	913,50	3806,20	-	0	1354,812	1354,812	516,1	181,1
11	20	2	37	sand	27,8	18,8	350,4	-	-	0,41	143,24	900,02	4706,22	-	0	1670,935	1670,935	637,7	223,7
12	22	2	60	sand	27,8	18,8	388	-	-	0,36	137,95	866,76	5572,98	-	0	2709,624	2709,624	828,3	294,2
13	24	2	60	sand	27,8	18,8	425,6	-	-	0,30	129,66	814,67	6387,65	-	0	2709,624	2709,624	909,7	321,3
14	26	2	60	sand	27,8	18,8	463,2	-	-	0,26	118,50	744,59	7132,24	-	0	2709,624	2709,624	984,2	346,1
15	28	2	60	sand	27,8	18,8	500,8	-	-	0,25	125,20	786,65	7918,89	-	0	2709,624	2709,624	1062,9	372,3
16	30	2	60	sand	27,8	18,8	538,4	-	-	0,25	134,60	845,72	8764,61	-	0	2709,624	2709,624	1147,4	400,5

Tabel L.9: Parameter tanah BH-1

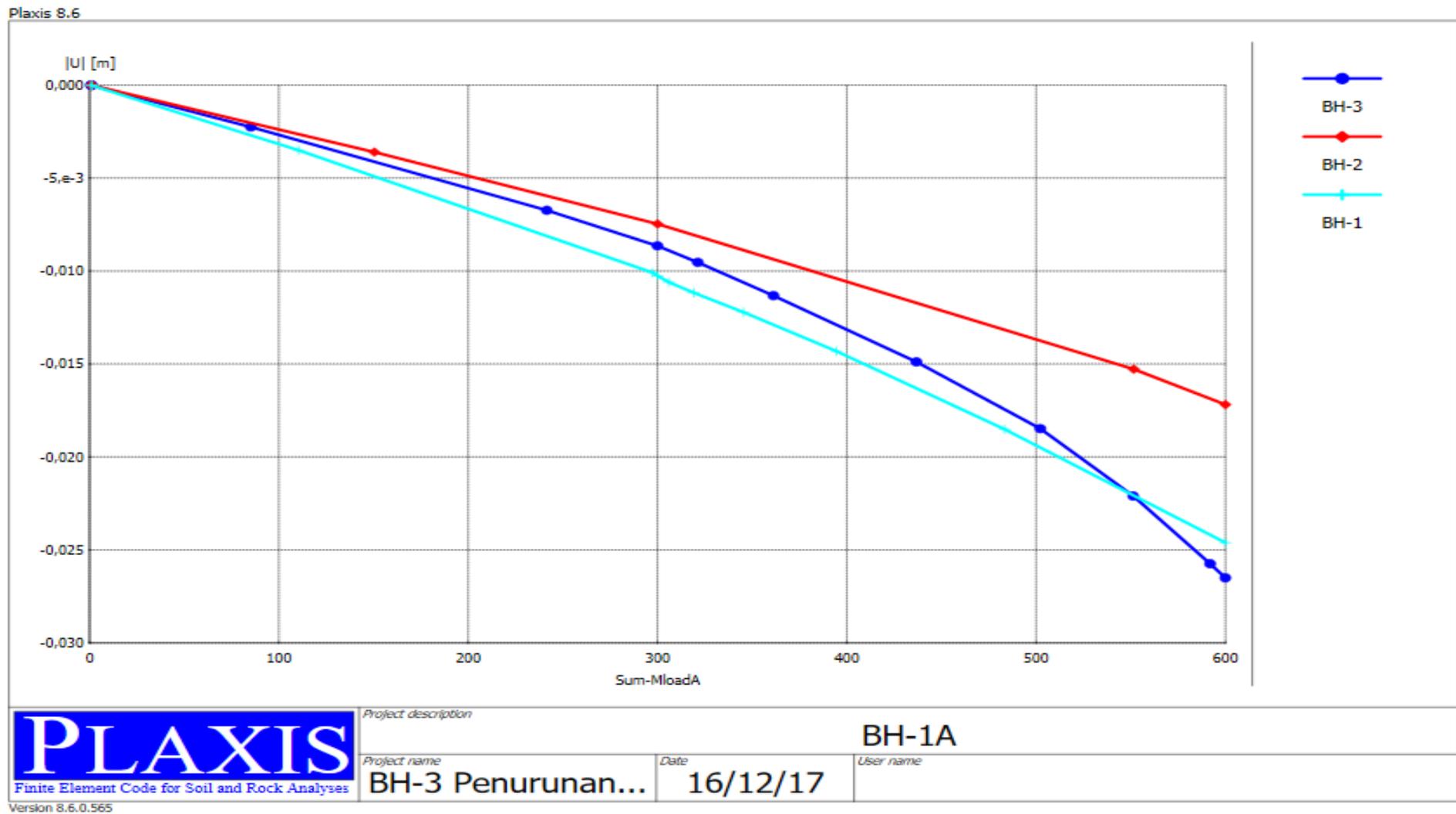
No.	Parameter	simbol	Lapisan						satuan
			Lap 1	Lap 2	Lap 3	Lap 4	Lap 5	Lap 6	
1	Konsistensi	-	Lunak ke sedang	Sedang ke padat	Sangat padat	Sangat padat	Sangat padat	Sangat padat	-
2	Model material	-	Mohr Coulomn	-					
3	Jenis perilaku	-	Tak terdrainase	-					
4	Berat isi tanah di atas garis freatik	$\gamma_{dry}$	12	12	18	18	18	18	kN/m <sup>3</sup>
5	Berat isi tanah di bawah garis freatik	$\gamma_{sat}$	21.8	21.8	27.8	27.8	27.8	27.8	kN/m <sup>3</sup>
6	Permeabilitas arah horizontal	$K_x$	1,160E-13	1,160E-13	1,160E-09	1,160E-09	1,160E-09	1,160E-09	m/hari
7	Permeabilitas arah vertical	$K_y$	1,160E-13	1,160E-13	1,160E-09	1,160E-09	1,160E-09	1,160E-09	m/hari
8	Modulus Young	E	3137,12	6274,27	19339,8	39782,8	44126,5	44126,5	kN/m <sup>2</sup>
9	Angka Poisson	$\nu$	0.4	0.4	0.25	0.25	0.25	0.25	-
10	Kohesi	c	7.5	8.8	1	1	1	1	kN/m <sup>2</sup>
11	sudut geser dalam	$\phi$	5	6	34,5	41	41,8	41,8	°
12	sudut dilatansi	$\psi$	0	0	0	11	11,8	11,8	°

Tabel L.10: Parameter tanah BH-2.

No.	Parameter	simbol	Lapisan						satuan
			Lap 1	Lap 2	Lap 3	Lap 4	Lap 5	Lap 6	
1	Konsistensi	-	Lunak ke sedang	Sedang ke padat	Sangat padat	Sangat padat	Sangat padat	Sangat padat	-
2	Model material	-	Mohr Coulomn	-					
3	Jenis perilaku	-	Tak terdrainase	-					
4	Berat isi tanah di atas garis freatik	$\gamma_{dry}$	16	12	18	18	18	18	kN/m <sup>3</sup>
5	Berat isi tanah di bawah garis freatik	$\gamma_{sat}$	25.8	21.8	27.8	27.8	27.8	27.8	kN/m <sup>3</sup>
6	Permeabilitas arah horizontal	$K_x$	1,160E-09	1,160E-013	1,160E-07	1,160E-07	1,160E-07	1,160E-07	m/hari
7	Permeabilitas arah vertical	$K_y$	1,160E-09	1,160E-013	1,160E-07	1,160E-07	1,160E-07	1,160E-07	m/hari
8	Modulus Young	E	2654,5	19121,5	44126,5	44126,5	44126,5	44126,5	kN/m <sup>2</sup>
9	Angka Poisson	$\nu$	0.3	0.35	0.25	0.2	0.2	0.24	-
10	Kohesi	c	1	10.6	1	1	1	1	kN/m <sup>2</sup>
11	sudut geser dalam	$\phi$	24	12	41,8	41,8	41,8	41,8	°
12	sudut dilatansi	$\psi$	0	0	11,8	11,8	11,8	11,8	°

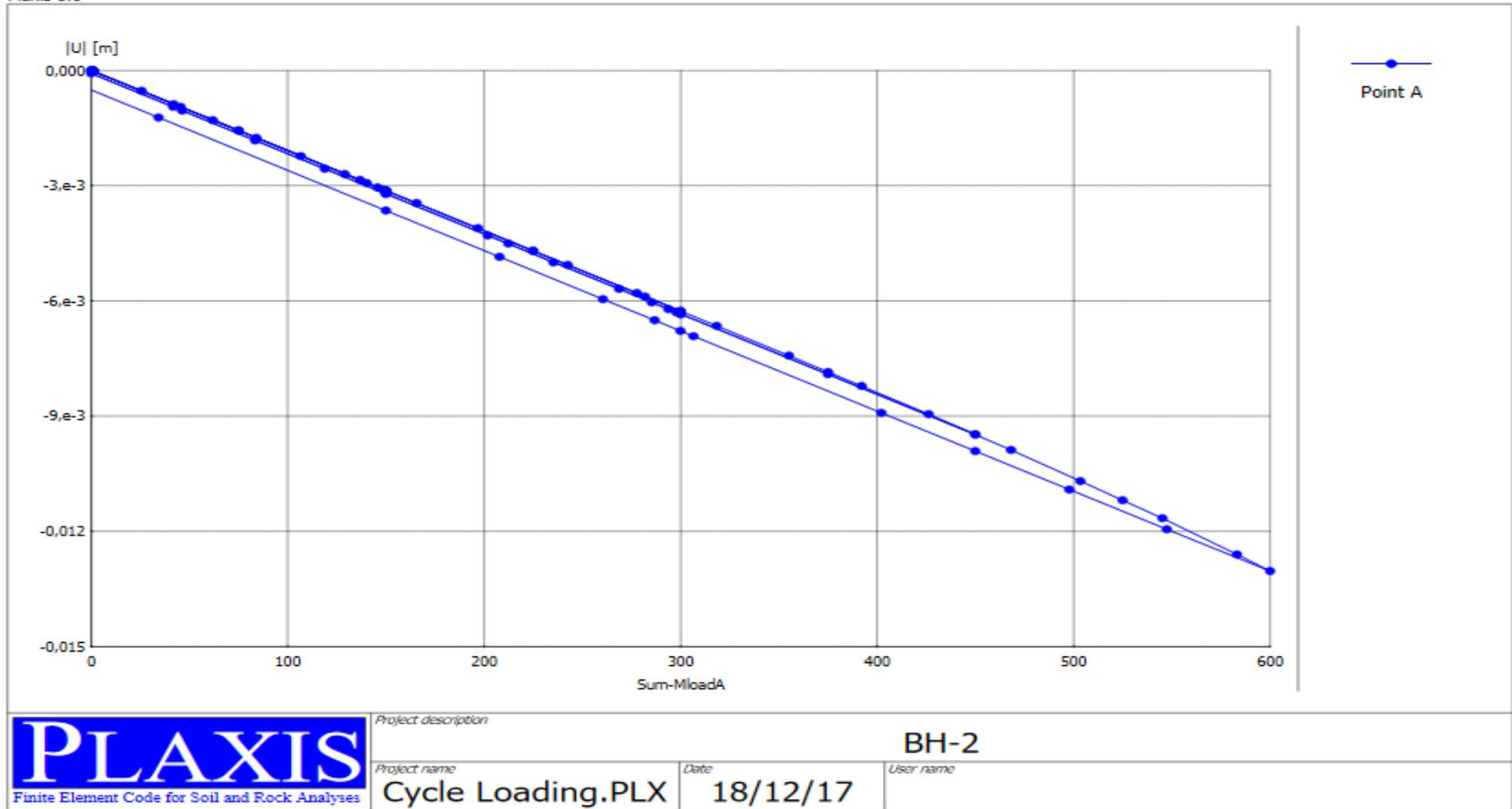
Tabel L.11: Parameter tanah BH-3.

No.	Parameter	simbol	Lapisan						satuan
			Lap 1	Lap 2	Lap 3	Lap 4	Lap 5	Lap 6	
1	Konsistensi	-	Lunak ke sedang	Sedang ke padat	Sangat padat	Sangat padat	Sangat padat	Sangat padat	-
2	Model material	-	Mohr Coulomn	-					
3	Jenis perilaku	-	Tak terdrainase	-					
4	Berat isi tanah di atas garis freatik	$\gamma_{dry}$	18	12	12	18	18	18	kN/m <sup>3</sup>
5	Berat isi tanah di bawah garis freatik	$\gamma_{sat}$	27,8	21,8	21,8	27,8	27,8	27,8	kN/m <sup>3</sup>
6	Permeabilitas arah horizontal	$K_x$	1,160E-07	1,160E-013	1,160E-013	1,160E-09	1,160E-09	1,160E-09	m/hari
7	Permeabilitas arah vertical	$K_y$	1,160E-07	1,160E-013	1,160E-013	1,160E-09	1,160E-09	1,160E-09	m/hari
8	Modulus Young	E	50000	2500	2500	25000	25000	25000	kN/m <sup>2</sup>
9	Angka Poisson	$\nu$	0.3	0.4	0.4	0.25	0.25	0.25	-
10	Kohesi	c	1	11.5	12.6	0.01	0.01	0.01	kN/m <sup>2</sup>
11	sudut geser dalam	$\phi$	15	7	15	40	40	40	°
12	sudut dilatansi	$\psi$	0	0	0	10	10	10	°

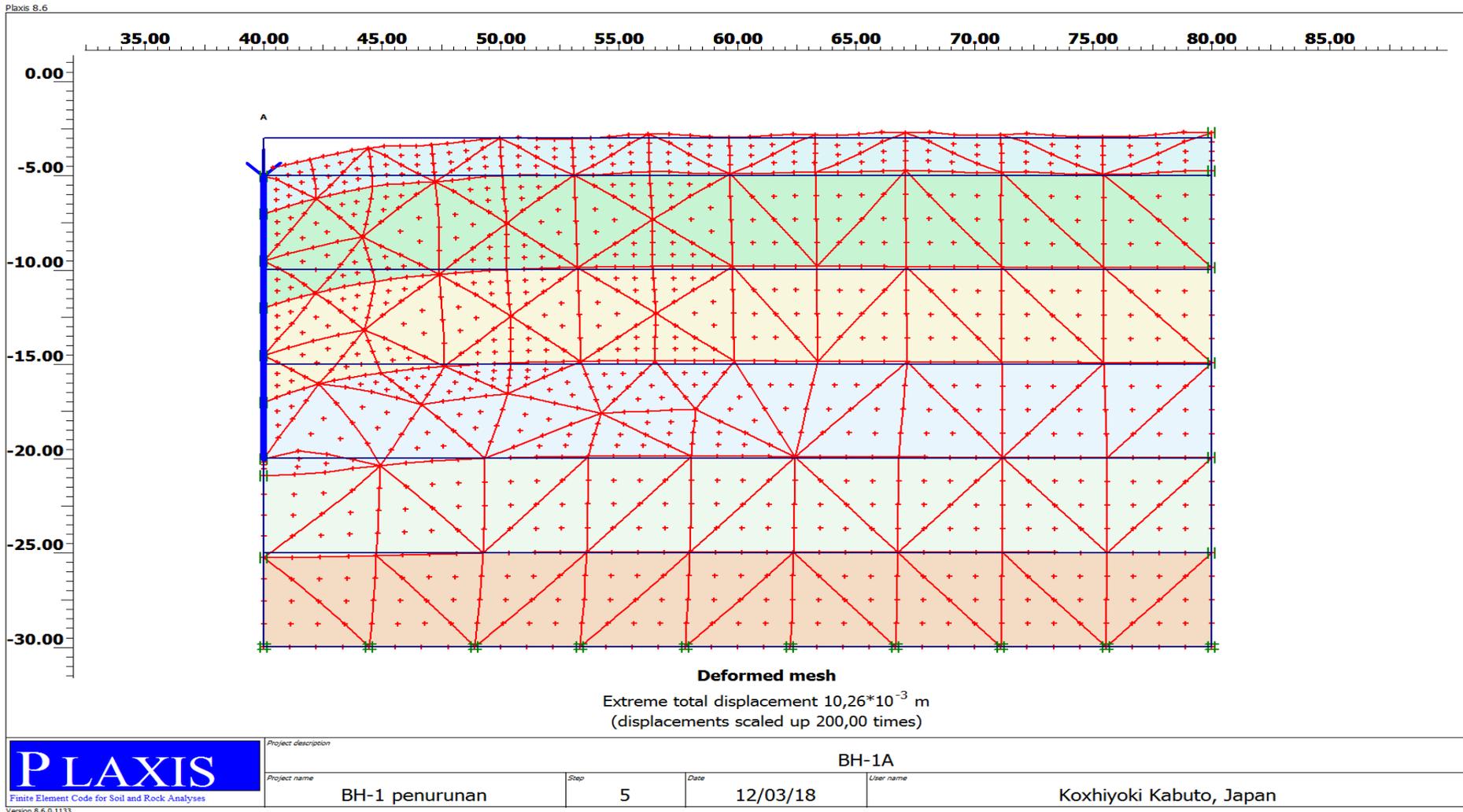


Gambar L.1: Grafik perbandingan penurunan antara titik BH-1, BH-2 dan BH-3 pada program analisis.

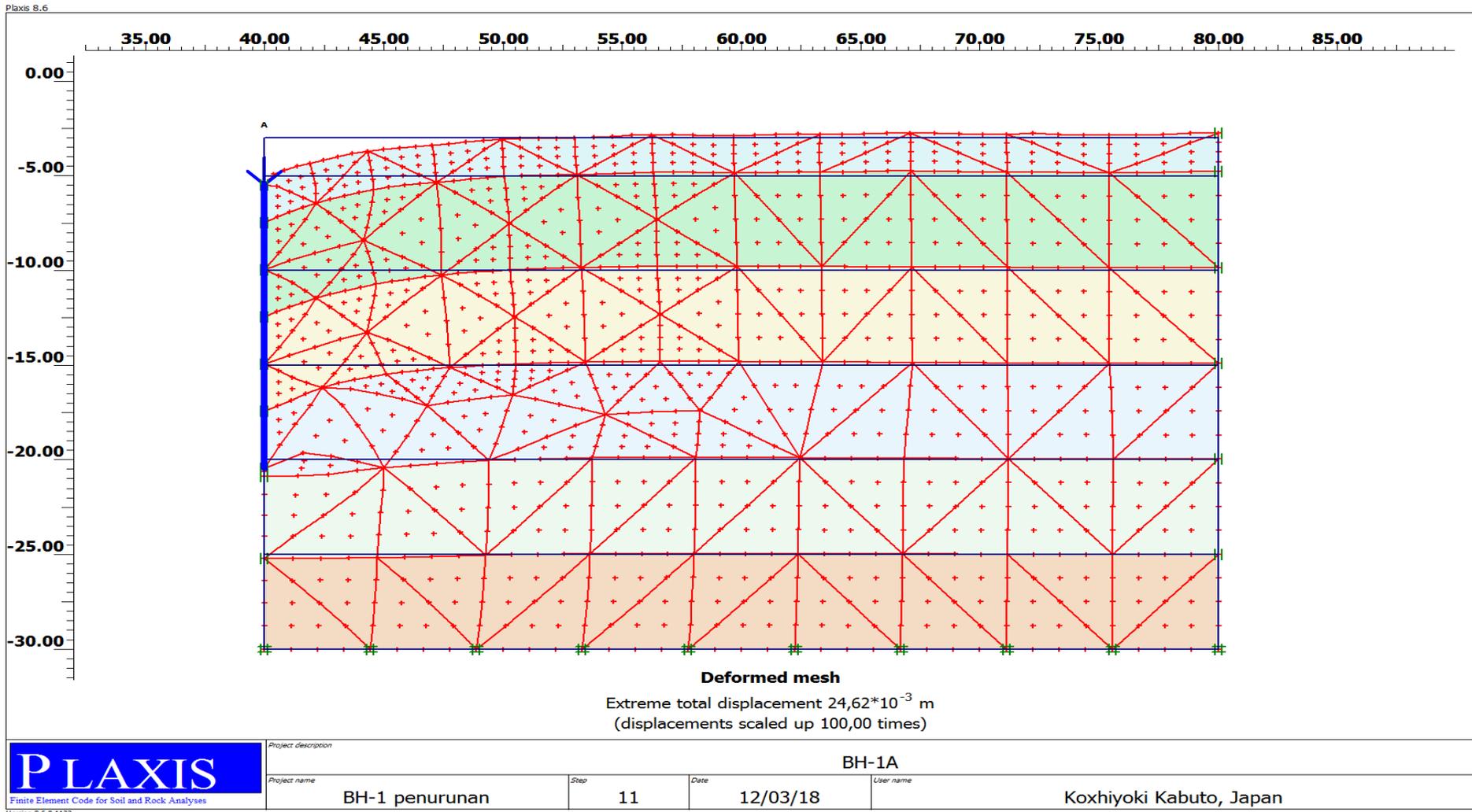
Plaxis 8.6



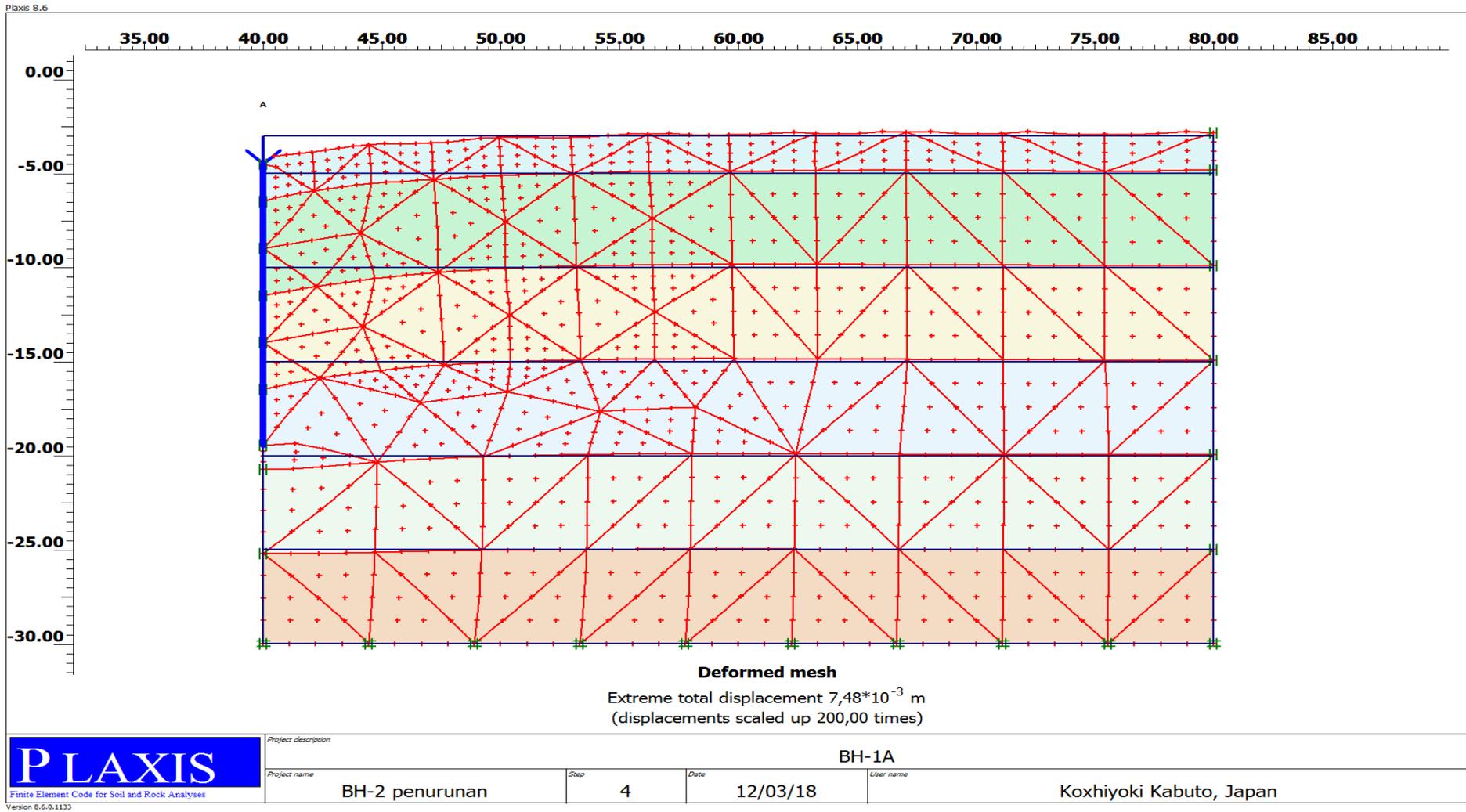
Gambar L.2: Grafik beban versus penurunan pada program analisis.



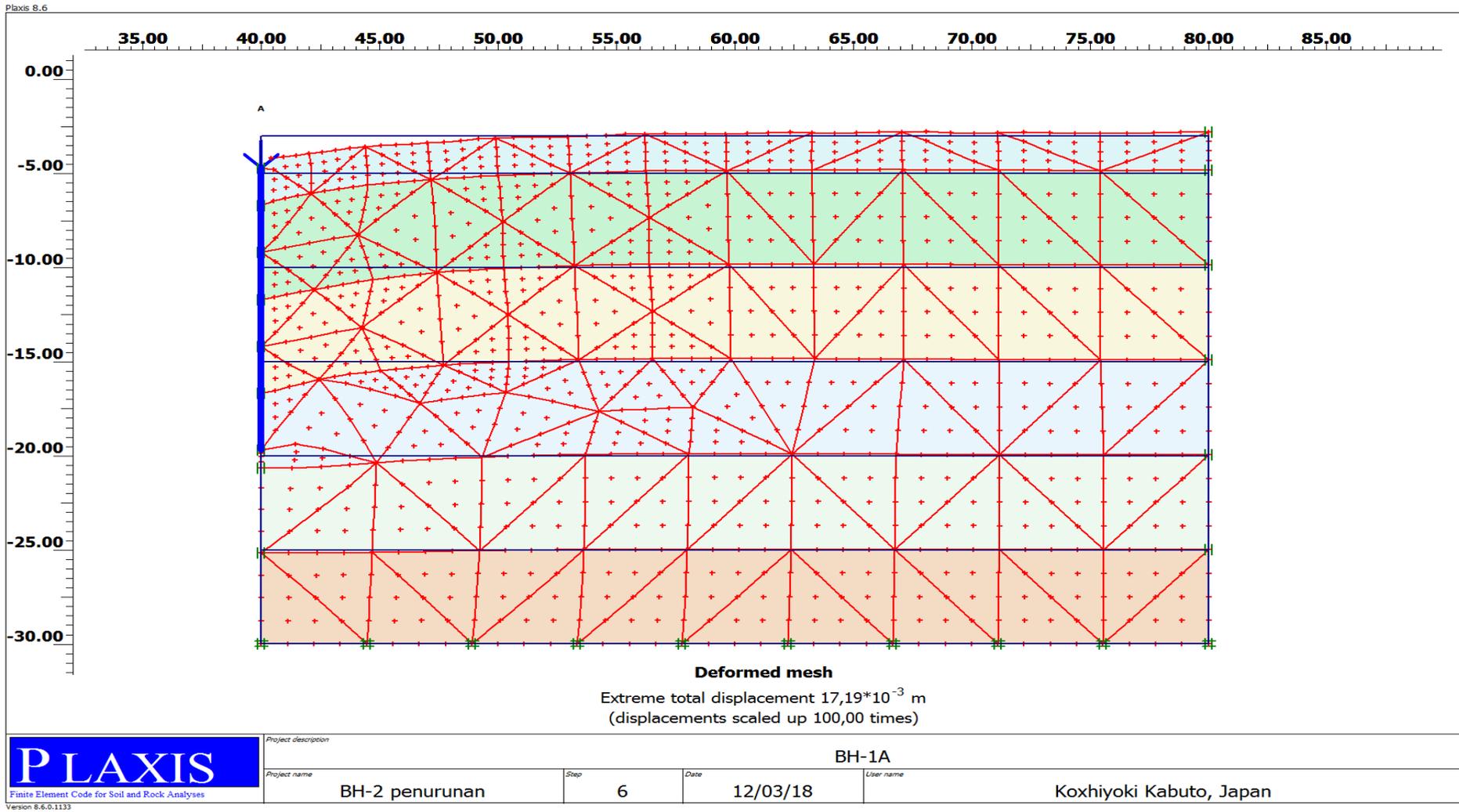
Gambar L.3: Gambar penurunan titik BH-1 dengan beban 300 ton.



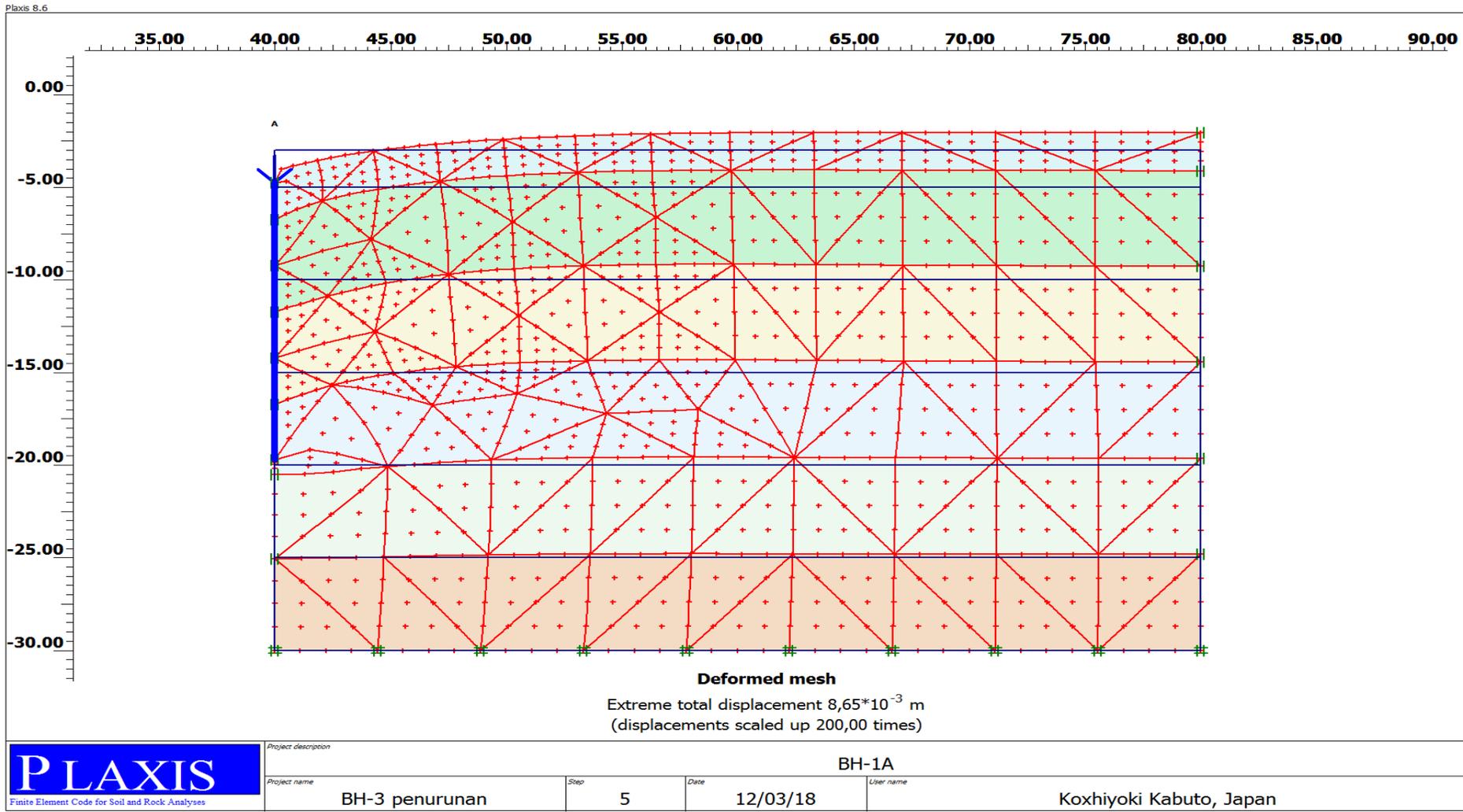
Gambar L.4: Gambar penurunan titik BH-1 dengan beban 600 ton.



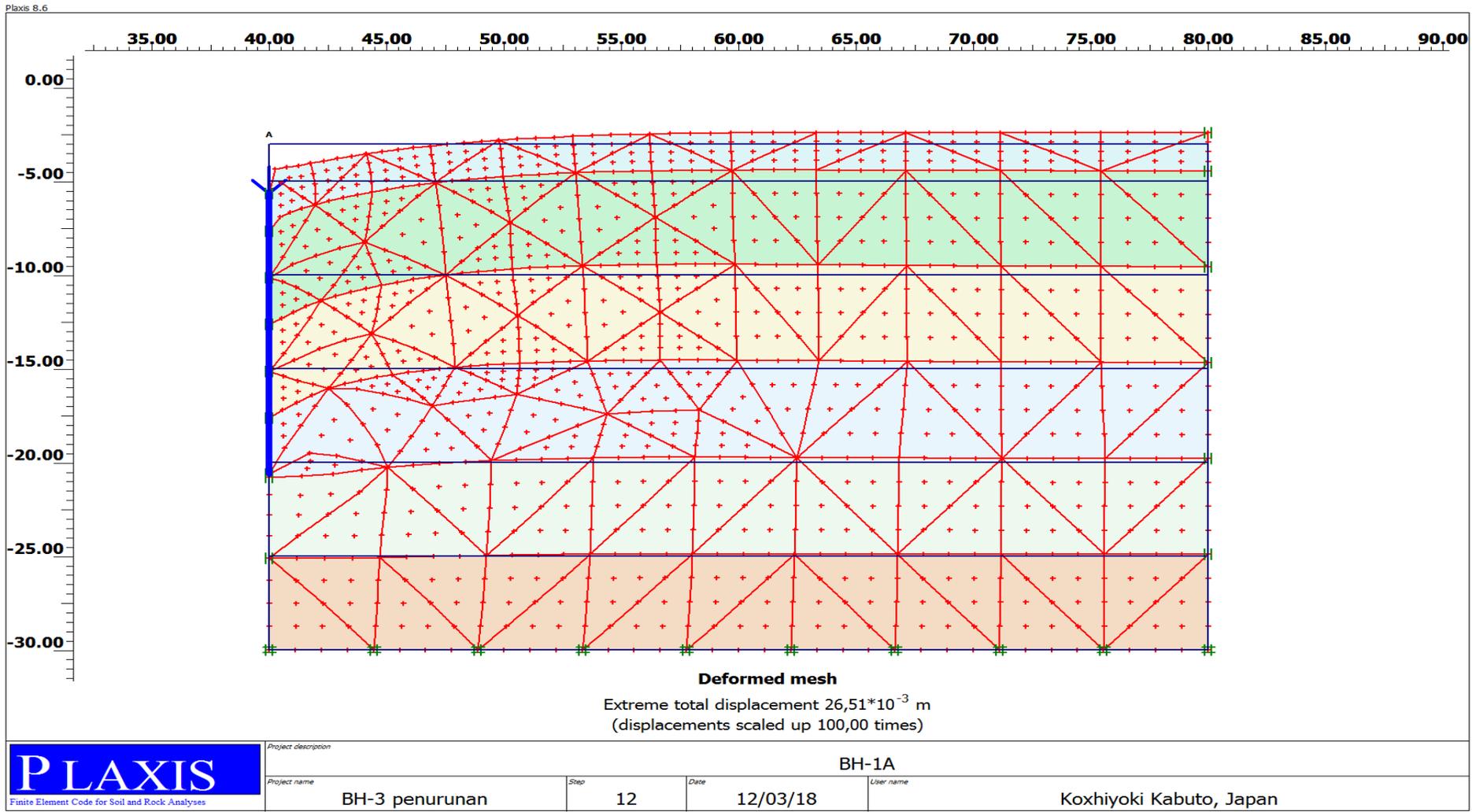
Gambar L.5: Gambar penurunan titik BH-2 dengan beban 300 ton.



Gambar L.6: Gambar penurunan titik BH-2 dengan beban 600 ton.



Gambar L.7: Gambar penurunan titik BH-3 dengan beban 300 ton.



Gambar L.8: Gambar penurunan titik BH-3 dengan beban 600 ton.

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



### DATA DIRI PESERTA

Nama Lengkap : Putri Pangesti Wahyu Wijayanti  
Panggilan : Putri  
Tempat, Tanggal Lahir : Medan, 11 Februari 1996  
Jenis Kelamin : Perempuan  
Alamat : Jl. Medan-Binjai Km.15 Diski, Desa Sei Semayang, Kec. Sunggal  
Agama : Islam  
Nama Orang Tua  
Ayah : Irianto  
Ibu : Yanti  
No.HP : 082166070835  
E-Mail : [putripangestiwahyuwijayanti@gmail.com](mailto:putripangestiwahyuwijayanti@gmail.com)

### RIWAYAT PENDIDIKAN

Nomor Pokok Mahasiswa : 1307210250  
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	SD Negri 020261	2007
2	SMP	SMP Negri 2 Binjai	2010
3	SMA	SMK Negri 2 Binjai	2013
4	Melanjutkan kuliah di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Tahun 2013 sampai selesai.		