

TUGAS AKHIR

**ANALISIS PERBANDINGAN DAYA DUKUNG DAN
PENURUNAN PONDASI BORE PILE DENGAN METODE
UJI BEBAN STATIS DAN METODE ELEMEN HINGGA
PADA PROYEK JALAN TOL MEDAN-TEBING TINGGI.**

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

Disusun Oleh:

ZAKARIA FADHIL
1307210253



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



FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
Jalan Kapten Mukhtar Basri, BA No.3 Tel. 061-6619056, 662400
MEDAN-SUMATERA UTARA

PENGESAHAN SKRIPSI

Skripsi ini disusun oleh:

Nama : Zakaria Fadhil

NPM : 1307210253

Program Studi : Teknik Sipil

Judul : Analisis perbandingan daya dukung dan penurunan pondasi *bore-pile* dengan metode uji beban statis dan metode elemen hingga pada proyek jalan Tol Medan-Tebing Tinggi.

Disetujui dan memenuhi persyaratan untuk diajukan dalam ujian Mempertahankan Skripsi.

Medan, 10 Mei 2018

Dosen Pembimbing I / Penguji

M. Husin Gultom, ST, MT

Dosen Pembimbing II/Penguji

Tondi Amirbyah P, S.T, M.T

Mengetahui dan menyetujui:

Ketua Program Studi Teknik Sipil

Dr. Fahrizal Zulkarnain, ST, MSc

Dekan Fakultas Teknik



Munawar Alfansury Siregar, ST, MT



FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
Jalan Kapten Mukhtar Basri, BA No.3 Tel. 061-6619056, 662400
MEDAN-SUMATERA UTARA

BERITA ACARA BIMBINGAN SKRIPSI

Telah selesai diberikan bimbingan dalam penulisan skripsi sehingga naskah skripsi ini telah memenuhi syarat dan dapat disetujui untuk dipertahankan dalam ujian skripsi oleh:

Nama : Zakaria Fadhil

NPM : 1307210253

Program Studi : Teknik Sipil

Judul : Analisis perbandingan daya dukung dan penurunan pondasi *bore-pile* dengan metode uji beban statis dan metode elemen hingga pada proyek jalan Tol Medan-Tebing Tinggi.

Medan, 10 Mei 2018

Dosen Pembimbing I / Penguji

M. Husin Gultom, ST, MT

Dosen Pembimbing II/Penguji

Tondi Amirsyah P, S.T, MT

Mengetahui dan menyetujui:

Ketua Program Studi Teknik Sipil

Dr. Fahrizal Zulkarnain, ST, MSc

Dekan Fakultas Teknik



Munawar Alfansury Siregar, ST, MT

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Zakaria Fadhil
Tempat /Tanggal Lahir : Medan / 17 Januari 1994
NPM : 1307210253
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil,

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

“Analisis perbandingan daya dukung dan penurunan pondasi bore pile dengan metode uji beban statis dan metode elemen hingga pada proyek jalan Tol Medan-Tebing Tinggi”,

bukan merupakan plagiatisme, 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, 10 Mei 2018

Saya yang menyatakan,


Zakaria Fadhil

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Zakaria Fadhil

NPM : 1307210253

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Analisis perbandingan daya dukung dan penurunan pondasi bore pile dengan metode uji beban statis dan metode elemen hingga pada proyek jalan Tol Medan-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, 10 Mei 2018

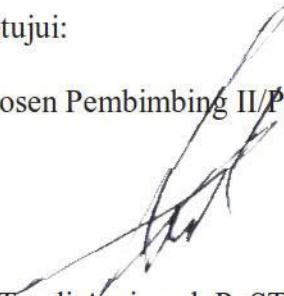
Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I / Penguji



M. Husin Gultom, ST, MT

Dosen Pembimbing II/Penguji



Tondi Amirsyah P, ST, MT

Dosen Pembanding I / Penguji



Dr. Fahrizal Zulkarnain, ST, MSc

Dosen Pembanding II/Penguji



Dr. Ade Faisal, ST., MSc.

Program Studi Teknik Sipil
Ketua,



Dr. Fahrizal Zulkarnain, ST, MSc

ABSTRAK

PERBANDINGAN ANALISA DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN PONDASI BORED PILE DENGAN METODE ANALITIS DAN METODE LOADING TEST PADA PROYEK JALAN TOL MEDAN- KUALANAMU-TEBING TINGGI

Zakaria Fadhil

1307210253

M. Husin Gultom, ST, MT

Tondi A.P, ST, MT

Pondasi adalah bagian dari suatu sistem rekayasa yang meneruskan beban yang di topang oleh pondasi dan beratnya sendiri kepada tanah dan batuan yang terletak dibawahnya. Sehingga, dalam pemilihan pondasi sangat dibutuhkan pengetahuan tentang jenis tanah, daya dukung ultimit pondasi yang harus lebih besar daripada beban yang bekerja pada pondasi baik beban statik maupun beban dinamik, dan penurunan yang akan ditimbulkan akibat pembebanan tidak boleh melebihi penurunan yang diijinkan, pengendalian mutu menjadi salah satu kunci penting keberhasilan pondasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui daya dukung pondasi dan mengetahui besarnya penurunan yang terjadi pada pondasi. Pada penelitian ini digunakan metode analitis dan metode elemen hingga menggunakan bantuan program analisis yang kemudian dibandingkan dengan data hasil *loading test*. Data tanah yang diperoleh berupa data *Standard penetration test* (SPT) yang dikorelasikan kedalam parameter-parameter tanah yang dibutuhkan dalam perhitungan dengan metode elemen hingga. Berdasarkan data *Standard penetration test* (SPT), parameter kuat geser tanah dan data pengujian *loading test* yang diperoleh dan dihitung dengan beberapa metode diperoleh hasil perhitungan untuk data *Standard penetration test* (SPT) dengan menggunakan metode Mayerhof pada titik BH-1 Qijin = 734 ton, BH-2 Qijin = 665 ton, BH-3 Qijin = 799 ton. Untuk parameter kuat geser tanah menggunakan metode elemen hingga pada pada titik BH-1 Qijin = 611 ton, BH-2 Qijin = 614 ton, BH-3 Qijin = 796,6 ton. Sedangkan untuk data *loading test* metode Davisson Q = 600 ton dan Mazurkiewicz Q = 700 ton. Untuk penurunan tiang tunggal dihitung menggunakan metode Poulos dan Davis dengan beban 600 ton untuk titik BH-1 S = 14,5 mm, titik BH-2 S = 18,8 mm dan titik BH-3 S = 13.3 mm. Dengan metode elemen hingga titik BH-1 S = 21,78 mm, titik BH-2 S = 28,49 mm dan titik BH-3 S = 23,19 mm. Sedangkan hasil data *loading test* penurunan S = 15.07 mm.

Kata kunci: Daya dukung, *Bored pile*, Penurunan, Elemen hingga, *Loading test*.

ABSTRACT

COMPARISON OF BEARING CAPACITY AND SETTLEMENT BORED PILE FONDATION WITH ANALYTICAL METHOD AND LOADING TEST METHOD IN HIGHWAY PROJECT MEDAN-KUALANAMU-TEBING TINGGI

Zakaria Fadhil

1307210253

M. Husin Gultom, ST, MT

Tondi A.P, ST, MT

The foundation is part of an engineered system that forwards the load supported by the foundation and its own weight to the ground and the rocks located beneath it. Thus, in the selection of the foundation is needed knowledge of the soil type, the ultimate foundation support capacity must be greater than the load acting on the foundation of both static load and dynamic load, and the decrease due to loading shall not exceed the allowable decrease, the quality control becomes one of the important keys to successful foundation. This study aims to determine the bearing capacity of the foundation and to know the decline that occurs in the foundation. In this research used analytical method and finite element method using analysis program aid which then compared with result of loading test. The soil data obtained is the Standard penetration test (SPT) report which is correlated into the soil parameters required in the analysis program. Soil shear strength parameters and static loading statements obtained and calculated by several methods obtained calculation results for Standard penetration test (SPT) report using Mayerhof method at the point BH-1 $Q = 734$ ton, BH-2 $Q = 665$ ton, BH-3 $Q = 799$ ton. For the shear strength parameters use the analysis program at the point BH-1 $Q = 611$ ton, BH-2 $Q = 614$ ton, BH-3 $Q = 796,6$ ton. As for static loading with Davisson method $Q = 600$ ton and Mazurkiewicz method $Q = 700$ ton. For a single pile settlement is calculated using Poulos and Davis methods with a 600 ton load for the point BH-1 $S = 14,5$ mm, BH-2 $S = 18,8$ mm and BH-3 $S = 13.3$ mm. With the finite element method BH-1 $S = 21,78$ mm, BH-2 $S = 28,49$ mm and BH-3 $S = 23,19$ mm. As for static loading results the settlement $S = 15.07$ mm.

Keywords: Bearing capacity, bored pile, settlement, Element Hingga, loading test.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Alhamdulillahil'alaminn Puji dan syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas rahmat dan hidayah-Nya, saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini sebagaimana yang diharapkan.

Adapun judul Tugas Akhir ini adalah "Perbandingan analisa daya dukung dan penurunan pondasi *bored pile* dengan metode analitis dan metode *loading test* pada proyek jalan tol Medan-Kualanamu-Tebing tinggi". Penulisan Tugas Akhir ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil dalam bidang Geoteknik pada Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

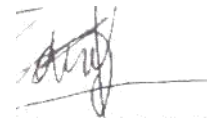
Saya menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari awal perkuliahan sampai pada penyusunan Tugas Akhir ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu saya mengucapkan terima kasih kepada:

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 Pembimbing II dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. Fahrizal Zulkarnain, S.T.,M.Sc, selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Dr. Fahrizal Zulkarnain, S.T.,M.Sc., yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, sekaligus sebagai Ketua Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Ibu Hj. Irma Dewi, ST, MSi, selaku Sekretaris Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Munawar Al-Fansyuri S.T, M.T selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu ketekniksipilan kepada penulis.

8. Ibu saya yang telah membesarkan, mendidik, dan memberikan kasih sayang yang sangat besar kepada saya serta senantiasa selalu mendoakan saya untuk dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
9. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
10. Sahabat-sahabat penulis: Zulfuadi Nasution, Muhammad Riski Faujan, Ahmad Mustaqim Yusuf, Muhammad Said Zulhamsyah, All Akbar, kelas Geoteknik Malam dan seluruh angkatan 2013 yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu.

Saya berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Saya sangat menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu saya sangat berharap adanya kritik dan saran yang membangun dari pembaca. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi saya khususnya dan masyarakat Indonesia pada umumnya.

Medan, 7 Maret 2018



Zakaria Fadhil

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR NOTASI	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan	3
1.4. Ruang Lingkup Pembahasan	3
1.5. Manfaat Penelitian	4
1.5.1. Manfaat Teoritis	4
1.5.2. Manfaat Praktis	4
1.6. Metode Pengumpulan Data	4
1.7. Sistematika Penulisan	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Tanah	6
2.2. Penyelidikan tanah (<i>soil investigation</i>)	6
2.2.1. Pengujian Penetrasi Kerucut Statis (Sondir)	8
2.2.2. Pengujian Penetrasi Standar (SPT)	9
2.3. Pondasi	12
2.4. Pengertian pondasi Tiang	17
2.5. Pelaksanaan Pondasi Tiang bor	18
2.6. Kapasitas Daya Dukung <i>Axial</i>	23
2.6.1. Tiang Dukung Ujung dan Tiang Gesek	23
2.6.2. Kapasitas Daya Dukung Dari Data <i>standard penetration test</i> (SPT)	24

2.7.	Kapasitas Daya Dukung <i>Lateral</i>	26
2.7.1.	Metode Broms	26
2.8.	Faktor Keamanan	27
2.9.	Penurunan Tiang Tunggal (<i>settlement</i>)	27
2.10.	Parameter Tanah	31
2.11.	Metode Elemen Hingga	35
2.12.	Uji Pembebanan Statik (<i>static loading test</i>)	37
BAB 3	METODOLOGI PENELITIAN	
3.1.	Diagram Alir Metode Penelitian	39
3.2.	Data Umum Proyek	40
3.3.	Lokasi Titik Pengeboran	41
3.4.	Pengumpulan Data	42
3.5.	Analisis Data Tanah	42
3.6.	Analisis Parameter Tanah	44
3.7.	Menghitung Daya Dukung Dengan Metode Elemen Hingga	48
3.7.1.	Pemodelan Geometri	48
3.7.2.	Kondisi Batas (<i>Boundary Condition</i>)	48
3.7.3.	Input Parameter Tanah	49
3.7.4.	Penyusunan Jaring Elemen (<i>Meshing</i>)	50
3.7.5.	Kondisi Awal (<i>Initial Condition</i>)	50
3.7.6.	Kalkulasi	51
3.8.	Hasil Pengujian Pembebanan Statik (<i>Static Loading Test</i>)	51
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1.	Perhitungan Daya Dukung Menggunakan Data SPT	55
4.1.1.	Perhitungan Pada Titik BH-1	55
4.1.2.	Perhitungan Pada Titik BH-2	57
4.1.3.	Perhitungan Pada Titik BH-3	60
4.2.	Penurunan Tiang Tunggal (<i>Settlement</i>)	62
4.2.1.	Penurunan Pada Titik BH-1	62
4.2.2.	Penurunan Pada Titik BH-2	64
4.2.3.	Penurunan Pada Titik BH-3	65
4.3.	Perhitungan Lateral	67
4.3.1.	Gaya Lateral BH-1	67
4.3.2.	Gaya Lateral BH-2	67
4.3.3.	Gaya Lateral BH-3	68
4.4.	Kapasitas Daya Dukung Dari Data <i>Loading Test</i>	69
4.4.1.	Metode Davisson	69

4.4.2. Metode Mazurkiewicz	70
4.4.3 Hasil Analisis	71
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Kesimpulan	77
5.2. Saran	78
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Parameter rencana tiang untuk tanah lempung	26
Tabel 2.2	Faktor keamanan untuk pondasi tiang	27
Tabel 2.3	Korelasi N-SPT dengan Modulus Elastisitas pada tanah lempung	32
Tabel 2.4	Korelasi N-SPT dengan modulus elastisitas pada tanah pasir	32
Tabel 2.5	Hubungan Jenis Tanah dan poissin ratio	33
Tabel 2.6	Hubungan jenis tanah dengan berat isi tanah kering	34
Tabel 2.7	Nilai koefisien <i>Permeabilitas</i> tanah	35
Tabel 3.1	Data uji lapangan <i>standard penetration Test</i> (SPT) pada BH-1	42
Tabel 3.2	Data uji lapangan <i>standard penetration Test</i> (SPT) pada BH-2	43
Tabel 3.3	Data uji lapangan <i>standard penetration Test</i> (SPT) pada BH-3	43
Tabel 3.4	Parameter Tanah pada BH-1	45
Tabel 3.5	Parameter Tanah pada BH-2	46
Tabel 3.6	Parameter Tanah pada BH-3	47
Tabel 3.7	Tabel rekapitulasi pembebanan pada pengujian <i>static loading</i>	52
Tabel 4.1	Hasil perhitungan daya dukung berdasarkan data SPT BH-1	57
Tabel 4.2	Hasil perhitungan daya dukung berdasarkan data SPT BH-2	59
Tabel 4.3	Hasil perhitungan daya dukung berdasarkan data SPT BH-3	62
Tabel 4.4	Rekapitulasi perhitungan penurunan elastis tiang tunggal	66
Tabel 4.5	Perbandingan daya dukung ultimate	75
Tabel 4.6	Perbandingan penurunan tiang	75

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Rincian konus ganda	9
Gambar 2.2	Pengujian penetrasi standar (SPT)	11
Gambar 2.3	Skema urutan pengujian penetrasi standar (SPT)	12
Gambar 2.4	Macam-macam tipe pondasi	16
Gambar 2.5	Contoh pondasi bila lapisan pendukung pondasi cukup dangkal	16
Gambar 2.6	Contoh pondasi bila lapisan pendukung pondasi berada sekitar 10 meter dibawah permukaan tanah	16
Gambar 2.7	Contoh pondasi bila lapisan pendukung pondasi berada sekitar 20 meter dibawah permukaan tanah	16
Gambar 2.8	Contoh pondasi bila lapisan pendukung pondasi berada sekitar 30 meter dibawah permukaan tanah	16
Gambar 2.9	<i>Overbreak</i> diameter lubang bor akibat longsoran tanah	20
Gambar 2.10	Tiang ditinjau dari cara mendukung bebannya	24
Gambar 2.11	Faktor penurunan R_k	29
Gambar 2.12	Koreksi kedalaman R_h	29
Gambar 2.13	Koreksi kompresi I_o	30
Gambar 2.14	Koreksi angka poisson R_μ	30
Gambar 2.15	Koreksi kekakuan lapisan pendukung R_b	31
Gambar 2.16	Kurva interpretasi metode Davisson	38
Gambar 2.17	Kurva interpretasi metode Mazurkiewicz	38
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	39
Gambar 3.2	Denah Lokasi Proyek Pembangunan Jalan Tol Medan Kualanamu Tebing Tinggi Seksi 6	40
Gambar 3.3	Lokasi titik pengeboran BH1 dan BH 2- (Dokumentasi PT. Waskita Karya Seksi 6)	41
Gambar 3.4	Lokasi titik pengeboran BH3 (Dokumentasi PT. Waskita Karya Seksi 6)	41

Gambar 3.5	Pemodelan Geometri pada program analisis	48
Gambar 3.6	Penetapan kondisi batas pada geometri	49
Gambar 3.7	Input parameter tanah dan pemodelan Mohr-coulomb	49
Gambar 3.8	Penyusunan jaring Mesh	50
Gambar 3.9	Hasil perhitungan <i>initial soil stresses</i>	50
Gambar 3.10	Tahapan perhitungan	51
Gambar 3.11	Grafik siklus penurunan dengan waktu	53
Gambar 3.12	Grafik siklus pembebanan dengan waktu	53
Gambar 3.13	Grafik hubungan beban dan penurunan	54
Gambar 4.1	Interpretasi daya dukung dengan metode Davisson	70
Gambar 4.2	Interpretasi daya dukung dengan metode Mazurkiewicz	71
Gambar 4.3	Penurunan dengan beban rencana 300 ton	72
Gambar 4.4	Penurunan dengan beban maksimal 600 ton	72
Gambar 4.5	Kurva perbandingan penurunan antara titik BH-1, BH-2 dan BH-3 menggunakan program analisis	73
Gambar 4.6	Kurva beban <i>versus</i> penurunan dengan metode elemen hingga menggunakan program analisis	73
Gambar 4.7	Kurva perbandingan beban <i>versus</i> penurunan dengan metode elemen hingga dan data <i>loading test</i>	74

DAFTAR NOTASI

$Q_b = Q_p$	= Kapasitas tahanan di ujung tiang
Q_s	= Kapasitas tahanan kulit
Q_{ult}	= Kapasitas tahanan <i>ultimate</i>
$Q_{all} = Q_{ijin}$	= Kapasitas tahanan ijin
A_p	= Luas penampang tiang
P	= Luas selimut tiang
D	= Diameter tiang
L	= Panjang tiang
L_i	= Panjang Lapisan tanah yang ditinjau
N	= Harga SPT lapangan
SF	= Faktor keamanan
c	= Kohesi
C_u	= Kohesi undrained
α	= Koefisien adhesi antara tanah dan tiang
K	= Faktor kekakuan tiang
q_c	= Tahanan ujung sondir
E_s	= Modulus elastisitas tanah disekitar tiang
E_b	= Modulus elastisitas tanah didasar tiang
E_p	= Modulus elastisitas dari bahan tiang
S	= Penurunan pondasi
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_μ	= Faktor koreksi angka poisson
R_b	= Faktor koreksi untuk kekakuan lapisan pendukung

H = Kedalaman

ϕ = sudut geser dalam

γ_{sat} = Berat isi tanah jenuh

γ_{dry} = Berat isi tanah kering

$\nu = \mu$ = Poisson Ratio

ψ = Sudut dilatansi

DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN

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

BAB 1

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, 1990).

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 perhitungan daya dukung pondasi *bored pile* pada 3 titik (Sta 75 +561, Sta 75 +550, Sta 76 +175) ?
2. Bagaimana hasil perbandingan daya dukung pada masing-masing titik dengan metode *analitis* dan metode *elemen hingga* ?
3. Berapakah besar penurunan yang terjadi pada pondasi *bored pile* untuk 3 titik (Sta 75 +561, Sta 75 +550, Sta 76 +175) ?

1.3. Ruang Lingkup Pembahasan

Pada pelaksanaan proyek pembangunan Jalan Tol Medan - Kualanamu - Tebing Tinggi, terdapat banyak permasalahan yang dapat ditinjau dan dibahas, maka didalam laporan ini sangatlah perlu kiranya diadakan suatu pembatasan masalah. 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 pada tiang tunggal
2. Data tanah yang digunakan hanya data *Standard Penetration Test* (SPT) dan data parameter tanah.
3. Meninjau gaya Vertikal dan Horizontal

1.4. Tujuan

Adapun tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah :

1. Mengetahui perhitungan daya dukung pondasi *bored pile* menggunakan Metode *analisis* dan Metode *elemen hingga* pada 3 titik (Sta 75 +561, Sta 75 +550, Sta 76 +175).
2. Mengetahui perbandingan hasil daya dukung pondasi *bored pile* menggunakan Metode *analitis* ,Metode *elemen hingga* dan data hasil *loading test*.
3. Mengetahui penurunan yang terjadi pada pondasi *bored pile* pada 3 titik (Sta 75 +561, Sta 75 +550, Sta 76 +175).

1.5. Manfaat Penelitian

1.5.1. Manfaat Teoritis

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah :

1. Menambah pengetahuan praktis ketekniksipilan dari pembimbing, sehingga menambah pengetahuan bagi penulis yang nantinya dapat diaplikasikan selama di lapangan. Dan diharapkan bermanfaat sebagai khasanah perkembangan ilmu pengetahuan di bidang geoteknik, terutama pondasi *bored pile* bagi penulis dan pihak–pihak terkait.
2. Sebagai bahan referensi bagi siapa saja yang membacanya khususnya bagi para peneliti yang menghadapi masalah yang sama.
3. Memperoleh gambaran analisis pengeboran tiang padapembangunan 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. Metode Pengumpulan Data

1. Studi Literatur

Mengumpulkan tulisan-tulisan dalam bentuk buku maupun tulisan ilmiah yang berhubungan dengan tugas akhir ini.

2. Mengumpulkan data

Mengumpulkan data yang di dapat dari lapangan pada pembangunan Jalan Tol Medan – Kualanamu – Tebing Tinggi.

1.7. Sistematika Penulisan

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

BAB - I PENDAHULUAN

Pada bab ini dibahas mengenai latar belakang, tujuan, manfaat, pembatasan masalah dan metode pengumpulan data.

BAB - II TINJAUAN PUSATAKA

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

BAB - III METODOLOGI

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

BAB - IV ANALISIS DAN PERHITUNGAN

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

BAB - V KESIMPULAN DAN SARAN

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

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tanah

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

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

2.2. Penyelidikan Tanah (*Soil Investigation*)

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

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

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

Tujuan penyelidikan tanah, antara lain:

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

Penyelidikan tanah ada dua jenis yaitu (Hardiyatmo, 1996):

- 1) Penyelidikan di lapangan

Jenis penyelidikan di lapangan seperti pengeboran (*hand boring* ataupun *machine boring*), *Cone Penetrometer Test* (Sondir), *Standard Penetration Test* (SPT), *Sand Cone Test* dan *Dynamic Cone Penetrometer*.

- 2) Penyelidikan di laboratorium

Sifat-sifat fisik tanah dapat dipelajari dari hasil uji Laboratorium pada sampel tanah yang diambil dari pengeboran. Hasil yang diperoleh dapat digunakan untuk menghitung kapasitas daya dukung ultimit dan penurunan. Jenis penyelidikan di laboratorium terdiri dari uji *index properties* tanah (*Atterberg Limit*, *Water Content*, *Spesific Gravity*, *Sieve Analysis*) dan *engineering properties* tanah (*Direct Shear Test*, *Triaxial Test*, *Consolidation Test*, *Permeability Test*, *Compaction Test*, dan CBR).

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

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

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

2) Contoh tanah terganggu (*disturbed soil*)

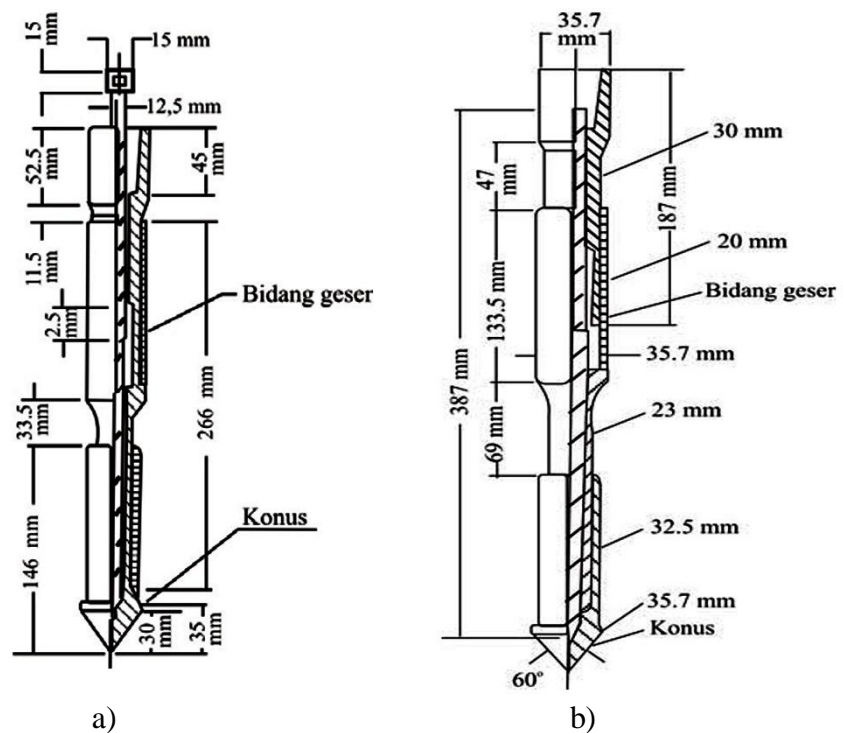
Contoh tanah terganggu adalah contoh tanah yang diambil tanpa adanya usaha-usaha tertentu untuk melindungi struktur asli tanah tersebut. *Disturbed soil* digunakan untuk percobaan uji *index properties* tanah.

2.2.1. Pengujian Penetrasi Kerucut Statis (Sondir)

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

Hasil penyelidikan dengan Sondir ini digambarkan dalam bentuk grafik yang menyatakan hubungan antara kedalaman setiap lapisan tanah dengan perlawanan penetrasi konus atau perlawanan tanah terhadap konus yang dinyatakan dalam gaya persatuan panjang.

Konus yang digunakan harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut (Gambar 2.1):



Gambar 2.1: Rincian Konus Ganda, a) Keadaan Tertekan dan b) Keadaan Terbantang (SNI 2827, 2008).

Dimana:

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

2.2.2. Pengujian Penetrasi Standar (SPT)

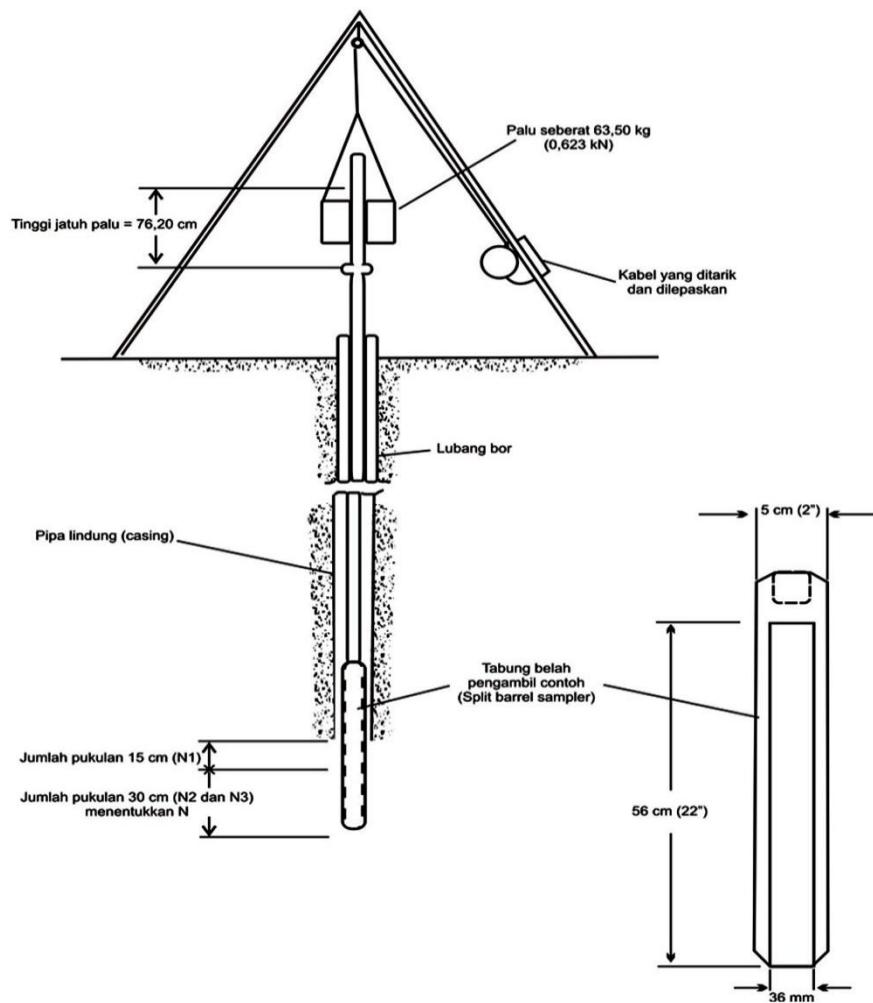
Tujuan Pengujian Penetrasi Standar yaitu untuk menentukan kepadatan relatif dan sudut geser lapisan tanah tersebut dari pengambilan contoh tanah dengan tabung, dapat diketahui jenis tanah dan ketebalan dari setiap lapisan tanah tersebut, untuk memperoleh data yang kumulatif pada perlawanan penetrasi tanah dan menetapkan kepadatan dari tanah yang tidak 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 2.2):

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



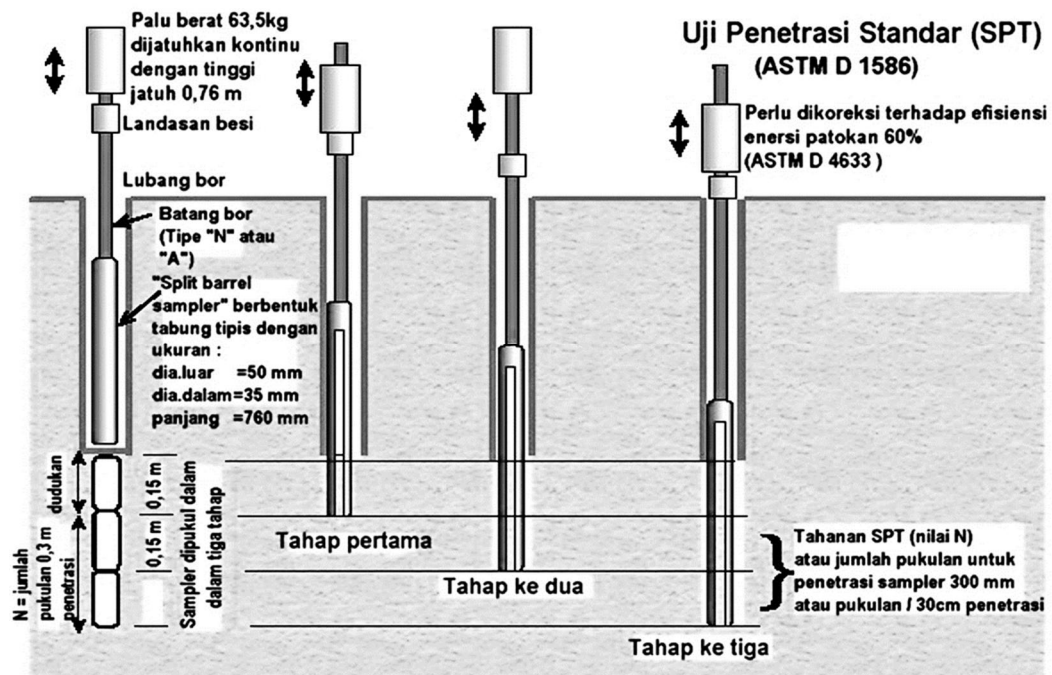
Gambar 2.2: Pengujian penetrasi standar (SPT) (SNI 4153, 2008).

b. Prosedur Pengujian

Lakukan pengujian dengan tahapan sebagai berikut (Gambar 2.3):

- 1) Lakukan pengujian pada setiap perubahan lapisan tanah atau pada interval sekitar 1,50 m s.d 2,00 m atau sesuai keperluan.
- 2) Tarik tali pengikat palu (hammer) sampai pada tanda yang telah dibuat sebelumnya (kira-kira 75 cm).
- 3) Lepaskan tali sehingga palu jatuh bebas menimpa penahan, Ulangi 2) dan 3) berkali-kali sampai mencapai penetrasi 15 cm.
- 4) Hitung jumlah pukulan atau tumbukan N pada penetrasi 15 cm yang pertama.
- 5) Ulangi 2), 3), 4) dan 5) sampai pada penetrasi 15 cm yang ke-dua dan ke-tiga.

- 6) 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;
- 7) Bila nilai N lebih besar dari pada 50 pukulan, hentikan pengujian dan tambah pengujian sampai minimum 6 meter.
- 8) Catat jumlah pukulan pada setiap penetrasi 5 cm untuk jenis tanah batuan.



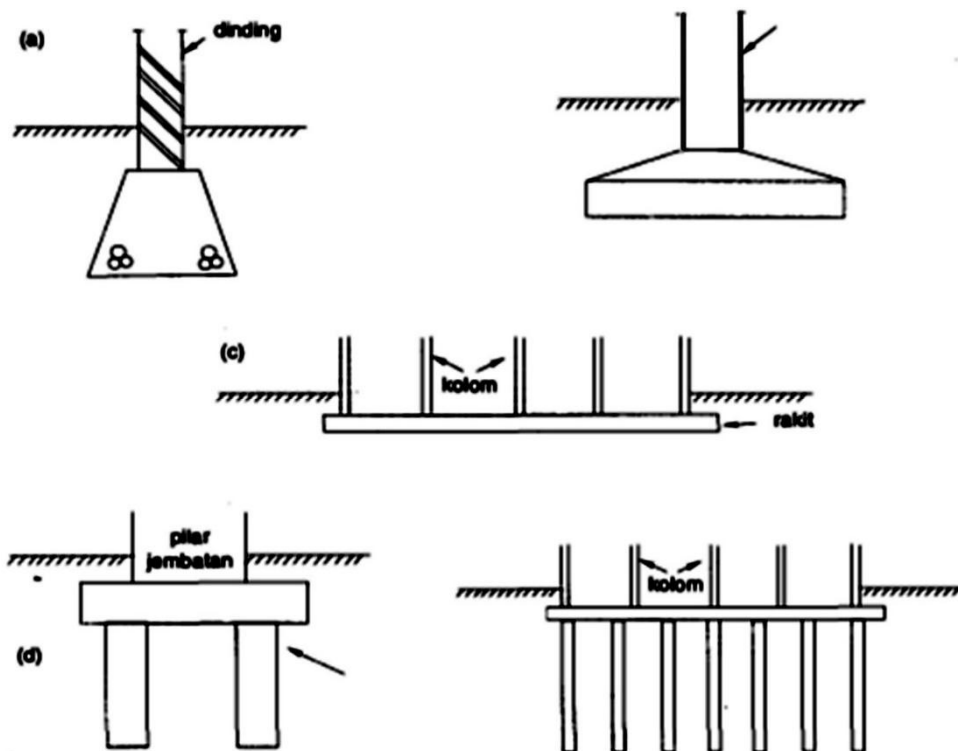
Gambar 2.3: Skema urutan pengujian penetrasi standar (SPT) (SNI 4153, 2008).

2.3. Pondasi

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

didefinisikan sebagai pondasi yang meneruskan beban bangunan ke tanah keras atau batu yang terletak relatif jauh dari permukaan, contohnya pondasi sumuran dan pondasi tiang. Macam-macam contoh tipe pondasi diberikan dalam Gambar 2.4.

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



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

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

beban yang mempunyai bidangantara (*interfacing*) terhadap tanah.

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

- 1) Tentukan lokasi tapak dan posisi dari muatan. Perkiraan kasar dari beban-beban pondasi biasanya disediakan oleh nasabah atau dihitung-sendirinya (in-house). Tergantung dari kepelikan sistem beban atau tapak, maka dapat dimulai membuat tinjauan kepustakaan untuk mengetahui bagaimana orang lain berhasil mengadakan pendekatan atas masalah yang sejenis.
- 2) Pemeriksaan fisik atas tapak tentang adanya setiap masalah geologis atau masalah-masalah lain, bukti-bukti dari kemungkinan adanya permasalahan. Lengkapilah hal-hal ini dengan segala data pertanahan yang telah diperoleh sebelumnya.
- 3) Menetapkan program eksplorasi lapangan dan penyusun pengujian pelengkap lapangan yang perlu atas dasar temuan, serta menyusun program uji laboratorium.
- 4) Tentukan parameter rancangan tanah yang perlu berdasarkan pengintegrasian data uji, asas-asas, ilmiah, dan pertimbangan rekayasa. Hal ini mungkin melibatkan analisis komputer yang bersifat sederhana atau rumit. Untuk masalah-masalah yang kompleks, bandingkanlah data yang dianjurkan dengan kepustakaan yang pernah diterbitkan atau gunakanlah konsultan geoteknis yang lain agar hasil-hasilnya memberikan perspektif menurut sumber luar.
- 5) Buatlah rancangan pondasi dengan menggunakan parameter-parameter tanah menurut langkah nomor 4. Laksanakan interaksi yang erat dengan semua pihak yang berkepentingan (nasabah, para perekayasa, arsitek, kontraktor) sehingga sistem struktur-bawah itu tidak dirancang secara berlebihan dan risiko dijaga agar berada pada tingkat-tingkat yang dapat diterima.

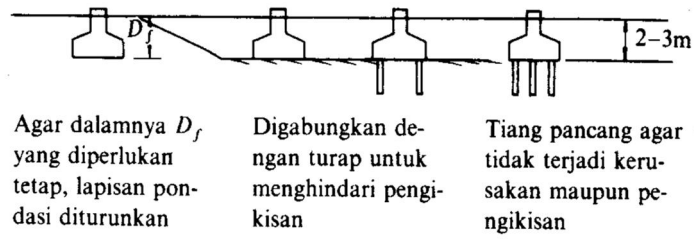
Sedangkan menurut Sosrodarsono dan Nakazawa (2000) untuk memilih pondasi yang memadai, perlu diperhatikan apakah pondasi itu cocok untuk berbagai keadaan dilapangan dan apakah pondasi itu memungkinkan untuk diselesaikan secara ekonomis sesuai dengan jadwal kerjanya. Bila keadaan tersebut ikut

dipertimbangkan dalam menentukan macam pondasi, hal-hal berikut ini perlu dipertimbangkan:

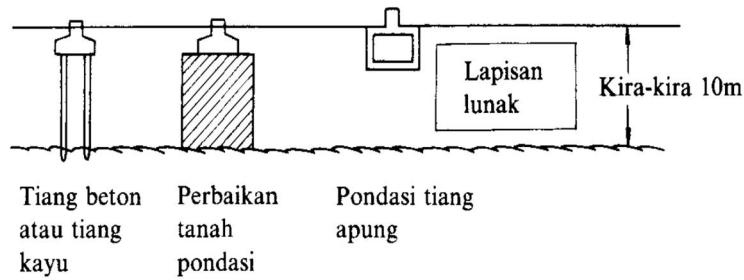
- 1) Keadaan tanah pondasi.
- 2) Batasan-batasan akibat konstruksi di atasnya.
- 3) Batasan-batasan dari sekelilingnya.
- 4) Waktu dan biaya pekerjaan.

Dari hal-hal di atas, jelas bahwa keadaan tanah pondasi pada urutan no 1 yang merupakan keadaan paling penting dan perinciannya. Berikut ini adalah jenis-jenis pondasi yang sesuai dengan keadaan tanah pondasi yang bersangkutan (Sosrodarsono dan Nakazawa, 2000):

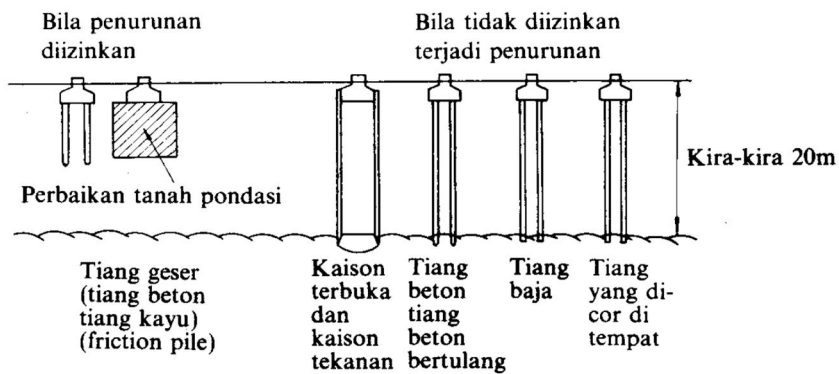
- 1) Bila tanah pendukung pondasi terletak pada permukaan tanah atau 2-3 meter dibawah permukaan tanah (Gambar 2.5), dalam hal ini pondasinya adalah pondasi telapak (*spread foundation*).
- 2) Bila tanah pendukung pondasi terletak pada kedalaman 10 meter dibawah permukaan tanah, dalam hal ini dipakai pondasi tiang atau pondasi tiang apung untuk memperbaiki tanah pondasi (Gambar 2.6). Jika memakai tiang, maka tiang baja atau tiang beton yang dicor ditempat (*cast in place*) kurang ekonomis, karena tiang tersebut kurang panjang.
- 3) Bila tanah pondasi terletak pada kedalaman 20 meter dibawah permukaan tanah, dalam hal ini tergantung dari penurunan (*settlement*) yang diizinkan, dapat dipakai pondasi seperti Gambar 2.7. Apabila tidak boleh terjadi penurunan, biasanya digunakan pondasi tiang pancang (*pile driven foundation*). Tetapi bila terdapat batu besar (*cobble stones*) pada lapisan antara, pemakaian kaison lebih menguntungkan.
- 4) Bila tanah pendukung pondasi terletak pada kedalaman sekitar 30 meter di bawah permukaan tanah, biasanya dipakai kaison terbuka, tiang baja atau tiang yang dicor di tempat, seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 2.8. Tetapi apabila tekanan atmosfer yang bekerja ternyata kurang dari 3 kg/cm^2 digunakan juga kaison tekanan.
- 5) Bila tanah pendukung pondasi terletak pada kedalaman lebih dari 40 meter di bawah permukaan tanah, dalam hal ini yang paling baik adalah tiang baja dan tiang beton yang dicor di tempat.



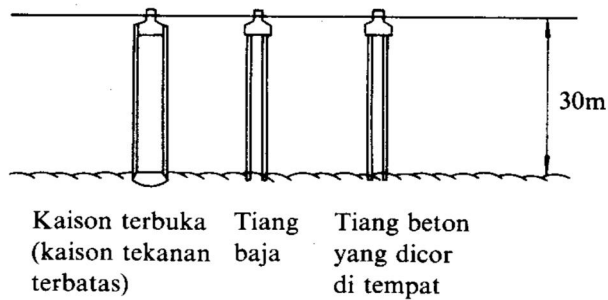
Gambar 2.5: Contoh pondasi bila lapisan pendukung pondasi cukup dangkal (Sosrodarsono dan Nakazawa, 2000)



Gambar 2.6: Contoh pondasi bila lapisan pendukung pondasi berada sekitar 10 meter dibawah permukaan tanah (Sosrodarsono dan Nakazawa, 2000).



Gambar 2.7: Contoh pondasi bila lapisan pendukung pondasi berada sekitar 20 meter dibawah permukaan tanah (Sosrodarsono dan Nakazawa, 2000).



Gambar 2.8: Contoh pondasi bila lapisan pendukung pondasi berada sekitar 30 meter dibawah permukaan tanah (Sosrodarsono dan Nakazawa, 2000).

2.4. Pengertian Pondasi Tiang

Pondasi tiang adalah suatu konstruksi pondasi yang mampu menahan gaya orthogonal kesumbu tiang dengan jalan menyerap lenturan (Sosrodarsono dan Nakazawa, 2000). Pondasi tiang dibuat menjadi satu kesatuan dengan monolit menyatukan pangkal tiang pancang yang terdapat dibawah konstruksi, dengan tumpuan pondasi.

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

Keuntungan-keuntungan pondasi tiang bor :

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

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

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

Kerugian-kerugian pondasi tiang bor :

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

2.5. Pelaksanaan Pondasi Tiang Bor

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

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

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

1. Penggalian lubang

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

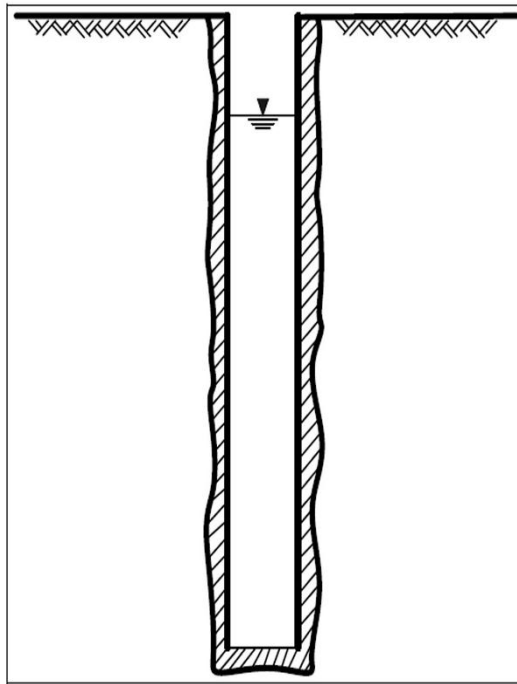
Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pelaksanaan pengeboran adalah :

- a. dimensi alat bor dan pemasangan alat pengeboran serta ketelitian letak dan tegak lurusnya tiang,
- b. persediaan alat-alat bantu yang kiranya diperlukan seperti casing, alat-alat untuk membersihkan lubang, alat-alat pengaman dan sebagainya,
- c. batas dalamnya pengeboran lubang. Batas ini tergantung dari keadaan tanah. Meskipun umumnya telah ditentukan dalam spesifikasi, namun sebaiknya penentuan di lapangan ditentukan oleh *site soil engineer* yang cukup ahli dan berpengalaman.

Pada tanah lempung cukup keras, umumnya lubang tiang dapat langsung dibuat tanpa harus menggunakan *casing*. Dalam hal ini, mungkin ada bagian-bagian dinding yang runtuh, namun secara umum akan terlihat potongan lubang seperti pada Gambar 2.9.

Akibat dari penggalian lubang, maka :

- a. tanah sekeliling dan di bawah lubang terganggu, serta terjadi perubahan tegangan pada bagian yang diarsir pada Gambar 2.9 karena pengambilan tanah,
- b. jika muka air tanah tinggi, maka akan terjadi aliran air pori tanah ke dalam lubang.



Gambar 2.9: *Overbreak* diameter lubang bor akibat longsor tanah (Harianto, 2007).

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

Masalah utama dalam instalasi tiang bor pada tanah pasir adalah masalah pelaksanaan. Pada keadaan tanah khusus, seperti tanah pasir lepas sering

memerlukan dipakainya *casing* atau penggunaan *bentonite*. Pengaruh pengeboran tanah pasir pada dasar lubang umumnya sama dengan pada tanah lempung yaitu berkurangnya daya dukung tanah. Berdasar penelitian beberapa ahli, disimpulkan bahwa penggunaan *bentonite* secara praktis tidak mengurangi tahanan selimut tanah pada tiang bor, jika cara pelaksanaan tiang bor cukup baik.

2. Pembersihan dasar lubang

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

3. Pemasangan tulangan

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

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

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

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

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

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

4. Pengecoran beton

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

Apabila lubang bor dalam keadaan kering dan tidak terlalu dalam, pengecoran beton biasanya tidak memerlukan teknik tertentu. Lain halnya

jika lubang penuh dengan air dan cukup dalam, maka pengecoran beton biasanya dilakukan dengan *tremie*. Pelaksanaan pengecoran dengan *tremie* memerlukan teknik khusus.

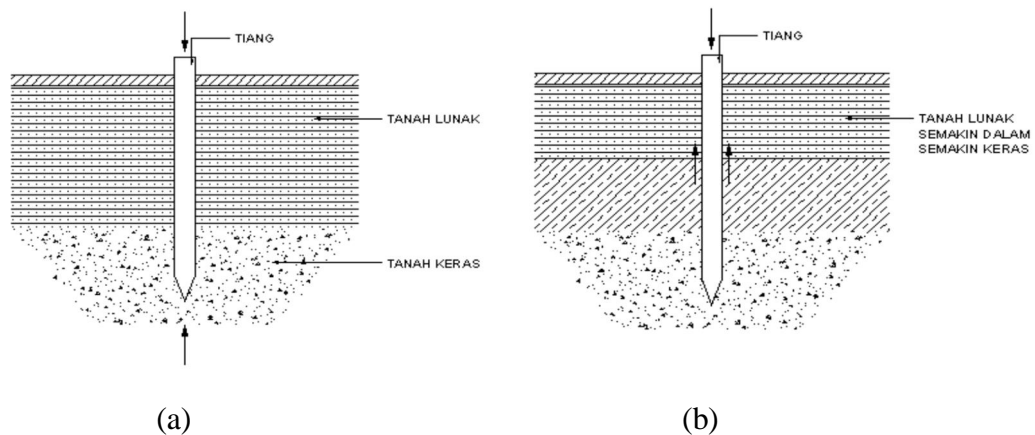
Hal penting pertama yang perlu diperhatikan adalah *workability* dari beton. *Workability* beton diperlukan agar beton dapat mendesak kotoran tanah yang berada didasar lubang ke atas serta dapat mendesak ke samping lubang. Biasanya diperlukan beton dengan slump >15cm. Hal kedua adalah agar beton tidak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

2.6. Kapasitas Daya Dukung

2.6.1. Tiang Dukung Ujung dan Tiang Gesek

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

- 1) Tiang dukung ujung (*end bearing pile*) adalah tiang yang kapasitas dukungnya ditentukan oleh tahanan ujung tiang. Umumnya tiang dukung ujung berada dalam zone tanah yang lunak yang berada diatas tanah keras. Tiang-tiang dipancang sampai mencapai batuan dasar atau lapisan keras lain yang dapat mendukung beban yang diperkirakan tidak mengakibatkan penurunan berlebihan. Kapasitas tiang sepenuhnya ditentukan dari tahanan dukung lapisan keras yang berada dibawah ujung tiang (Gambar 2.10a).
- 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
 a. Ujung, b. Selimut (Hardiyatmo, 2002).

2.6.2. Kapasitas Daya Dukung Dari Data *Standard Penetration 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*), berdasarkan nilai jumlah pukulan (N).

Perkiraan kapasitas daya dukung pondasi tiang pada tanah pasir dan lempung didasarkan pada data uji lapangan SPT, Mayerhof (1976) mengusulkan persamaan sebagai berikut :

1. Kekuatan ujung tiang (*end bearing*) dan kekuatan lekatan (*skin friction*) pada tanah non kohesif (Mayerhof, 1976) ditunjukkan dalam Pers. 2.1 dan 2.2.

Kekuatan ujung tiang:

$$Q_p = 14 \cdot \bar{N} \cdot \frac{L}{D} \cdot A_p \quad (2.1)$$

Untuk tahanan selimut tiang:

$$Q_s = 0.67 \cdot \bar{N} \cdot p \cdot L \quad (2.2)$$

Dimana:

\bar{N} = Jumlah nilai SPT rata-rata (10D diatas dan 4D dibawah tiang).

A_p = Luas penampang tiang (Pers. 2.3)

p = keliling tiang untuk bagian yang di tinjau

L = Panjang lapisan tanah yang di tinjau

D = Diameter tiang

Luas penampang tiang:

$$A_p = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \quad (2.3)$$

2. Kekuatan ujung tiang (*end bearing*) dan kekuatan selimut (*skin friction*) pada tanah kohesif ditunjukkan dalam Pers. 2.4 dan 2.5 :

Untuk tahanan ujung tiang:

$$Q_s = N_c \cdot C_u \cdot A_p \quad (2.4)$$

Untuk tahanan selimut tiang:

$$Q_s = \alpha \cdot C_u \cdot p \cdot L \quad (2.5)$$

Dimana:

α = Koefisien adhesi antara tanah dan tiang

C_u = Kohesi Undrained (Tabel 2.1)

N_c = Faktor kapasitas daya dukung

p = keliling tiang (Pers.2.6)

L = panjang lapisan tanah yang di tinjau

Dengan:

$$p = \pi \cdot D \quad (2.6)$$

Tabel 2.1: Parameter rencana tiang untuk tanah lempung (BMS, 1992)

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

2.7. Kapasitas Daya Dukung *Lateral*

Gaya lateral adalah gaya yang bekerja pada bidang horizontal. Beban lateral dan momen dapat bekerja pada pondasi tiang akibat gaya gempa, gaya angin pada struktur atas, dan beban statik seperti misalnya tekanan aktif tanah pada abutment jembatan atau pada soldier pile, tumbukan kapal, dan lain-lain. Metoda analisis yang dapat digunakan adalah Metoda Broms.

2.7.1 Metode Broms

Perhitungan pada metoda ini menggunakan teori tekanan tanah yang disederhanakan dengan menganggap bahwa sepanjang kedalaman tiang, tanah mencapai nilai ultimit. Broms membedakan antara tiang pendek dan panjang serta membedakan posisi kepala tiang bebas dan terjepit.

2.8. Faktor Keamanan

Reese dan O'Neill (1989) menyarankan pemilihan faktor aman untuk perancangan pondasi tiang (Tabel 2.2), yang dipertimbangkan tergantung pada beberapa faktor yaitu (Hardiyatmo, 2008):

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.

Tabel 2.2: Faktor keamanan untuk pondasi tiang (Hardiyatmo, 2008).

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

2.9. Penurunan Tiang Tunggal (*Settlement*)

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 keduanya.

Perkiraan penurunan tiang tunggal dapat dihitung berdasarkan Pers. 2.7 - 2.10.

a. Untuk tiang apung atau friksi

$$s = \frac{Q \cdot l}{E_s \cdot D} \quad (2.7)$$

Dimana (Gambar 2.11-2.15):

$$l = l_o \cdot R_k \cdot R_h \cdot R_v \quad (2.8)$$

b. Untuk tiang dukung ujung

$$s = \frac{Q \cdot l}{E_s \cdot D} \quad (2.9)$$

Dimana (Gambar 2.11-2.15):

$$l = l_o \cdot R_k \cdot R_b \cdot R_v \quad (2.10)$$

Keterangan:

S	= Besar penurunan yang terjadi
Q	= Besar beban yang bekerja
D	= Diameter tiang
E _s	= Modulus elastisitas tana disekitar tiang
l _o	= Faktor pengaruh penurunan tiang yang tidak mudah mampat (<i>incompressible</i>) dalam massa semi tak terhingga
R _k	= Faktor koreksi kemudahmampatan tiang untuk μ = 0.35
R _h	= Faktor koreksi untuk ketebalan lapisan yang terletak pada tanah keras
R _μ	= Faktor koreksi angka poisson
R _b	= Faktor koreksi untuk kekakuan lapisan pendukung
H	= Kedalaman

K adalah suatu ukuran kompressibilitas relatif dari tiang dan tanah yang dinyatakan oleh Pers. 2.11.

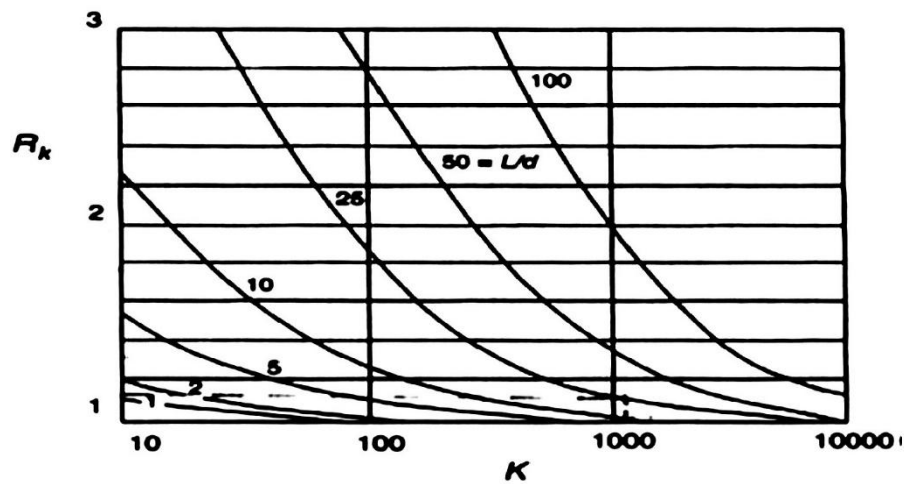
$$K = \frac{E_p \cdot R_A}{E_s} \quad (2.11)$$

Dimana R_A yaitu rasio area tiang dihitung dengan Pers. 2.12.

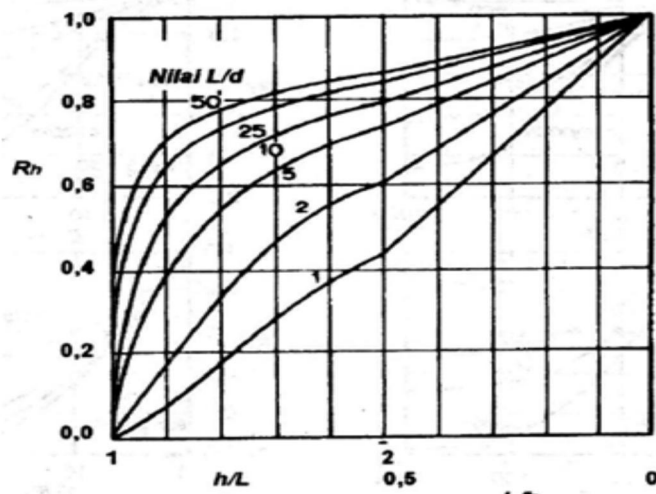
$$R_A = \frac{A_p}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2} \quad (2.12)$$

Keterangan:

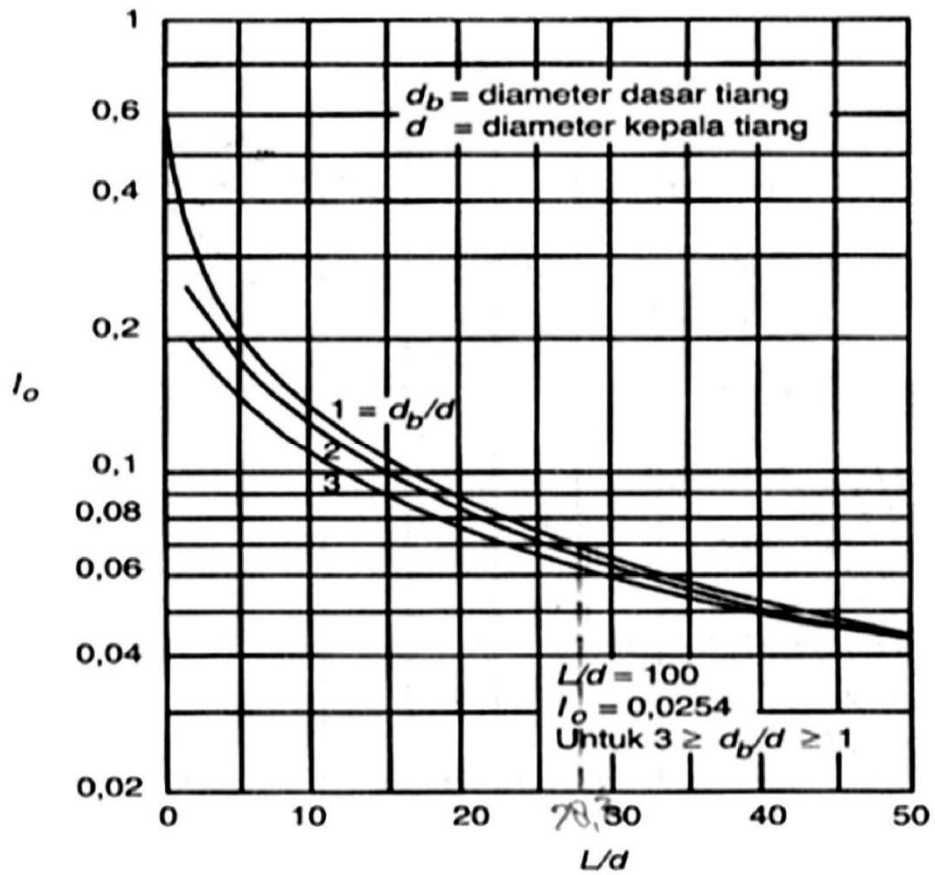
- K = faktor kekakuan tiang
- E_p = modulus elastisitas dari bahan tiang
- E_s = modulus elastisitas tanah di sekitar tiang



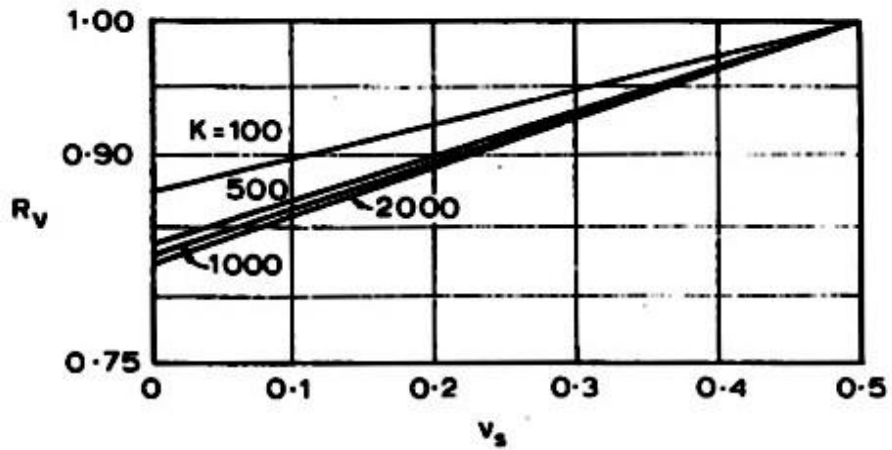
Gambar 2.11: Faktor penurunan R_k (Poulos dan Davis, 1980).



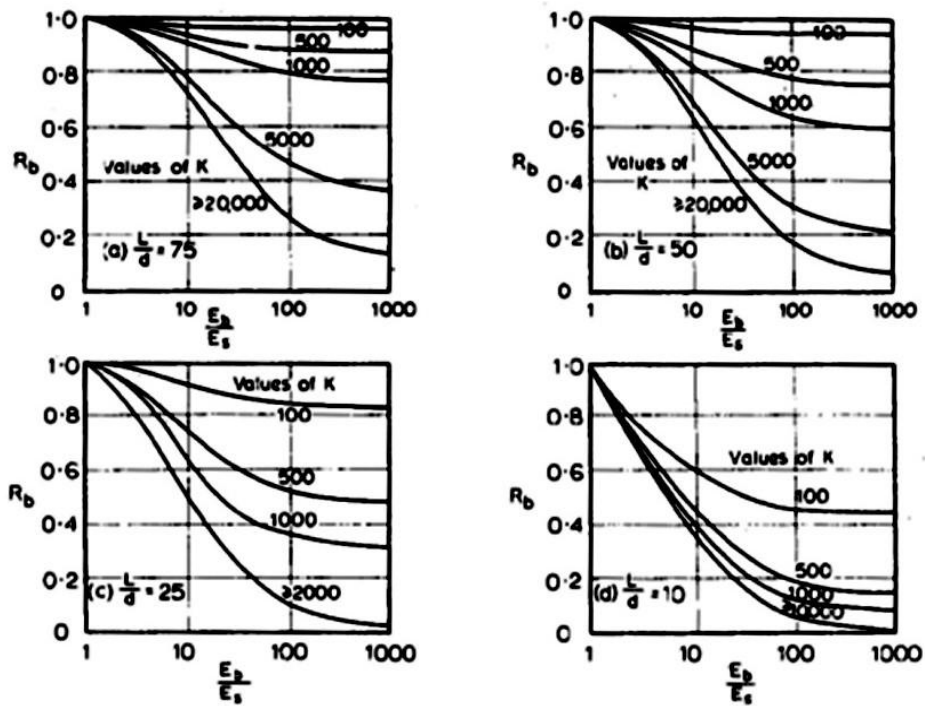
Gambar 2.12: Koreksi kedalaman R_h (Poulos dan Davis, 1980).



Gambar 2.13: Koreksi kompresi I_o (Poulos dan Davis, 1980).



Gambar 2.14: Koreksi angka Poisson, R_μ (Poulos dan Davis, 1980).



Gambar 2.15: Koreksi kekakuan lapisan pendukung R_b (Poulos dan Davis, 1980).

2.10. Parameter Tanah

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

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

1. Modulus Young (E)

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

pendekatan terhadap jenis dan konsistensi tanah dengan N-SPT , seperti pada Tabel 2.3 dan Tabel 2.4.

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

Subsurface condition	Penetration resistance range N	ϵ_{50} (%)	Poisson's Ratio (ν)	Shear strength S_u (psf)	Young's Modulus Range E_s (psi)	Shear Modulus Range G (psi)
Very soft	2	0,020	0,5	250	170-340	60-110
Soft	2-4	0,020	0,5	375	260-520	80-170
Medium	4-8	0,020	0,5	750	520-1040	170-340
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

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

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

2. Poisson's Ratio (ν)

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 (Hardiyatmo, 1994). Dalam Tabel 2.5 ditunjukkan hubungan antara jenis tanah, konsistensi dengan poisson ratio.

Tabel 2.5: Hubungan Jenis Tanah dan poisson ratio (ν) (Hardiyatmo, 1994).

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

3. Kohesi (c)

Kohesi merupakan gaya tarik menarik antar partikel tanah. Bersama dengan sudut geser tanah, kohesi merupakan parameter kuat geser tanah yang menentukan ketahanan tanah terhadap deformasi akibat tegangan yang bekerja pada tanah. Deformasi dapat terjadi akibat adanya kombinasi keadaan kritis dari tegangan normal dan tegangan geser. Nilai dari kohesi didapat dari *engineering properties*, yaitu dengan *triaxial test* dan *direct shear test*.

4. Berat Isi Tanah Kering (γ_{dry})

Berat isi tanah kering adalah perbandingan antara berat tanah kering dengan satuan volume tanah. Berat isi tanah kering diperoleh dari pengujian dilaboratorium. Berat isi tanah kering dapat juga menggunakan korelasi dengan jenis tanah seperti Tabel 2.6.

Tabel 2.6: Hubungan jenis tanah dengan berat isi tanah kering (Soedarmo, 1993).

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

5. Berat Isi Tanah Jenuh (γ_{sat})

Berat isi tanah jenuh adalah perbandingan antara berat tanah jenuh air dengan satuan volume tanah seluruhnya. Di mana berat isi tanah kering juga diperoleh dari pengujian dilaboratorium, atau dengan Pers. 2.13.

$$\gamma_{sat} = \gamma_{dry} + 9.8 \quad (2.13)$$

6. Sudut Geser Dalam (ϕ)

Sudut geser dalam bersama dengan kohesi merupakan faktor dari kuat geser tanah yang menentukan ketahanan tanah terhadap deformasi akibat tegangan yang bekerja pada tanah. Deformasi dapat terjadi akibat adanya kombinasi keadaan kritis dari tegangan normal dan tegangan geser. Nilai dari sudut geser dalam didapat dari *engineering properties* tanah, yaitu dengan *triaxial test* dan *direct shear test*.

7. Sudut Dilatasi (Ψ)

Sudut dilatasi, ψ dinyatakan dalam derajat. Selain tanah lempung yang terkonsolidasi sangat berlebih, tanah lempung cenderung tidak menunjukkan dilatasi sama sekali yaitu $\psi = 0$. Dilatasi dari tanah pasir tergantung pada

kepadatan serta sudut gesernya (Bakker dkk, 2002), yang dinyatakan dengan Pers. 2.14.

$$\Psi = \emptyset - 30^\circ \quad (2.14)$$

8. 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. Nilai koefisien *permeabilitas* tanah dapat ditentukan berdasarkan jenis tanah tersebut seperti pada Tabel 2.7:

Tabel 2.7: Nilai koefisien *Permeabilitas* tanah (Braja,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
lepong	< 0.000001	< 0.000002

2.11. Metode Elemen Hingga

Program analisis ini merupakan program pendekatan prinsip *finite elemen method* dalam analisis beberapa masalah yang kompleks dibidang geoteknik. Konsep dasar program ini membagi elemen-elemen kecil tak terhingga berbentuk segitiga tidak beraturan (*meshing*). Adapun tahapan-tahapan dalam pemodelan menggunakan program ini antara lain:

1. Input

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 *input* dengan material model Mohr coulomb adalah sebagai berikut:

- a. Kondisi awal geometri tanah dan material dengan awal proses yaitu *project setting* dan *dimension setting*. kemudian menentukan model struktur yang akan dilakukan analisis, model struktur dibagi menjadi dua jenis yaitu *plane strain* dan *axisymetry*.
- b. Menentukan elemen-elemen jaringan segitiga tak berhingga dan tak beraturan dalam beberapa titik nodal (*node*), dengan dua pilihan yaitu 6 node dan 15 node.
- c. 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.
- d. 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).
- e. General material setting, Pada bagian ini perlu tipe material, berat volume tanah (γ_{sat} dan γ_{dry}) 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 (ϕ) dan sudut dilatansi (ψ). *Interface setting* struktur merupakan interaksi struktur dengan tanah, pilih *rigid interface* jika keberadaan material mempengaruhi kekuatan tanah.
- f. Tahap tipe konstruksi, konstruksi yang digunakan dalam simulasi numerik adalah model pelat (*plate*).
- g. Menentukan beban luar (*external load*), besarnya beban luar diaplikasikan pada konstruksi dapat berupa beban terbagi rata (*distributed load*) maupun beban titik (*point loads*).
- h. *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*.

i. 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*).

2. *Calculation*

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

3. *Output*

Output merupakan pemaparan hasil analisis proses hitungan dari *calculation* yang terdiri dari *geometry*, *deformation* dan *stresses*.

2.12. Uji Pembebanan Statik (*Static Loading Test*)

Interpretasi Hasil Uji Pembebanan

Adapun metode yang digunakan untuk menginterpretasikan data hasil uji pengujian adalah sebagai berikut (Hardiyatmo, 2008):

a. Metode Davisson (1972)

Prosedur penentuan beban ultimate dari pondasi tiang dengan metode ini adalah sebagai berikut :

- Gambarkan kurva beban – penurunan.
- Tentukan penurunan *elastic* dari tiang dengan Pers. 2.15:

$$\Delta = \frac{Q_{va} \times L}{A \times E} \quad (2.15)$$

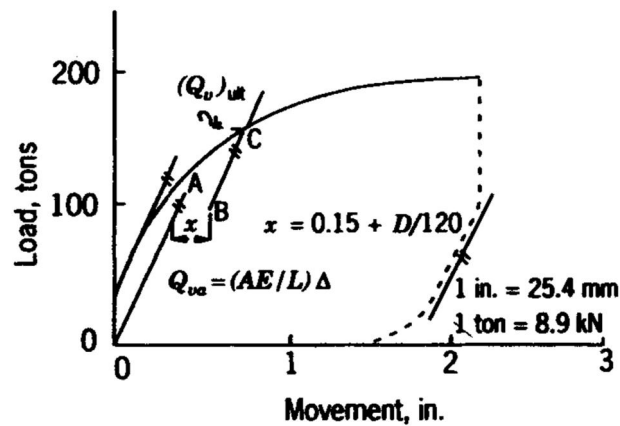
dimana Q_{va} adalah beban yang digunakan, L adalah panjang tiang, A adalah luas potongan melintang tiang dan E adalah modulus elastisitas tiang.

- Gambarkan sebuah garis OA berdasarkan persamaan diatas.
- Gambarkan sebuah garis BC yang sejajar dengan OA pada jarak sejauh x dengan Pers. 2.16:

$$x = 0.15 + \frac{D}{120 \text{ in}} \quad (2.16)$$

dengan D adalah diameter tiang dalam inchi.

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

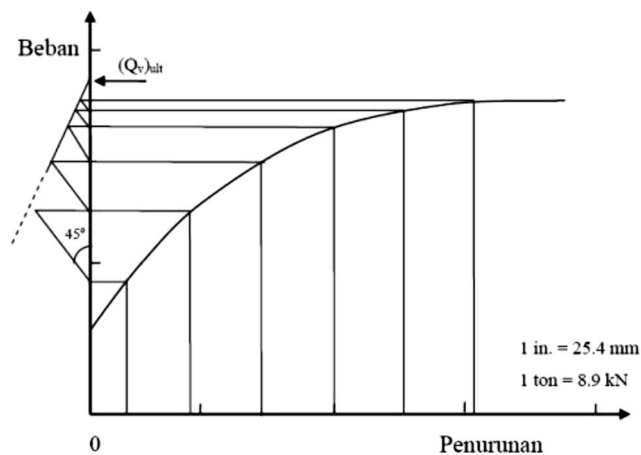


Gambar 2.16: Kurva interpretasi metode Davisson (Hardiyatmo, 2008).

b. Metode Mazurkiewicz (1972)

Prosedur penentuan beban ultimit Mazurkiewicz adalah sebagai berikut (Gambar 2.17):

- Diplot kurva beban terhadap penurunan.
- Menarik garis dari beberapa titik penurunan yang dipilih hingga memotong kurva, kemudian ditarik garis vertikal hingga memotong sumbu beban.
- Dari perpotongan setiap beban tersebut, dibuat garis 45° terhadap
- garis perpotongan berikutnya dan seterusnya.
- Menghubungkan titik yang terbentuk ini hingga menghasilkan sebuah garis lurus.
- Perpotongan garis lurus dengan sumbu beban merupakan beban Ultimitnya.

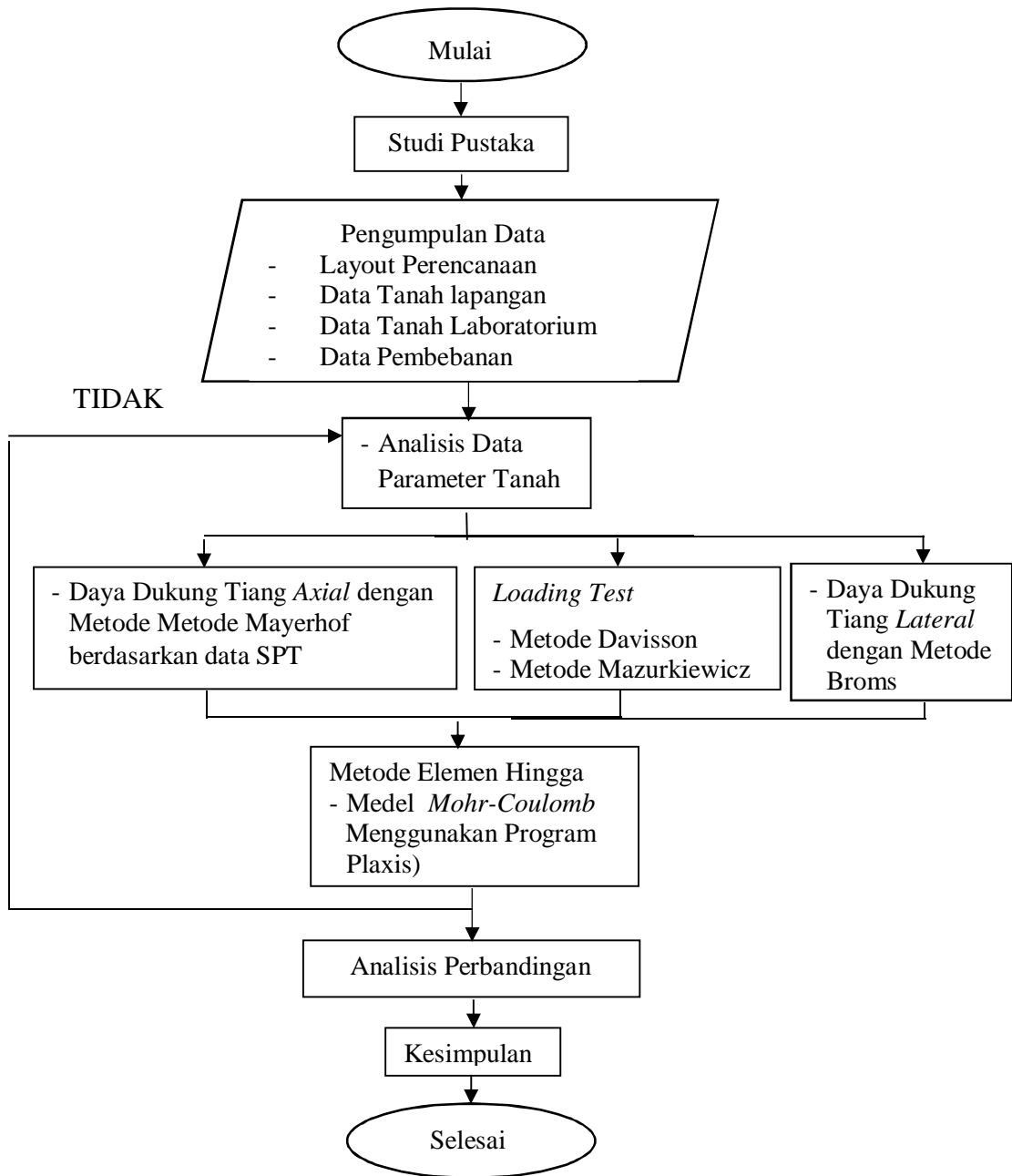


Gambar 2.17: Kurva interpretasi metode Mazurkiewicz (Hardiyatmo, 2008).

BAB 3
METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian

Tahapan Rencana disajikan secara sistematis pada gambar 3.1.

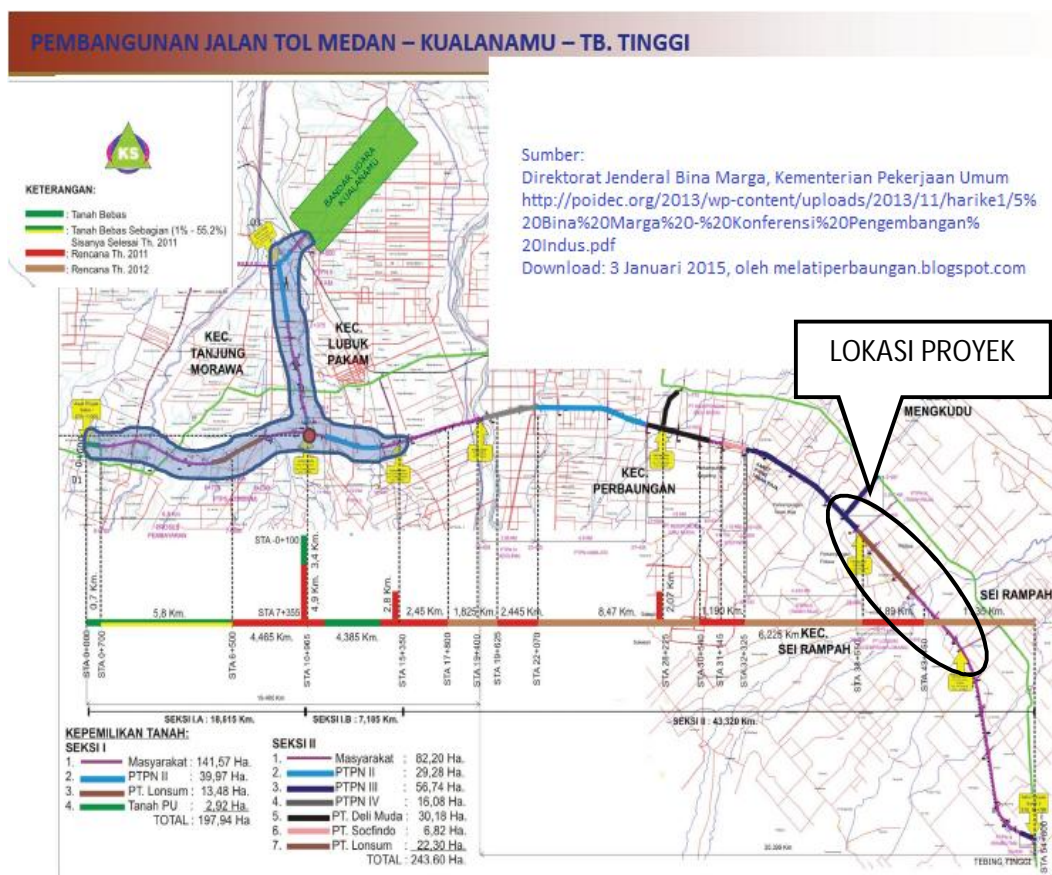


Gambar 3.1: Diagram alir penelitian.

3.2. Data Umum Proyek

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

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



Gambar 3.2: Denah lokasi proyek pembangunan jalan tol Medan Kualanamu Tebing Tinggi Seksi 6 (Kementerian Pekerjaan Umum).

3.3. Lokasi Titik Pengeboran

Dari data yang diperoleh dari pihak kontraktor, penulis memilih 3 titik pengeboran yaitu pada bagian jembatan sungai Sei Rampah dan seperti diperlihatkan pada Gambar 3.3 dan Gambar 3.4.



Gambar 3.3: Lokasi titik pengeboran BH-1 Sta 75 +561 dan BH-2 Sta 75 +550 (Dokumentasi PT. Waskita Karya Seksi 6).



Gambar 3.4: Lokasi titik pengeboran BH-3 Sta 76 +175 (Dokumentasi PT. Waskita Karya Seksi 6).

3.4. Pengumpulan Data

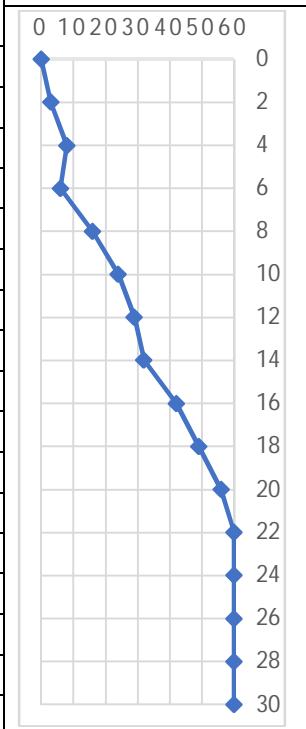
Data yang digunakan pada tugas akhir ini, keseluruhannya merupakan data sekunder. Data sekunder dalam penelitian ini meliputi data hasil *loading test*, data tanah yang merupakan hasil dari pengujian *Standard Penetration Test (SPT)* dan data pengujian laboratorium.

3.5. Analisis Data Tanah

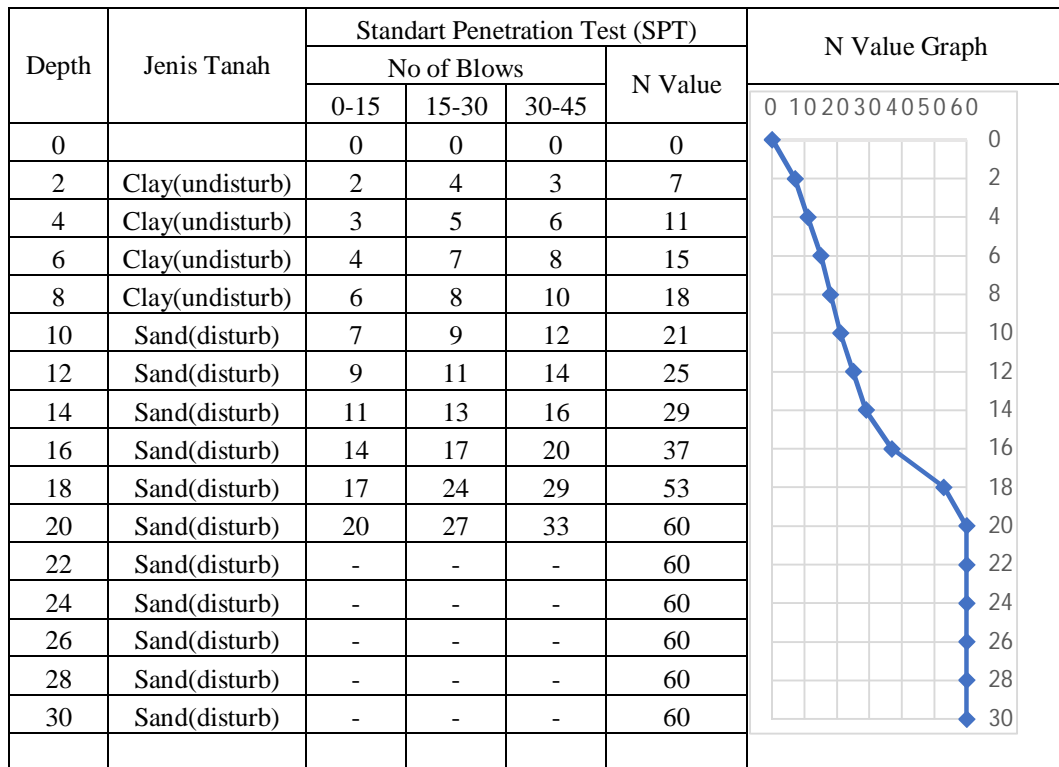
Data propertis material dalam penelitian ini adalah data Sekunder yang diperoleh dari pihak kontraktor yang menangani pekerjaan pembangunan Jalan Tol Medan Kualanamu Tebing Tinggi (seksi 6). Data lapangan yang dimaksud ialah data uji penetrasi standar (SPT) sedalam 30 m (Tabel 3.1 - 3.3), data laboratorium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

Tabel 3.1: Data hasil pengeboran (BH 1).

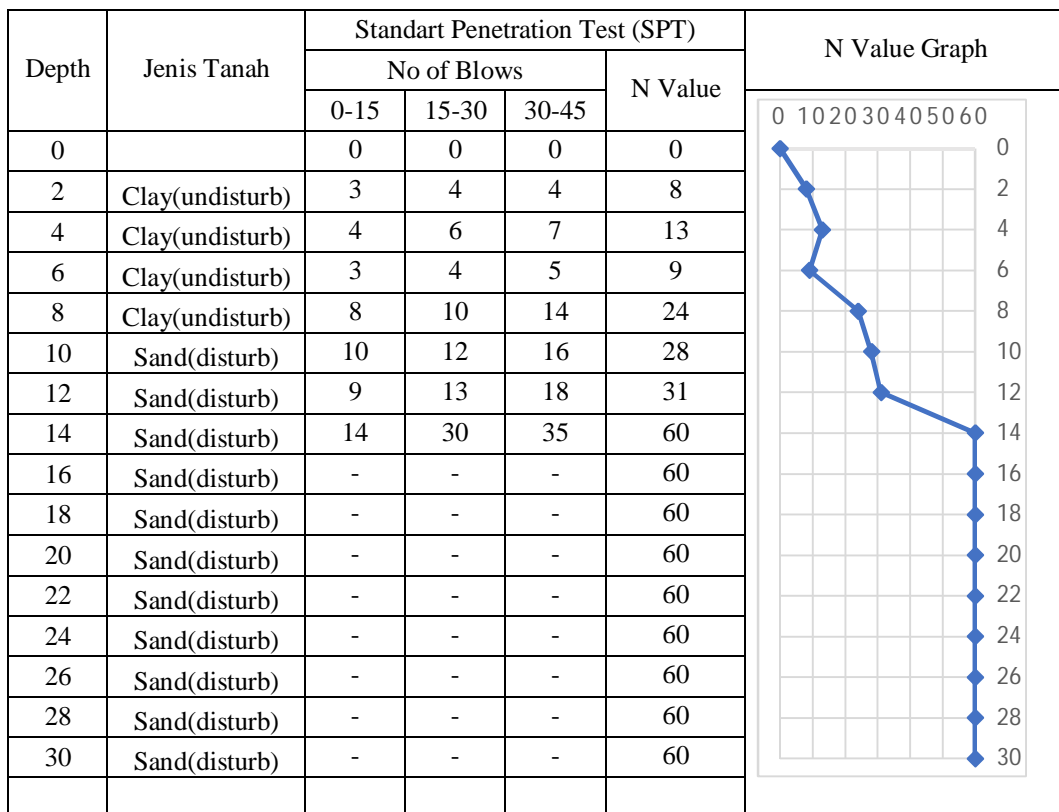
Depth	Jenis Tanah	Standart Penetration Test (SPT)			N Value	N Value Graph
		No of Blows				
		0-15	15-30	30-45		
0		0	0	0	0	
2	Clay(undisturb)	1	2	1	3	
4	Clay(undisturb)	2	3	5	8	
6	Clay(undisturb)	3	2	4	6	
8	Clay(undisturb)	5	7	9	16	
10	Sand(disturb)	7	10	14	24	
12	Sand(disturb)	8	13	16	29	
14	Sand(disturb)	10	15	17	32	
16	Sand(disturb)	14	19	23	42	
18	Sand(disturb)	18	22	27	49	
20	Sand(disturb)	20	24	32	56	
22	Sand(disturb)	25	32	41	60	
24	Sand(disturb)	-	-	-	60	
26	Sand(disturb)	-	-	-	60	
28	Sand(disturb)	-	-	-	60	
30	Sand(disturb)	-	-	-	60	



Tabel 3.2: Data hasil pengeboran (BH 2).



Tabel 3.3: Data hasil pengeboran (BH 3).



3.6. Analisis Parameter Tanah

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

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

1. Untuk koefisien rembesan (k_x , k_y) diambil dari nilai koefisien *permeabilitas* tanah pada berbagai jenis tanah tercantum pada Tabel 2.7.
2. Untuk modulus elastisitas (E) diambil dari nilai perkiraan modulus elastisitas tanah dapat dilihat pada Tabel 2.3 dan Tabel 2.4, yaitu dengan cara mengkorelasikan nilai SPT dan konsistensi tanah terhadap modulus elastisitas. Nilai modulus elastisitas di konversikan kedalam satuan kN/m^2 .
3. Untuk angka poisson (ν), diambil dari hubungan jenis tanah, konsistensi dan poisson ratio (ν) yaitu pada Tabel 2.5.
4. Untuk sudut geser dalam (ϕ) nilai diambil dari Tabel 2.4 dengan cara mengkorelasikan nilai N-SPT.
5. Berat isi tanah kering (γ_{dry}) diambil dari Tabel 2.6 yaitu korelasi antara jenis tanah dengan berat isi tanah kering.
6. Berat isi tanah jenuh (γ_{sat}) dihitung dengan Pers. 2.13 yaitu menjumlahkan nilai berat isi kering (γ_{dry}) dengan 9.8.
7. Untuk nilai kohesi (c) diperoleh dari percobaan laboratorium yang dilakukan oleh pihak kontraktor.
8. Sudut Dilantasi diperoleh dengan menggunakan Pers. 2.14.

Tabel 3.4: 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 Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	-
3	Jenis perilaku	-	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	-
4	Berat isi tanah di atas garis freatik	γ_{dry}	9	14.5	18	18	18	18	kN/m ³
5	Berat isi tanah di bawah garis freatik	γ_{sat}	19.9	24.3	27.8	27.8	27.8	27.8	kN/m ³
6	Permeabilitas arah horizontal	K_x	1.150E-13	1.150E-09	1.150E-09	1.150E-09	1.150E-09	1.150E-09	m/hari
7	Permeabilitas arah vertical	K_y	1.150E-13	1.150E-09	1.150E-09	1.150E-09	1.150E-09	1.150E-09	m/hari
8	Modulus Young	E	6274.23	18202.2	28061.7	41644.4	44126.5	44126.5	kN/m ²
9	Angka Poisson	ν	0.35	0.15	0.25	0.35	0.35	0.35	-
10	Kohesi	c	44.893	1	1	1	1	1	kN/m ²
11	sudut geser dalam	φ	0	34.20	37.75	41.48	41.80	41.80	°
12	sudut dilatansi	ψ	0	4.2	7.75	1.48	1.8	1.8	°

Tabel 3.5: Parameter Tanah BH-2.

No.	Parameter	simbol	Lapisan						satuan
			Lap 1	Lap 2	Lap 3	Lap 4	Lap 5	Lap 6	
1	Konsistensi	-	Lunak	Sedang ke padat	Sangat padat	Sangat padat	Sangat padat	Sangat padat	-
2	Model material	-	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	-
3	Jenis perilaku	-	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	-
4	Berat isi tanah di atas garis freatik	γ_{dry}	11.50	14.50	16	16	16	16	kN/m ³
5	Berat isi tanah di bawah garis freatik	γ_{sat}	21.3	24.3	25.8	25.8	25.8	25.8	kN/m ³
6	Permeabilitas arah horizontal	K_x	1.150E-13	1.150E-09	1.150E-09	1.150E-09	1.150E-09	1.150E-09	m/hari
7	Permeabilitas arah vertical	K_y	1.150E-13	1.150E-09	1.150E-09	1.150E-09	1.150E-09	1.150E-09	m/hari
8	Modulus Young	E	12158.8	15926.9	25028	44126.5	44126.5	44126.5	kN/m ²
9	Angka Poisson	ν	0.35	0.25	0.35	0.35	0.35	0.35	-
10	Kohesi	c	85.48	1	1	1	1	1	kN/m ²
11	sudut geser dalam	ϕ	0	33.30	36.75	41.80	41.80	41.80	°
12	sudut dilatansi	ψ	0	3.30	6.75	11.8	11.8	11.8	°

Tabel 3.6: Parameter Tanah BH-3.

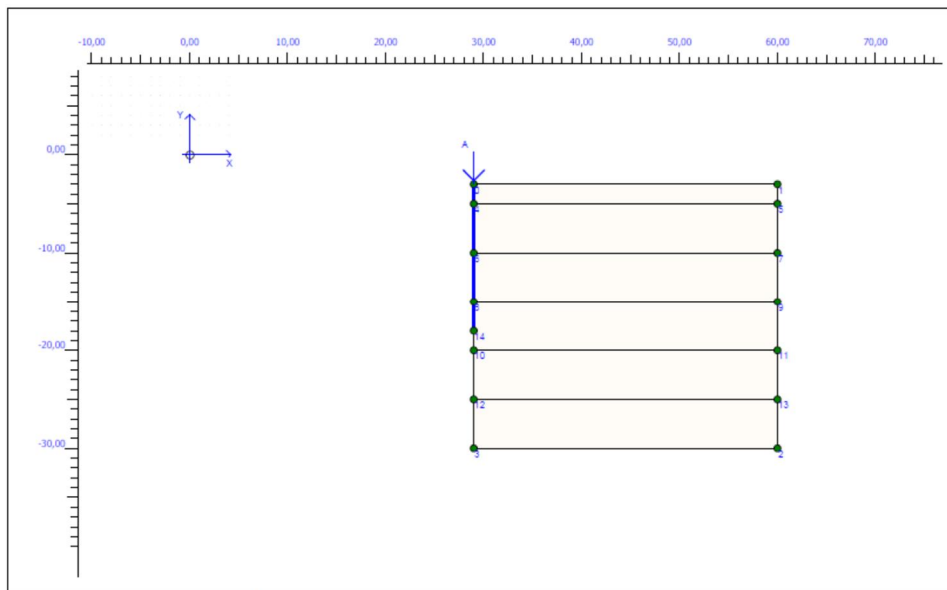
No.	Parameter	simbol	Lapisan						satuan
			Lap 1	Lap 2	Lap 3	Lap 4	Lap 5	Lap 6	
1	Konsistensi	-	Lunak	Sedang kepd	Padat	Sangat padat	Sangat padat	Sangat padat	-
2	Model material	-	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	-
3	Jenis perilaku	-	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	-
4	Berat isi tanah di atas garis freatik	γ_{dry}	11.50	14.50	14.50	16	16	18	kN/m ³
5	Berat isi tanah di bawah garis freatik	γ_{sat}	21.3	24.3	24.3	25.8	25.8	27.8	kN/m ³
6	Permeabilitas arah horizontal	K_x	1.150E-09	1.150E-07	1.150E-07	1.150E-07	1.150E-07	1.150E-07	m/hari
7	Permeabilitas arah vertical	K_y	1.150E-09	1.150E-07	1.150E-07	1.150E-07	1.150E-07	1.150E-07	m/hari
8	Modulus Young	E	10288.2	21235.9	44126.5	44126.5	44126.5	44126.5	kN/m ²
9	Angka Poisson	ν	0.35	0.15	0.15	0.25	0.25	0.25	-
10	Kohesi	c	71.957	1	1	1	1	1	kN/m ²
11	sudut geser dalam	ϕ	0	35.40	41.8	41.8	41.8	41.8	°
12	sudut dilatansi	ψ	0	3.4	11.8	11.8	11.8	11.8	°

3.7. Menghitung Daya Dukung Dengan Metode Elemen Hingga

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

3.7.1. Pemodelan Geometri

Pembuatan sebuah model elemen hingga dimulai dengan pembuatan geometrik dari model, yang merupakan gambaran dari masalah yang ingin dianalisis. Pada penelitian ini dimodelkan klaster 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 3.5). Setelah pemodelan klaster lapisan tanah, selanjutnya ialah pemodelan struktur tiang.

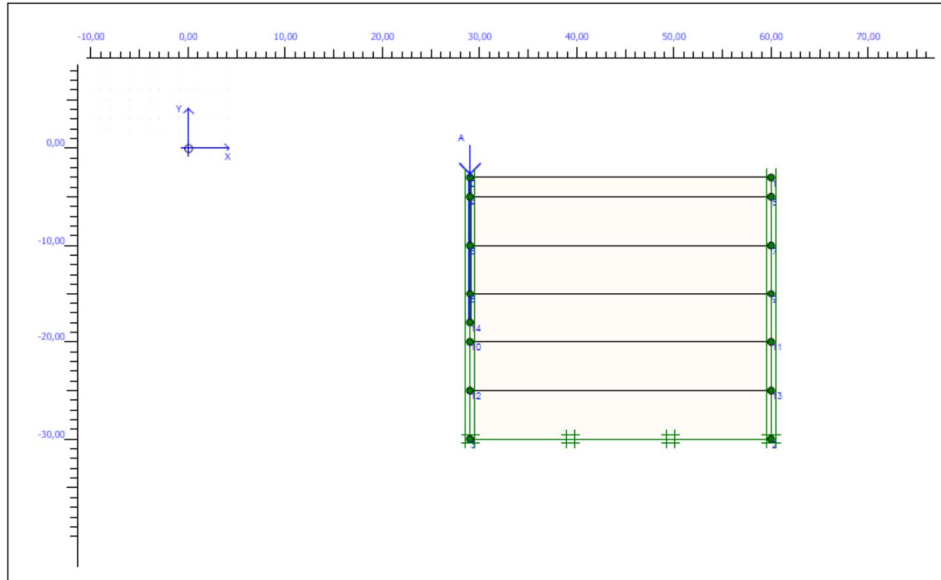


Gambar 3.5: Pemodelan geometri pada program analisis.

3.7.2. Kondisi Batas (*Boundary Condition*)

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

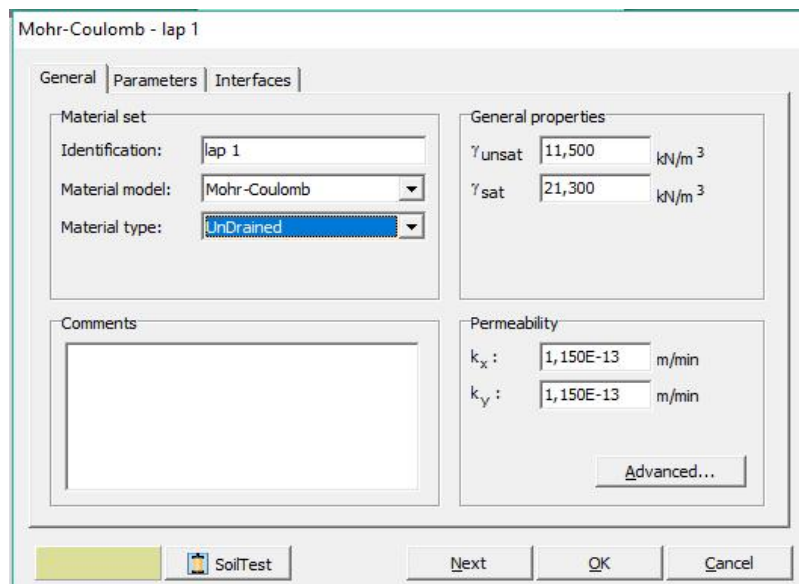
berupa dua garis vertikal sejajar dan jepit penuh akan berupa dua pasang garis vertikal sejajar yang bersilangan (Bakker dkk, 2007) (Gambar 3.6).



Gambar 3.6: Penetapan kondisi batas pada geometri.

3.7.3. Input Parameter Tanah

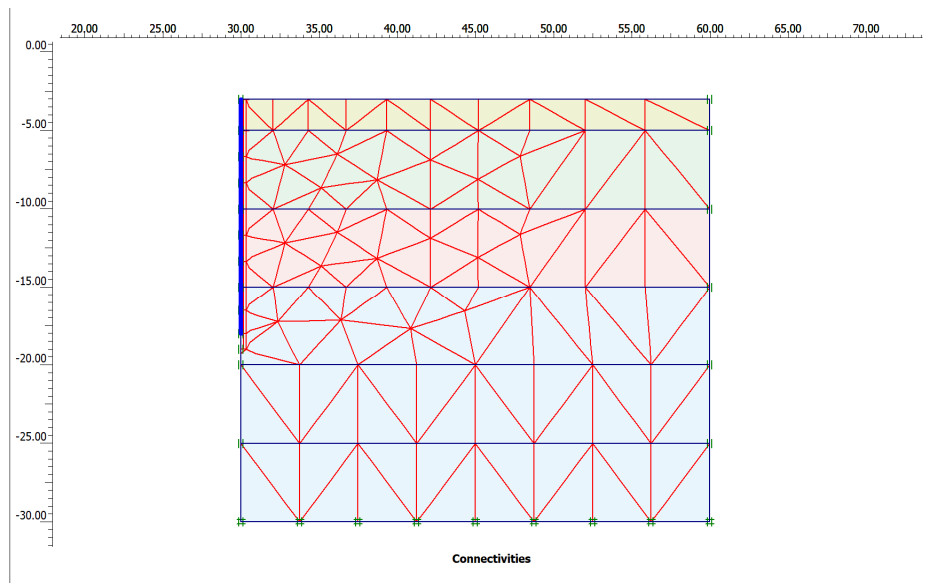
Analisis yang akan dilakukan didasarkan pada model material *Mohr-Coulomb* yang merupakan pemodelan dengan kondisi elastis-plastis terdiri dari beberapa parameter (Gambar 3.7) yakni *Modulus Young* (E) dan *Poisson Rasio* (ν), kohesi (c), sudut gesek dalam (ϕ), sudut dilatasi (ψ), berat jenis kering (γ_{dry}), berat jenis jenuh (γ_{sat}), dan juga permeabilitas (K).



Gambar 3.7: Input parameter tanah dan pemodelan Mohr-coulomb.

3.7.4. Penyusunan Jaring Elemen (*Meshing*)

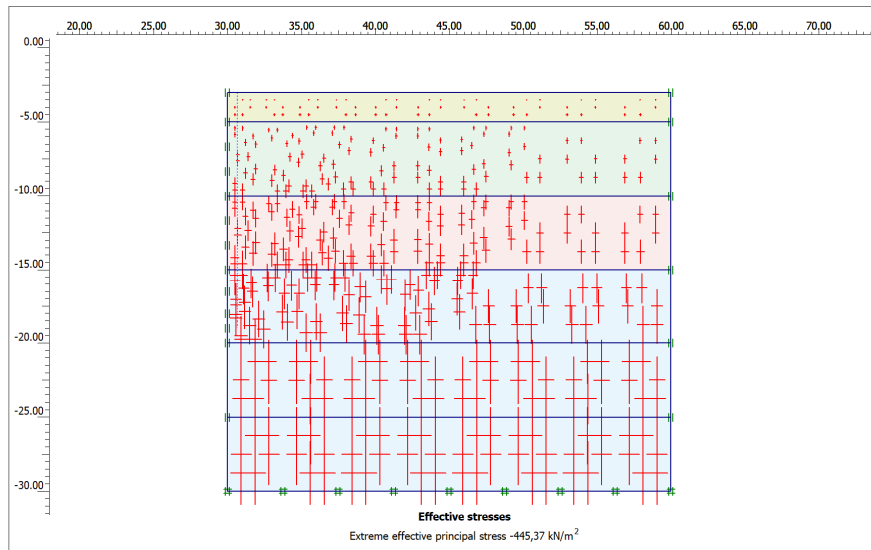
Geometri disusun menjadi jaring elemen yang lebih kecil untuk melakukan hitungan. Hasil dari proses *meshing* dapat dilihat pada Gambar 3.8 sebagai berikut:



Gambar 3.8: Penyusunan jaring Mesh.

3.7.5. Kondisi Awal (*Initial Condition*)

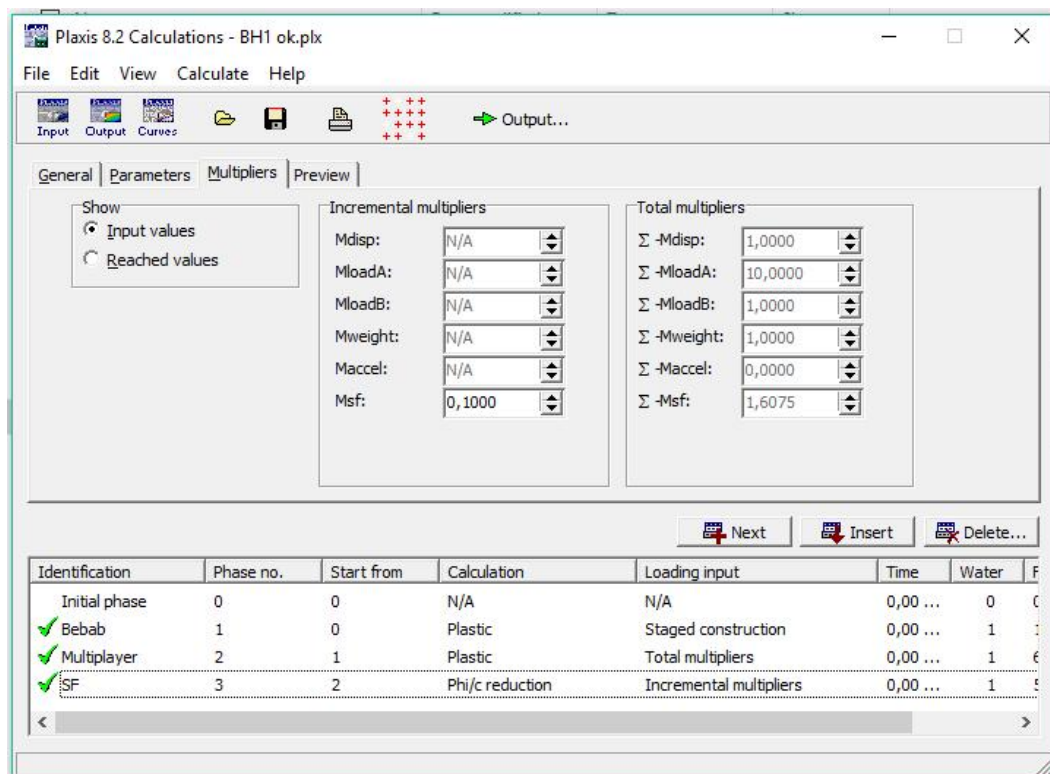
Kondisi awal didefinisikan untuk menghitung tekanan air pori awal (*initial condition*) dan tegangan awal (*initial soil stress*) seperti Gambar 3.9.



Gambar 3.9: Hasil perhitungan *initial soil stresses*.

3.7.6. Kalkulasi

Selanjutnya adalah proses kalkulasi dengan mengklik tombol *calculate* untuk masuk ke dalam program *calculation* seperti pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10: Tahapan perhitungan.

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

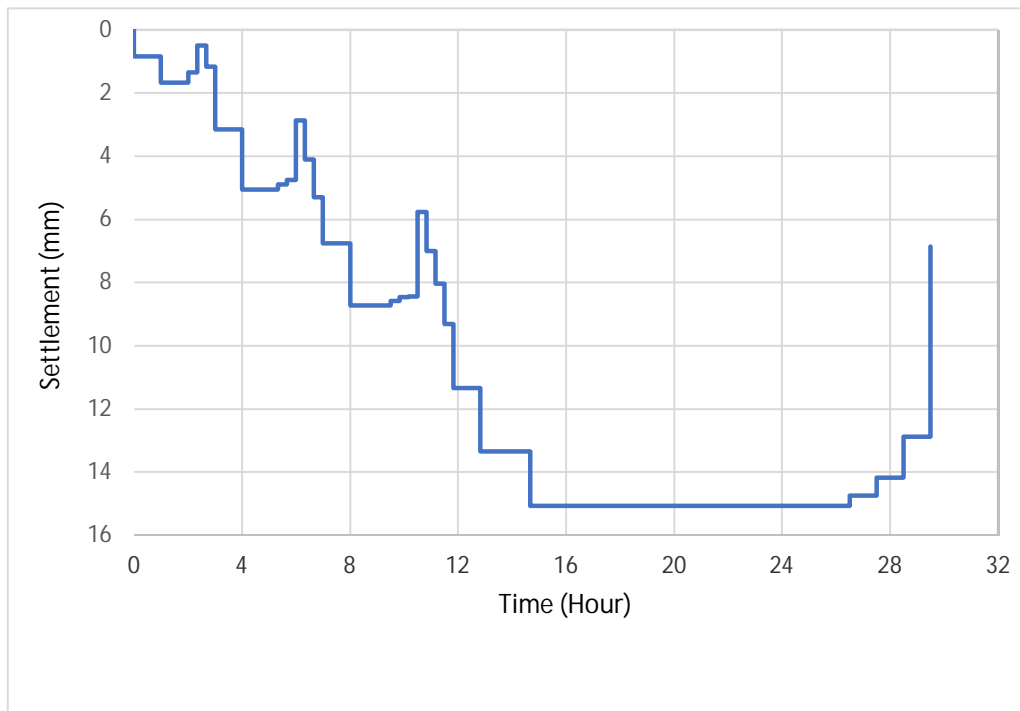
- a. Tahapan awal yaitu mengaktifkan plate (tiang pondasi) pada model geometri.
- b. Setelah tiang aktif kemudian tahapan pengaktifan beban struktur atas.
- c. Tahap selanjutnya yaitu tahap Total *Multipliers* (pengalihan jumlah beban).
- d. Tahap akhir ialah tahap SF dengan memilih *Phi/c reduction*,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

3.8. Hasil Pengujian Pembebanan Statik (*Static Loading Test*)

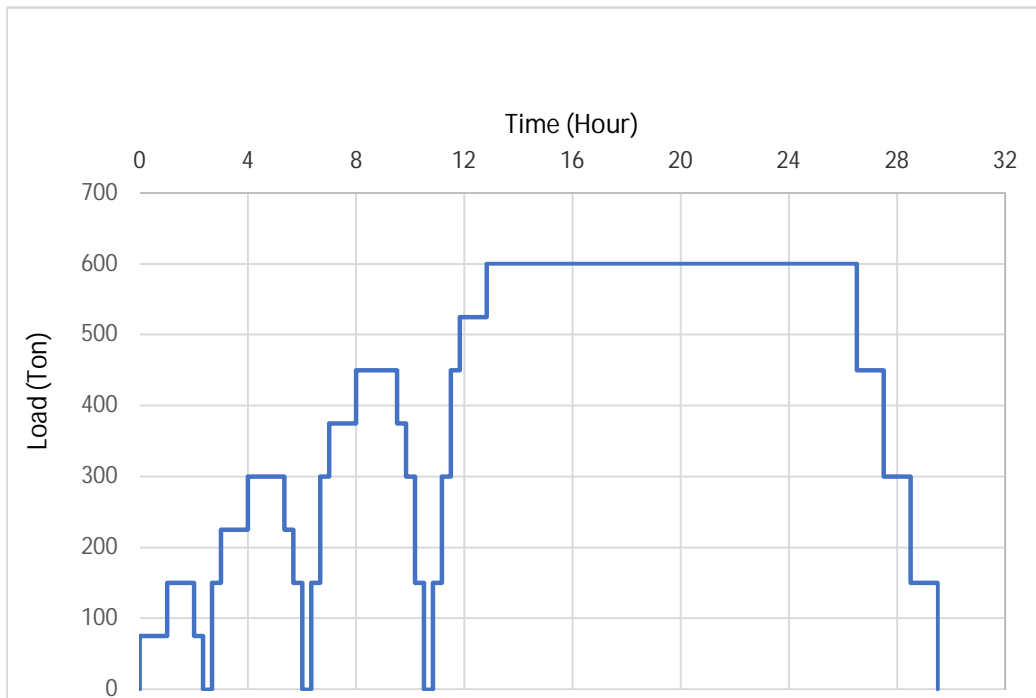
Hasil dari pengujian pembebanan dan besarnya penurunan dapat dilihat pada Tabel 3.7 dan Gambar 3.11 dalam bentuk kurva. Gambar 3.12 menunjukkan tahapan pembebanan dan lama waktu pembebanan untuk 4 siklus, sedangkan Gambar 3.13 menunjukkan kurva penurunan tekan, penurunan elastis dan penurunan tekan permanen pada 4 siklus pembebanan.

Tabel 3.7: Tabel rekapitulasi pembebanan pada pengujian *static loading*.

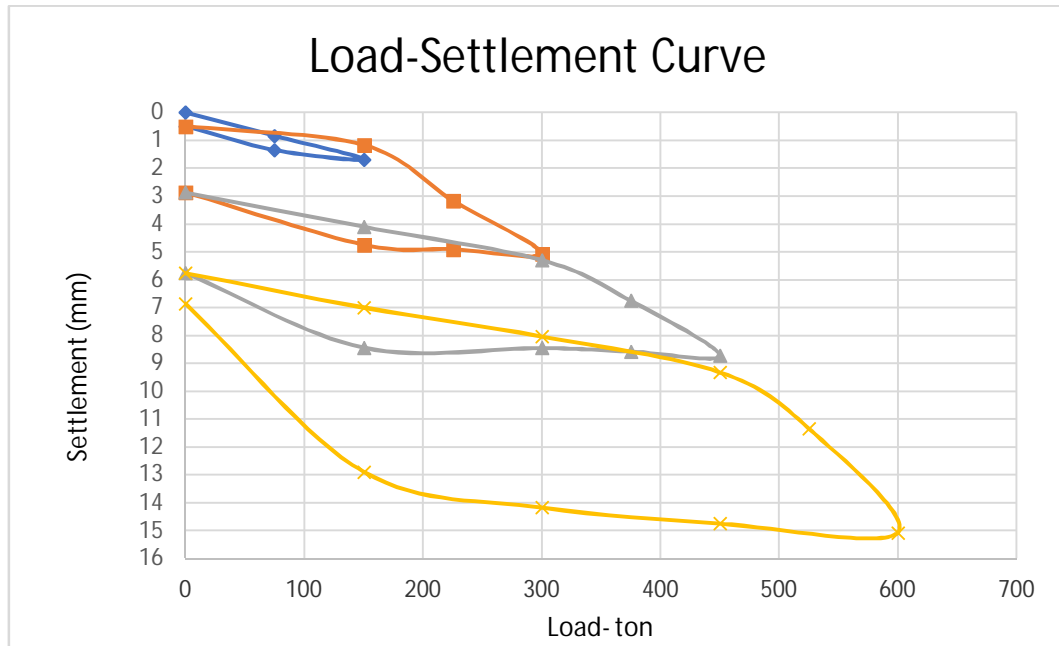
Siklus	Beban		Penurunan (mm)
	Ton	%	
1	0	0	0
	75	25%	0,835
	150	50%	1,68
	75	25%	1,35
2	0	0%	0,4875
	150	50%	1,165
	225	75%	3,1575
	300	100%	5,0575
	225	75%	4,9025
	150	50%	4,745
3	0	0%	2,865
	150	50%	4,1
	300	100%	5,2925
	375	125%	6,7525
	450	150%	8,72
	375	125%	8,575
	300	100%	8,4525
	150	50%	8,44
4	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 3.11: Grafik siklus penurunan dengan waktu.



Gambar 3.12: Grafik siklus pembebanan dengan waktu.



Gambar 3.13: Grafik hubungan beban dan penurunan.

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

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Menghitung Kapasitas Daya Dukung Dengan Data SPT

Menghitung kapasitas daya dukung dengan menggunakan data SPT dilakukan per lapisan tanah serta perhitungannya menggunakan metode Mayerhof (1976). Perhitungan ini menggunakan dua rumus yakni untuk jenis tanah non-kohesif (pasir) dan jenis tanah kohesif (lempung).

4.1.1. Perhitungan pada titik BH-1

Diameter (D) = 100 cm = 1 m

Luas selimut tiang pondasi (p)

$$p = \pi \cdot D$$

$$p = 3.14 \times 1 = 3.14 \text{ m}$$

Luas penampang tiang pondasi (Ap)

$$\begin{aligned} A_p &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3.14 \times 1^2 \\ &= 0.7850 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Faktor keamanan (SF) = 2 (Tabel 2.3)

Daya dukung ujung tiang dan selimut pada tanah kohesif.

· Kedalaman 2 m:

Daya dukung ujung tiang

$$C_u = 21.21 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} Q_p &= A_p \cdot C_u \cdot N_c \\ &= 0.785 \times 21.21 \times 8 \\ &= 133.19 \text{ kN} \end{aligned}$$

Daya dukung selimut tiang

$$\begin{aligned} Q_s &= \alpha \cdot C_u \cdot p \cdot L \\ &= 0.55 \times 21.21 \times 3.14 \times 2 \\ &= 73,3 \text{ kN} \end{aligned}$$

Daya dukung *ultimate*

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

$$= 133.19 + 73,3 = 206.5 \text{ kN} = 20.6 \text{ ton}$$

Daya dukung ijin

$$Q_{all} = \frac{Q_{ult}}{SF} = \frac{20.6 \text{ ton}}{2} = 10.3 \text{ ton}$$

Daya dukung ujung tiang dan selimut pada tanah non kohesif.

- Kedalaman 10 m:

Daya dukung ujung tiang

$$Q_p = 14 \cdot \bar{N} \cdot \frac{L}{D} \cdot A_p$$

$$= 14 \times 19 \times \frac{2}{1} \times 0.785$$

$$= 416.5 \text{ kN}$$

Daya dukung selimut tiang

$$Q_s = 0.67 \cdot \bar{N} \cdot p \cdot L$$

$$= 0.67 \times 19 \times 3.14 \times 2$$

$$= 79.7 \text{ kN}$$

Daya dukung *ultimate*

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

$$= 416.5 + 741.1 = 1157.6 \text{ kN} = 115.8 \text{ ton}$$

Daya dukung ijin

$$Q_{all} = \frac{Q_{ult}}{SF} = \frac{115.8 \text{ ton}}{2} = 57.9 \text{ ton}$$

Untuk perhitungan lengkapnya daya dukung dapat dilihat pada Tabel 4.1.

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

Depth (m)	N rata-rata	Cu	a	N c	Skin Friction (kN)		End Bearing (kN)	Qult (ton)	Q all (ton)
					Local	Cumm			
0									
2	3,5	21,21	0,55	8	73,3	73,3	133,2	20,6	10,3
4	5,3	33,62	0,55	9	116,1	189,4	237,5	42,7	21,3
6	7,6	49,12	0,55	9	169,7	359,0	347,0	70,6	35,3
8	13,3	87,52	0,55	9	302,3	661,3	618,3	128,0	64,0
10	19,0	-	-	-	79,7	741,1	416,5	115,8	57,9
12	30,6	-	-	-	128,5	869,6	1.343,0	221,3	110,6
14	43,5	-	-	-	183,0	1.052,6	2.868,4	392,1	196,1
16	48,9	-	-	-	205,8	1.258,4	4.299,3	555,8	277,9
18	53,3	-	-	-	224,3	1.482,7	5.857,7	734,0	367,0
20	56,9	-	-	-	239,4	1.722,1	7.504,0	922,6	461,3
22	60,0	-	-	-	252,5	1.974,5	9.231,6	1.120,6	560,3
24	60,0	-	-	-	252,5	2.227,0	10.550,4	1.277,7	638,9
26	60,0	-	-	-	252,5	2.479,4	11.869,2	1.434,9	717,4
28	60,0	-	-	-	252,5	2.731,9	13.188,0	1.592,0	796,0
30	60,0	-	-	-	252,5	2.984,3	14.506,8	1.749,1	874,6

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 133,2 kN dan Qult sebesar 20,6 ton, sedangkan nilai Qall (Qijin) yang sudah dibagi dengan angka keamanan untuk ujung 2 dan untuk geser 2 menghasilkan nilai sebesar 10,3 ton.

Pada kedalaman 10 m untuk jenis tanah pasir memiliki nilai NSPT 19 menghasilkan nilai daya dukung ujung tiang sebesar 416,5 kN dan Qult sebesar 115,8 ton, sedangkan nilai Qall (Qijin) yang sudah dibagi dengan angka keamanan untuk ujung 2 dan untuk geser 2 menghasilkan nilai sebesar 57,9 ton.

4.1.2. Perhitungan pada titik BH-2

Diameter (D) = 100 cm = 1 m

Luas selimut tiang pondasi (p)

$$p = \pi \cdot D$$

$$p = 3.14 \times 1$$

$$= 3.14 \text{ m}$$

Luas penampang tiang pondasi (A_p)

$$\begin{aligned} A_p &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3.14 \times 1^2 \\ &= 0.785 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Faktor keamanan (SF) = 2 (Tabel 2.3)

Daya dukung ujung tiang dan selimut pada tanah kohesif.

- Kedalaman 2 m:

Daya dukung ujung tiang

$$C_u = 51.66 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} Q_p &= A_p \cdot C_u \cdot N_c \\ &= 0.785 \times 51.66 \times 8 \\ &= 324,4 \text{ kN} \end{aligned}$$

Daya dukung selimut tiang

$$\begin{aligned} Q_s &= \alpha \cdot C_u \cdot p \cdot L \\ &= 0.55 \times 51.66 \times 3.14 \times 2 \\ &= 178.4 \text{ kN} \end{aligned}$$

Daya dukung *ultimate*

$$\begin{aligned} Q_{ult} &= Q_p + Q_s \text{ (komulatif)} \\ &= 324,42 + 178.43 = 502.85 \text{ kN} = 50.3 \text{ ton} \end{aligned}$$

Daya dukung ijin

$$Q_{all} = \frac{Q_{ult}}{SF} = \frac{50.3 \text{ ton}}{2} = 25.1 \text{ ton}$$

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

- Kedalaman 10 m:

Daya dukung ujung tiang

$$\begin{aligned} Q_p &= 14 \cdot \bar{N} \cdot \frac{L}{D} \cdot A_p \\ &= 14 \times 18.7 \times \frac{2}{1} \times 0.785 \\ &= 411.0 \text{ kN} \end{aligned}$$

Daya dukung selimut tiang

$$\begin{aligned}
 Q_s &= 0.67 \cdot \bar{N} \cdot p \cdot L \\
 &= 0.67 \times 18.7 \times 3.14 \times 2 \\
 &= 78.7 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Daya dukung *ultimate*

$$\begin{aligned}
 Q_{ult} &= Q_p + Q_s \text{ (komulatif)} \\
 &= 411.02 + 1186.8 = 1597.8 \text{ kN} = 159.8 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Daya dukung ijin

$$Q_{all} = \frac{Q_{ult}}{SF} = \frac{159.8 \text{ ton}}{2} = 79.9 \text{ ton}$$

Untuk perhitungan lengkapnya daya dukung dapat dilihat pada Tabel 4.2

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

Depth (m)	N rata-rata	Cu	a	Nc	Skin Friction (kN)		End Bearing (kN)	Qult (kN)	Q all (ton)
					Local	Cumm			
0									
2	8,0	51,66	0,55	8	178,4	178,4	324,4	502,8	25,1
4	11,0	71,96	0,55	9	248,5	427,0	508,4	935,3	46,8
6	13,8	90,56	0,55	9	312,8	739,8	639,8	1.379,6	69,0
8	16,1	106,63	0,55	9	368,3	1.108,1	753,4	1.861,4	93,1
10	18,7	-	-	-	78,7	1.186,8	411,0	1.597,8	79,9
12	22,5	-	-	-	94,7	1.281,4	989,1	2.270,5	113,5
14	27,3	-	-	-	114,9	1.396,3	1.800,2	3.196,5	159,8
16	35,5	-	-	-	149,4	1.545,7	3.121,2	4.666,8	233,3
18	44,8	-	-	-	188,3	1.734,0	4.918,0	6.652,0	332,6
20	50,4	-	-	-	212,1	1.946,0	6.646,8	8.592,8	429,6
22	53,9	-	-	-	226,8	2.172,8	8.293,1	10.465,9	523,3
24	57,0	-	-	-	239,8	2.412,7	10.022,9	12.435,5	621,8
26	59,3	-	-	-	249,5	2.662,2	11.730,7	14.392,9	719,6
28	60,0	-	-	-	252,5	2.914,6	13.188,0	16.102,6	805,1
30	60,0	-	-	-	252,5	3.167,1	14.506,8	17.673,9	883,7

Adapun penjelasan mengenai tabel pada titik BH-2 dengan kedalaman 2 m untuk jenis tanah lempung memiliki nilai NSPT 8 menghasilkan nilai daya dukung ujung tiang sebesar 324,4 kN dan Qult sebesar 50,3 ton, sedangkan nilai Qall (Qijin) yang sudah dibagi dengan angka keamanan untuk ujung 2 dan untuk geser 2 menghasilkan nilai sebesar 25,1 ton.

Pada kedalaman 10 m untuk jenis tanah pasir memiliki nilai NSPT 18,7 menghasilkan nilai daya dukung ujung tiang sebesar 411 kN dan Qult sebesar 159,8 ton, sedangkan nilai Qall (Qijin) yang sudah dibagi dengan angka keamanan untuk ujung 2 dan untuk geser 2 menghasilkan nilai sebesar 79,9 ton.

4.1.3. Perhitungan pada titik BH-3

Diameter (D) = 100 cm = 1 m

Luas selimut tiang pondasi (p)

$$p = \pi \cdot D$$

$$p = 3.14 \times 1$$

$$= 3.14 \text{ m}$$

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) = 2 (Tabel 2.3)

Daya dukung ujung tiang dan selimut pada tanah kohesif.

· Kedalaman 2 m:

Daya dukung ujung tiang

$$C_u = 60.12 \text{ kN/m}^2$$

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

$$= 0.785 \times 60.12 \times 8$$

$$= 377.5 \text{ kN}$$

Daya dukung selimut tiang

$$\begin{aligned} Q_s &= \alpha \cdot C_u \cdot p \cdot L \\ &= 0.55 \times 60.12 \times 3.14 \times 2 \\ &= 207.6 \text{ kN} \end{aligned}$$

Daya dukung *ultimate*

$$\begin{aligned} Q_{ult} &= Q_p + Q_s \text{ (komulatif)} \\ &= 377.5 + 207.6 = 585.2 \text{ kN} = 58.5 \text{ ton} \end{aligned}$$

Daya dukung ijin

$$Q_{all} = \frac{Q_{ult}}{SF} = \frac{58.5 \text{ ton}}{2} = 23.4 \text{ ton}$$

Daya dukung ujung tiang dan selimut pada tanah non kohesif.

- Kedalaman 10 m:

Daya dukung ujung tiang

$$\begin{aligned} Q_p &= 14 \cdot \bar{N}_c \cdot \frac{L}{D} \cdot A_p \\ &= 14 \times 23 \times \frac{2}{1} \times 0.785 \\ &= 504.4 \text{ kN} \end{aligned}$$

Daya dukung selimut tiang

$$\begin{aligned} Q_s &= 0.67 \cdot \bar{N}_c \cdot p \cdot L \\ &= 0.67 \times 23 \times 3.14 \times 2 \\ &= 96.6 \text{ kN} \end{aligned}$$

Daya dukung *ultimate*

$$\begin{aligned} Q_{ult} &= Q_p + Q_s \text{ (komulatif)} \\ &= 164.9 + 1301.1 = 1805.5 \text{ kN} = 180.5 \text{ ton} \end{aligned}$$

Daya dukung ijin

$$Q_{all} = \frac{Q_{ult}}{SF} = \frac{180.5 \text{ ton}}{2} = 72.2 \text{ ton}$$

Untuk perhitungan lengkapnya daya dukung dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan Gambar 4.3.

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

Depth (m)	N rata-rata	Cu	a	Nc	Skin Friction (kN)		End Bearing (kN)	Qult (kN)	Q all (ton)
					Local	Cumm			
0									
2	9,3	60,12	0,55	8	207,6	207,6	377,5	585,2	23,4
4	10,8	70,27	0,55	9	242,7	450,3	496,4	946,8	37,9
6	13,3	87,18	0,55	9	301,1	751,5	615,9	1.367,4	54,7
8	19,8	131,16	0,55	9	453,0	1.204,5	926,6	2.131,1	85,2
10	23,0	-	-	-	96,6	1.301,1	504,4	1.805,5	72,2
12	33,3	-	-	-	139,9	1.441,0	1.461,7	2.902,6	116,1
14	45,2	-	-	-	190,2	1.631,1	2.980,5	4.611,6	184,5
16	50,3	-	-	-	211,6	1.842,8	4.422,4	6.265,2	250,6
18	53,9	-	-	-	226,8	2.069,6	5.923,6	7.993,2	319,7
20	57,1	-	-	-	240,3	2.309,8	7.530,3	9.840,2	393,6
22	60,0	-	-	-	252,5	2.562,3	9.231,6	11.793,9	471,8
24	60,0	-	-	-	252,5	2.814,7	10.550,4	13.365,1	534,6
26	60,0	-	-	-	252,5	3.067,2	11.869,2	14.936,4	597,5
28	60,0	-	-	-	252,5	3.319,6	13.188,0	16.507,6	660,3
30	60,0	-	-	-	252,5	3.572,1	14.506,8	18.078,9	723,2

Adapun penjelasan mengenai tabel pada titik BH-3 dengan kedalaman 2 m untuk jenis tanah lempung memiliki nilai NSPT 9,3 menghasilkan nilai daya dukung ujung tiang sebesar 377,5 kN dan Qult sebesar 58,5 ton, sedangkan nilai Qall (Qijin) yang sudah dibagi dengan angka keamanan untuk ujung 2 dan untuk geser 2 menghasilkan nilai sebesar 23,4 ton.

Pada kedalaman 10 m untuk jenis tanah pasir memiliki nilai NSPT 23,0 menghasilkan nilai daya dukung ujung tiang sebesar 504,4 kN dan Qult sebesar 180,5 ton, sedangkan nilai Qall (Qijin) yang sudah dibagi dengan angka keamanan untuk ujung 2 dan untuk geser 2 menghasilkan nilai sebesar 72,2 ton.

4.2. Penurunan Tiang Tunggal (*Settlement*)

4.2.1. Penurunan pada titik BH-1

Pada kedalaman 18 m diperoleh nilai N untuk lapisan pasir = 59.5

$$\text{Maka, } q_c = 4N = 4 \times 53,3 = 213,2 \text{ kg/cm}^2$$

Modulus elastisitas tanah di sekitar tiang (E_s)

$$E_s = 2.5 \times 213,2 = 533 \text{ kg/cm}^2$$

Menentukan modulus elastisitas dari bahan tiang

$$E_p = 4700 \cdot \sqrt{30} = 25742.96 \text{ mpa}$$

$$R_a = \frac{0.785 \text{ m}}{0.785 \text{ m}} = 1$$

Menentukan faktor kekakuan tiang

$$K = \frac{25742.96 \times 1}{53.3} = 483$$

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

$$\text{Untuk } \frac{l}{d} = \frac{1800}{100} = 18 \text{ cm}$$

Dari masing – masing grafik di peroleh :

$$I_o = 0.095 \left(\text{untuk } \frac{l}{d} = 18; \frac{db}{d} = 1 \right) \text{ (Gambar 2.13)}$$

$$R_k = 1.25 \left(\text{untuk } \frac{l}{d} = 18; K = 483 \right) \text{ (Gambar 2.11)}$$

$$R_h = 0.75 \left(\text{untuk } \frac{l}{d} = 18; \frac{h}{l} = 1.6 \right) \text{ (Gambar 2.12)}$$

$$R_\mu = 0.91 \left(\text{untuk } \mu_s = 0.2; K = 483 \right) \text{ (Gambar 2.14)}$$

$$R_b = 0.55 \left(\text{untuk } \frac{l}{d} = 18; \frac{E_b}{E_s} = 10 \right) \text{ (Gambar 2.15)}$$

Penurunan dengan beban rencana 300 ton dan 600 ton.

a. Untuk tiang apung atau tiang friksi

$$I = 0.095 \times 1.25 \times 0.75 \times 0.91 = 0.081$$

$$S = \frac{300000 \text{ kg} \times 0.081}{533 \text{ kg/cm}^2 \times 100} = 0.45 \text{ cm} = 4.5 \text{ mm (dngan } Q = 300 \text{ ton)}$$

$$S = \frac{600000 \text{ kg} \times 0.081}{533 \text{ kg/cm}^2 \times 100} = 0.911 \text{ cm} = 9.1 \text{ mm (dengan } Q = 600 \text{ ton)}$$

b. Untuk tiang dukung ujung

$$I = 0.095 \times 1.25 \times 0.55 \times 0.91 = 0.048$$

$$S = \frac{300000 \text{ kg} \times 0.048}{533 \text{ kg/cm}^2 \times 100} = 0.27 \text{ cm} = 2.7 \text{ mm (dngan } Q = 300 \text{ ton)}$$

$$S = \frac{600000 \text{ kg} \times 0.048}{533 \text{ kg/cm}^2 \times 100} = 0.54 \text{ cm} = 5.4 \text{ mm (dengan } Q = 600 \text{ ton)}$$

4.2.2. Penurunan pada titik BH-2

Pada kedalaman 18 m diperoleh nilai N untuk lapisan pasir = 57.1

$$\text{Maka, } q_c = 4N = 4 \times 44.8 = 179.2 \text{ kg/cm}^2$$

Modulus elastisitas di sekitar tiang (E_s)

$$E_s = 2.5 \times 179.2 = 448 \text{ kg/cm}^2$$

Menentukan modulus elastisitas dari bahan tiang

$$E_p = 4700 \cdot \sqrt{30} = 25742.96 \text{ mpa}$$

$$R_a = \frac{0.785 \text{ m}}{0.785 \text{ m}} = 1$$

Menentukan faktor kekakuan tiang

$$K = \frac{25742.96 \times 1}{44.8} = 574$$

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

$$\text{Untuk } \frac{l}{d} = \frac{1800}{100} = 18 \text{ cm}$$

Dari masing – masing grafik di peroleh :

$$I_o = 0.095 \left(\text{untuk } \frac{l}{d} = 18; \frac{db}{d} = 1 \right) \text{ (Gambar 2.13)}$$

$$R_k = 1.25 \left(\text{untuk } \frac{l}{d} = 18; K = 574 \right) \text{ (Gambar 2.11)}$$

$$R_h = 0.75 \left(\text{untuk } \frac{l}{d} = 18; \frac{h}{l} = 1.6 \right) \text{ (Gambar 2.12)}$$

$$R_\mu = 0.91 \left(\text{untuk } \mu_s = 0.2; K = 574 \right) \text{ (Gambar 2.14)}$$

$$R_b = 0.55 \left(\text{untuk } \frac{l}{d} = 18; \frac{E_b}{E_s} = 10 \right) \text{ (Gambar 2.15)}$$

Penurunan dengan beban rencana 300 ton dan 600 ton.

a. Untuk tiang apung atau tiang friksi

$$l = 0.095 \times 1.25 \times 0.75 \times 0.91 = 0.081$$

$$S = \frac{300000 \text{ kg} \times 0.081}{448 \text{ kg/cm}^2 \times 100} = 0.542 \text{ cm} = 5.4 \text{ mm (dngan } Q = 300 \text{ ton)}$$

$$S = \frac{600000 \text{ kg} \times 0.082}{448 \text{ kg/cm}^2 \times 100} = 1.09 \text{ cm} = 10.9 \text{ mm (dengan } Q = 600 \text{ ton)}$$

b. Untuk tiang dukung ujung

$$l = 0.095 \times 1.25 \times 0.55 \times 0.91 = 0.059$$

$$S = \frac{300000 \text{ kg} \times 0.059}{448 \text{ kg/cm}^2 \times 100} = 0.395 \text{ cm} = 3.9 \text{ mm (dngan } Q = 300 \text{ ton)}$$

$$S = \frac{600000 \text{ kg} \times 0.059}{448 \text{ kg/cm}^2 \times 100} = 0.79 \text{ cm} = 7.9 \text{ mm (dengan } Q = 600 \text{ ton)}$$

4.2.3. Penurunan pada titik BH-3

Pada kedalaman 18 m diperoleh nilai N untuk lapisan pasir = 58.4

$$\text{Maka, } q_c = 4N = 4 \times 53.9 = 215.6 \text{ kg/cm}^2$$

Modulus elastisitas di sekitar tiang (E_s)

$$E_s = 2.5 \times 215.6 = 539 \text{ kg/cm}^2$$

Menentukan modulus elastisitas dari bahan tiang

$$E_p = 4700 \cdot \sqrt{30} = 25742.96 \text{ mpa}$$

$$R_a = \frac{0.785 \text{ m}}{0.785 \text{ m}} = 1$$

Menentukan faktor kekakuan tiang

$$K = \frac{25742.96 \times 1}{53.9} = 477$$

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

$$\text{Untuk } \frac{l}{d} = \frac{1800}{100} = 18 \text{ cm}$$

Dari masing – masing grafik di peroleh :

$$l_o = 0.095 \left(\text{untuk } \frac{l}{d} = 18; \frac{d_b}{d} = 1 \right) \text{ (Gambar 2.13)}$$

$$R_k = 1.25 \left(\text{untuk } \frac{l}{d} = 18; K = 477 \right) \text{ (Gambar 2.11)}$$

$$R_h = 0.75 \left(\text{untuk } \frac{l}{d} = 18; \frac{h}{l} = 1.6 \right) \text{ (Gambar 2.12)}$$

$$R_\mu = 0.91 \left(\text{untuk } \mu_s = 0.2; K = 477 \right) \text{ (Gambar 2.14)}$$

$$R_b = 0.55 \left(\text{untuk } \frac{l}{d} = 18; \frac{E_b}{E_s} = 10 \right) \text{ (Gambar 2.15)}$$

a. Penurunan dengan beban rencana 300 ton dan 600 ton.

$$l = 0.095 \times 1.25 \times 0.75 \times 0.91 = 0.081$$

$$S = \frac{300000 \text{ kg} \times 0.081}{539 \text{ kg/cm}^2 \times 100} = 0.45 \text{ cm} = 4.5 \text{ mm (dngan } Q = 300 \text{ ton)}$$

$$S = \frac{600000 \text{ kg} \times 0.081}{539 \text{ kg/cm}^2 \times 100} = 0.90 \text{ cm} = 9.0 \text{ mm (dengan } Q = 600 \text{ ton)}$$

b. Untuk tiang dukung ujung

$$l = 0.095 \times 1.25 \times 0.55 \times 0.91 = 0.048$$

$$S = \frac{300000 \text{ kg} \times 0.048}{539 \text{ kg/cm}^2 \times 100} = 0.26 \text{ cm} = 2.5 \text{ mm (dngan } Q = 300 \text{ ton)}$$

$$S = \frac{600000 \text{ kg} \times 0.048}{539 \text{ kg/cm}^2 \times 100} = 0.53 \text{ cm} = 5.3 \text{ mm (dengan } Q = 600 \text{ ton)}$$

Untuk perbandingan penurunan dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4: Rekapitulasi perhitungan penurunan elastis tiang tunggal.

Titik	Beban (ton)	Penurunan untuk tiang apung/friksi	Penurunan untuk tiang dukung ujung	Penurunan total
BH-1	300	4.5 mm	2.7 mm	7.2 mm
	600	9.1 mm	5.4 mm	14.5 mm
BH-2	300	5.4 mm	3.9 mm	9.3 mm
	600	10.9 mm	7.9 mm	18.8 mm
BH-3	300	4.5 mm	2.5 mm	7 mm
	600	9.0 mm	4.3 mm	13.3 mm

4.3. Perhitungan *lateral*

4.3.1. Gaya *lateral* BH-1

Diameter tiang (D)	= 1 m
Panjang tiang (L)	= 15 m
Modulus subsgrade horizontal (kh)	= 36360 kN/m ³
Momen inersia penampang (Ic)	= 0.049 m ⁴
Jarak beban lateral terhadap muka tanah (e)	= 0.20 m
Defleksi tiang maksimum (y ₀)	= 0.006 m
Koefisien defleksi tiang (β)	= 0.291 m
Faktor reduksi kekuatan (φ)	= 0.60
$E_c = 4700\sqrt{30} \times 1000$	
= 25742960	
$L_c = \frac{\pi}{64} \times 1^4 = \frac{3.14}{64} \times 1^4 = 0.049$	
$\beta = \left(\frac{36360 \times 1}{4 \times 25742960 \times 0.049} \right)^{0.25} = 0.291$	
$\beta \times L = 0.291 \times 15$	
= 4.368	

Jika $\beta \times L > 2.5$ maka termasuk tiang panjang (OK)

$$H = \frac{0.006 \times 36360 \times 1}{2 \times 0.291(0.2 \times 0.291 + 1)} = 353.936 \text{ kN}$$

$$\text{Tahanan lateral tiang pancang} = 0.6 \times 353.936 \text{ kN} = 212.361 \text{ kN}$$

4.3.2. Gaya *lateral* BH-2

Diameter tiang (D)	= 1 m
Panjang tiang (L)	= 15 m
Modulus subsgrade horizontal (kh)	= 33360 kN/m ³
Momen inersia penampang (Ic)	= 0.049 m ⁴
Jarak beban lateral terhadap muka tanah (e)	= 0.20 m
Defleksi tiang maksimum (y ₀)	= 0.006 m
Koefisien defleksi tiang (β)	= 0.285 m
Faktor reduksi kekuatan (φ)	= 0.60

$$E_c = 4700\sqrt{30} \times 1000$$

$$= 25742960$$

$$L_c = \frac{\pi}{64} x 1^4 = \frac{3.14}{64} x 1^4 = 0.049$$

$$\beta = \left(\frac{33360 \times 1}{4 \times 25742960 \times 0.049} \right)^{0.25} = 0.285$$

$$\beta \times L = 0.285 \times 15$$

$$= 4.275$$

Jika $\beta \times L > 2.5$ maka termasuk tiang panjang (OK)

$$H = \frac{0.006 \times 33360 \times 1}{2 \times 0.285(0.2 \times 0.285 + 1)} = 332.189 \text{ kN}$$

$$\text{Tahanan lateral tiang pancang} = 0.6 \times 332.189 \text{ kN} = 199.313 \text{ kN}$$

4.3.3. Gaya lateral BH-3

Diameter tiang (D)	= 1 m
Panjang tiang (L)	= 15 m
Modulus subgrade horizontal (kh)	= 50880 kN/m ³
Momen inersia penampang (Ic)	= 0.049 m ⁴
Jarak beban lateral terhadap muka tanah (e)	= 0.20 m
Defleksi tiang maksimum (y ₀)	= 0.006 m
Koefisien defleksi tiang (β)	= 0.316 m
Faktor reduksi kekuatan (φ)	= 0.60

$$E_c = 4700\sqrt{30} \times 1000$$

$$= 25742960$$

$$L_c = \frac{\pi}{64} x 1^4 = \frac{3.14}{64} x 1^4 = 0.049$$

$$\beta = \left(\frac{50880 \times 1}{4 \times 25742960 \times 0.049} \right)^{0.25} = 0.316$$

$$\beta \times L = 0.316 \times 15$$

$$= 4.751$$

Jika $\beta \times L > 2.5$ maka termasuk tiang panjang (OK)

$$H = \frac{0.006 \times 50880 \times 1}{2 \times 0.316(0.2 \times 0.316 + 1)} = 453.187 \text{ kN}$$

$$\text{Tahanan lateral tiang pancang} = 0.6 \times 453.187 \text{ kN} = 271.91 \text{ kN}$$

4.4. Kapasitas Daya Dukung Dari Data *Loading Test*

Data tiang:

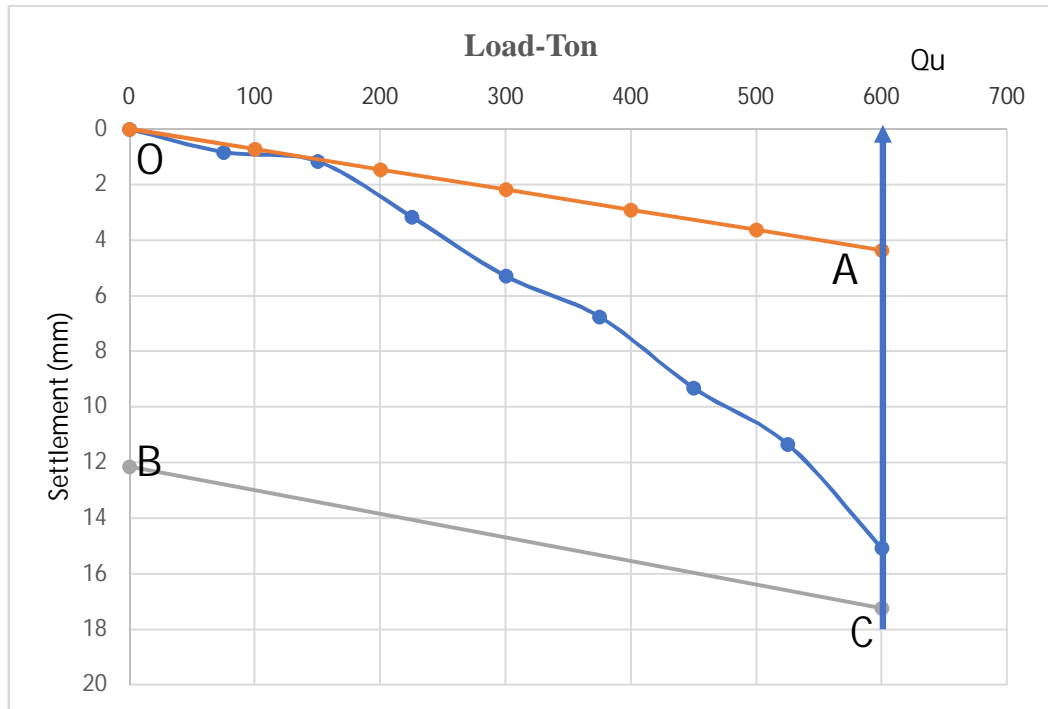
1. Diameter tiang (D) = 100 cm = 1 m = 39.3701 in
2. Panjang tiang (L) = 15 m
3. Keliling *bored pile* (p) = $\pi \times D$
= $3.14 \times 100 = 314 \text{ cm} = 3.14 \text{ m}$
4. Luas *bored pile* (Ap) = $\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2$
= $\frac{1}{4} \times 3.14 \times 100^2 = 7850 \text{ cm}^2 = 0.785 \text{ m}^2$
5. Modulus elastisitas (Ep) = $4700 \cdot \sqrt{30} = 25742.9 \text{ mpa} = 25742900 \text{ kN/m}^2$
6. Beban rencana = 300 ton = 2940 kN
7. Beban uji (maksimal) = 600 ton = 5880 kN

4.4.1. Metode Davisson.

- a. Gambarkan kurva beban-penurunan.
 - b. Tentukan penurunan elastis dari tiang dengan Pers. 2.15
- c. Gambarkan sebuah garis OA berdasarkan persamaan diatas
- d. Gambarkan sebuah garis BC yang sejajar dengan OA pada jarak sejauh x menggunakan Pers. 2.16

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

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



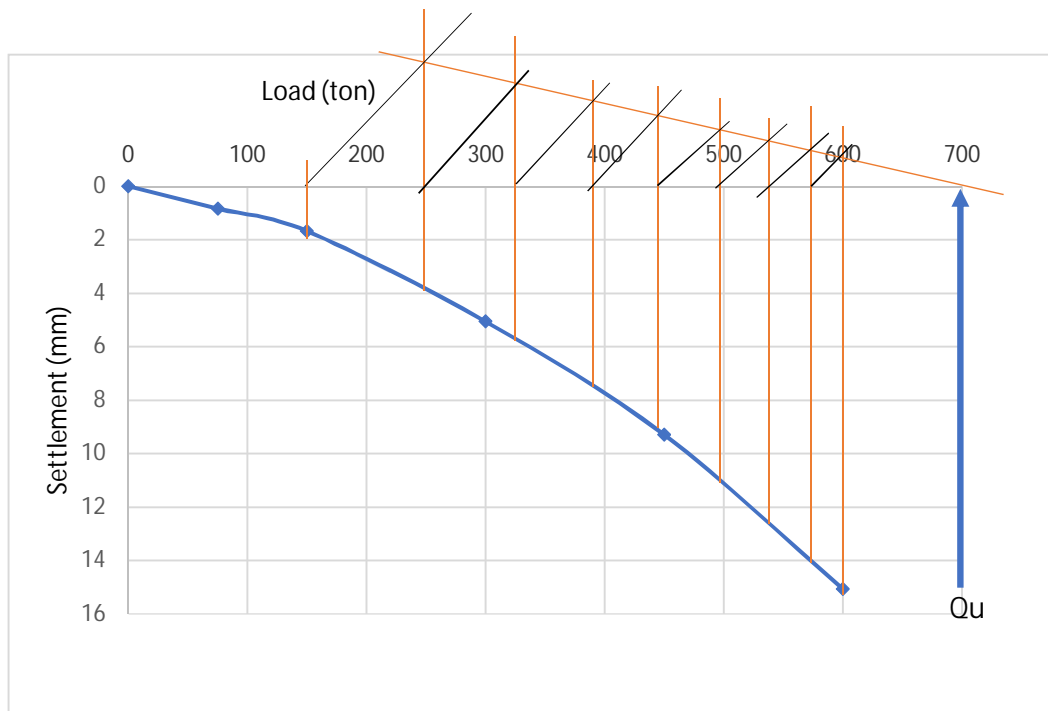
Gambar 4.1: Interpretasi daya dukung dengan metode Davisson.

Dengan menggambarkan garis perpotongan antara kurva penurunan dengan garis BC maka diperoleh nilai daya dukung *ultimate* (Q_u) dengan metode Davisson sebesar = 600 ton.

4.4.2. Metode Mazurkiewicz.

Prosedur penentuan beban ultimate dari pondasi tiang dengan menggunakan Metode Mazurkiewicz adalah:

- Diplot kurva beban uji yang diberikan terhadap penurunan.
- Menarik garis dari beberapa titik penurunan yang dipilih hingga memotong kurva, kemudian ditarik garis vertikal hingga memotong sumbu beban.
- Dari perpotongan setiap beban tersebut dibuat garis bersudut 45° terhadap garis perpotongan berikutnya dan seterusnya.
- Menghubungkan titik-titik yang terbentuk ini hingga menghasilkan sebuah garis lurus. Perpotongan garis lurus ini dengan sumbu beban merupakan beban ultimitnya (Gambar 4.5)

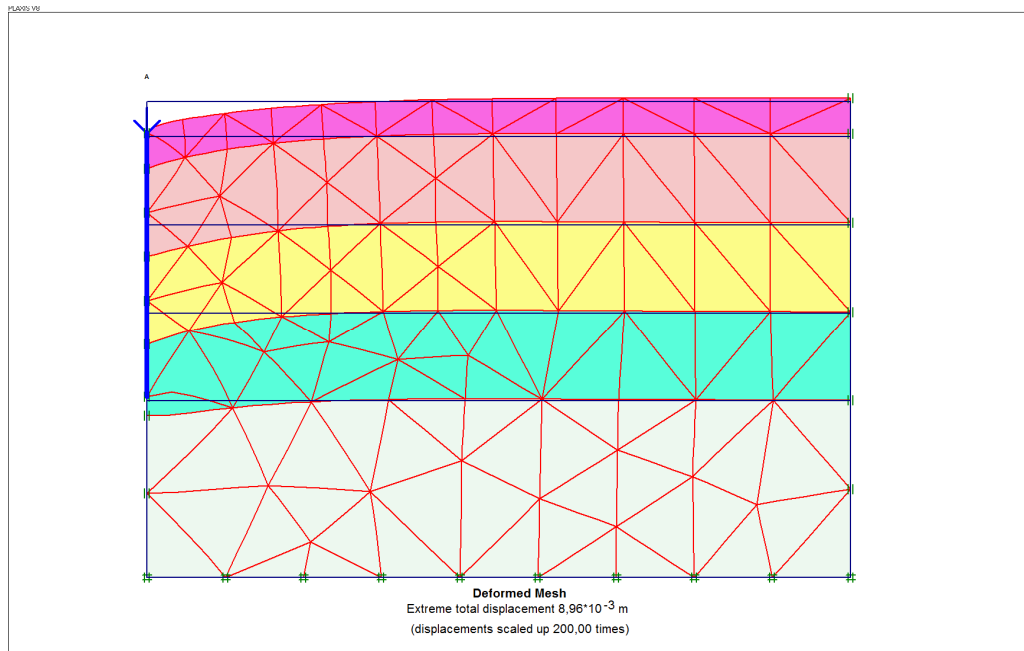


Gambar 4.2: Interpretasi daya dukung dengan metode Mazurkiewicz.

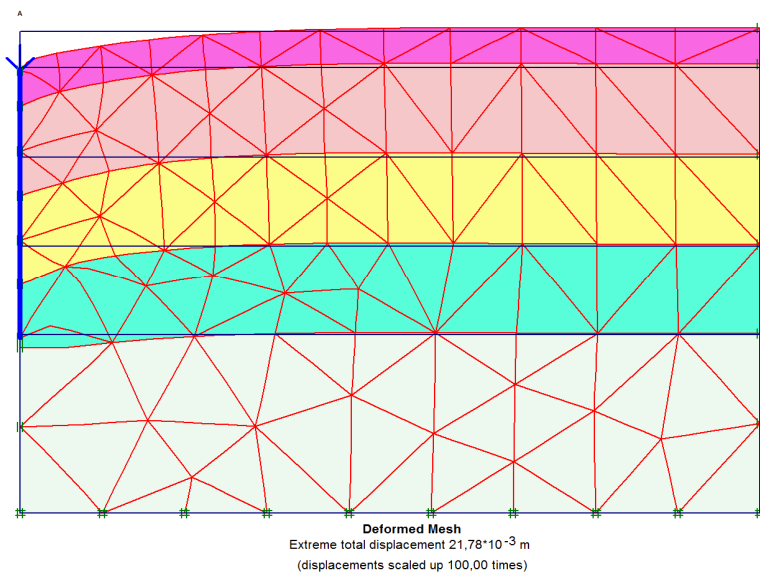
Dengan menggambarkan garis yang menghubungkan titik-titik yang terbentuk hingga membentuk garis lurus pada kurva beban, sehingga diperoleh daya dukung *ultimate* (Q_u) dengan metode Mazurkiewicz sebesar = 700 ton.

4.4.3. Hasil Analisis

Setelah membuat geometri dan melakukan input parameter tanah, kemudian melakukan tahapan kalkulasi yang terdiri dari beberapa tahap atau proses. Setelah tahapan kalkulasi selesai maka akan didapat hasil *output* berupa gambar *visualisasi* dan grafik penurunan seperti Gambar 4.6 - 4.10.

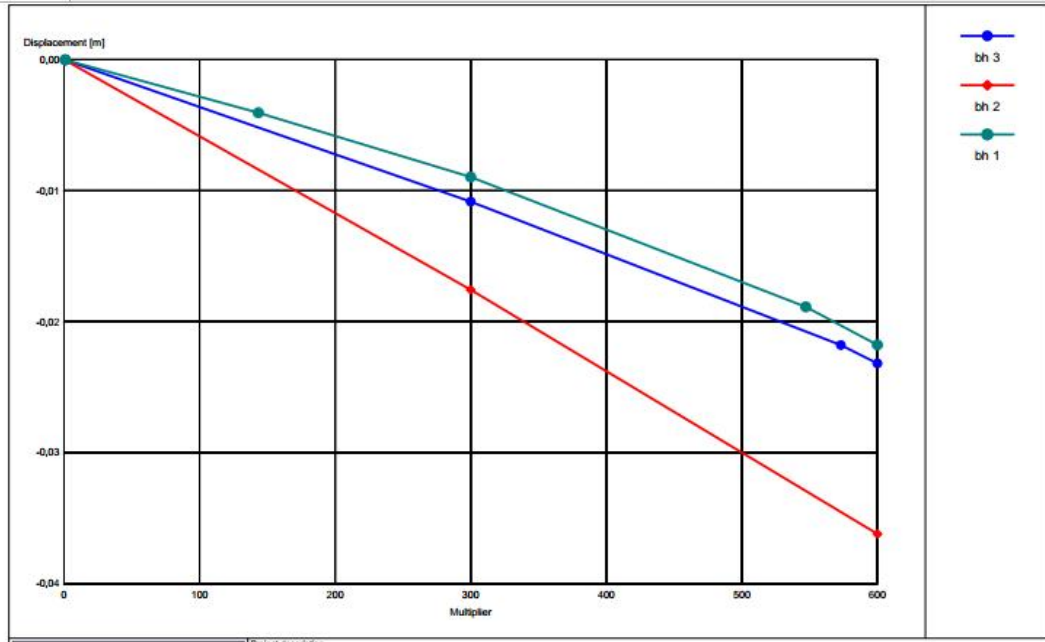


Gambar 4.3: Penurunan dengan beban rencana 300 ton.

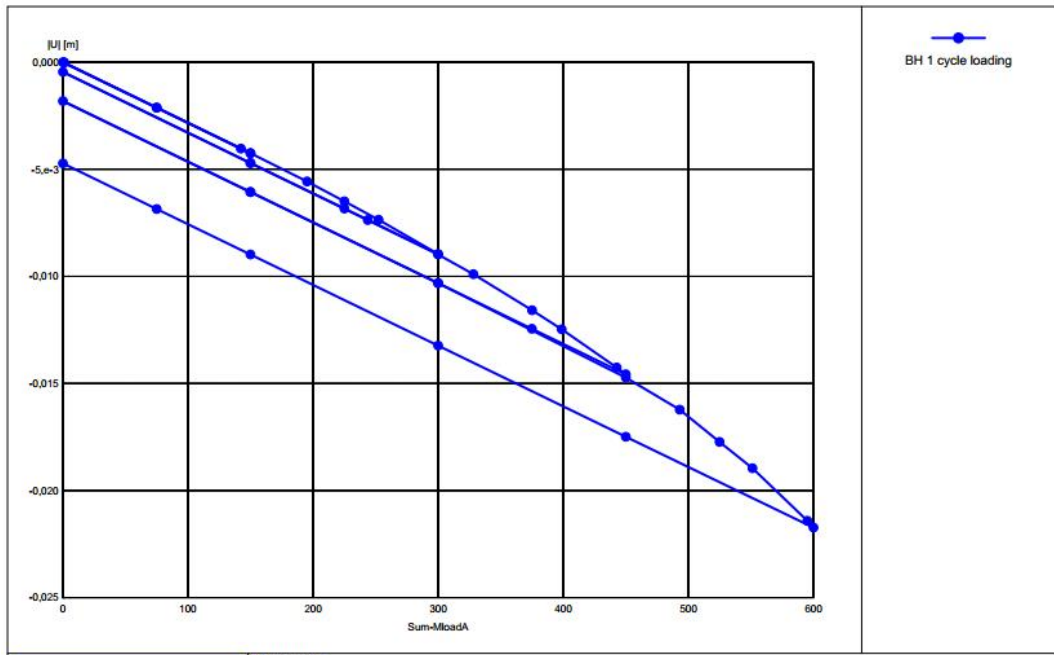


Gambar 4.4: Penurunan dengan beban maksimal 600 ton.

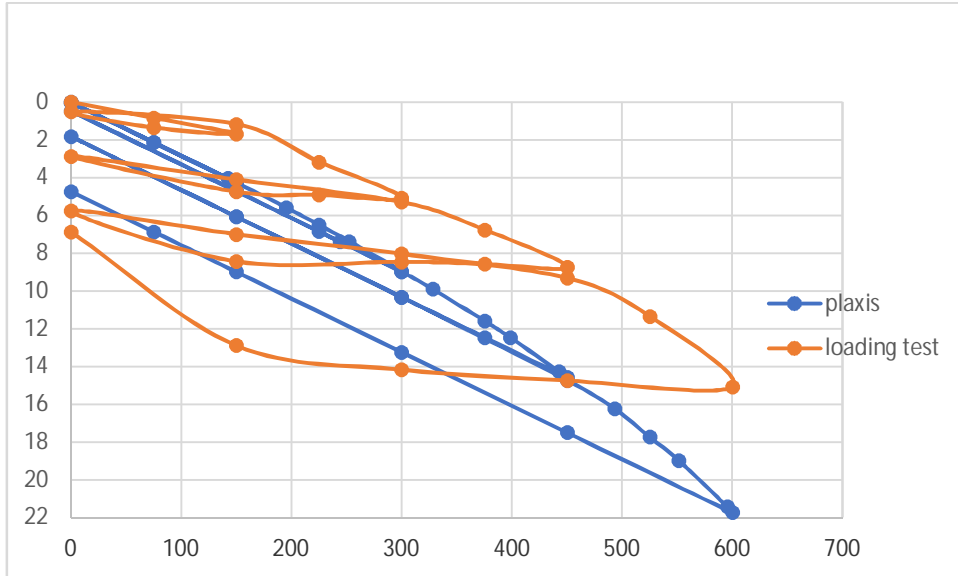
Untuk gambar penurunan titik BH-2 dan titik BH-3 dapat dilihat dalam halaman lampiran.



Gambar 4.5: Kurva perbandingan penurunan antara titik BH-1, BH-2 dan BH-3 menggunakan program analisis.



Gambar 4.6: Kurva beban *versus* penurunan dengan metode elemen hingga menggunakan program analisis.



Gambar 4.7: Kurva perbandingan beban *versus* penurunan dengan metode elemen hingga dan data *loading test*.

Dari hasil perhitungan titik BH-1 dengan menggunakan program analisis di dapat nilai tegangan efektif sebesar 10064 kN/m^2 maka nilai Q_u adalah:

$$Q_u = \sigma \times A_p$$

$$Q_u = 7793 \times 0.785 = 6117.92 \text{ kN} = 611 \text{ ton}$$

Dengan penurunan sebesar:

- 8,96 mm untuk beban 300 ton dan 21,78 mm untuk beban 600 ton.

Dari hasil perhitungan titik BH-2 dengan menggunakan program analisis di dapat nilai tegangan efektif sebesar $8576,806 \text{ kN/m}^2$ maka nilai Q_u adalah:

$$Q_u = \sigma \times A_p$$

$$Q_u = 7822.339 \times 0.785 = 6140.53 \text{ kN} = 614 \text{ ton}$$

Dengan penurunan sebesar:

- 13,03 mm untuk beban 300 ton dan 28,49 mm untuk beban 600 ton.

Dari hasil perhitungan titik BH-3 dengan menggunakan program analisis di dapat nilai tegangan efektif sebesar $8553,58 \text{ kN/m}^2$ maka nilai Q_u adalah:

$$Q_u = \sigma \times A_p$$

$$Q_u = 10148 \times 0.785 = 7966.18 \text{ kN} = 796.6 \text{ ton}$$

Dengan penurunan sebesar:

- 10,85 mm untuk beban 300 ton dan 23,19 mm untuk beban 600 ton.

Perbandingan hasil perhitungan daya dukung dengan metode analitis dan dengan metode elemen hingga ditunjukkan dalam Tabel 4.5:

Tabel 4.5: Perbandingan daya dukung ultimate.

Titik	Panjang tiang (m)	Metode Analitis (Mayerhof)	Metode Elemen Hingga	Persentase	Loading Test	
					Davisson	Mazurkiewicz
BH-1	15	734 ton	611 ton	16,75	600 ton	700 ton
BH-2	15	665 ton	614 ton	7,67		
BH-3	15	799 ton	796,6 ton	0,3		
Rata rata				8,24		

Dari tabel 4.5 diketahui bahwa ada perbedaan selisih pada BH 1 = 16,75 % BH 2 = 7,67 % dan BH 3 = 0,3 % untuk perhitungan daya dukung ultimate antara metode analisis dan metode elemen hingga. Berdasarkan perhitungan analitis dan dengan metode elemen hingga penurunan yang terjadi pada tiang ditunjukkan dalam Tabel 4.6:

Tabel 4.6: Perbandingan penurunan tiang.

Titik	Beban	Penurunan total tiang tunggal	Penurunan dari Program analitis	Selisih (%)	Penurunan dari Loading test
BH-1	300 ton	7.2 mm	8.96 mm	19,64	Beban 300 ton 5.06 mm
	600 ton	14.5 mm	21.78 mm	33,42	
BH-2	300 ton	9.3 mm	13.03 mm	28,62	Beban 600 ton 15.07 mm
	600 ton	18.8 mm	28.49 mm	34,01	
BH-3	300 ton	7 mm	10.85 mm	35,48	
	600 ton	13.3 mm	23.19 mm	42,64	

Dari tabel 4.6 diketahui bahwa ada perbedaan selisih BH 1 pada beban 300 = 19,64 % dan beban 600 = 33,42 %, BH 2 pada beban 300 = 28,62 % dan beban

600 = 34,01 %, BH 3 pada beban 300 = 35,48 % dan beban 600 = 42,64% untuk perbandingan penurunan tiang antara metode Paulos & Davis dan elemen hingga.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil analisis dapat diambil kesimpulan:

1. Hasil perhitungan daya dukung pondasi *bored piled* dengan metode analitis (mayerhof) pada ketiga titik adalah :
 - BH 1(sta 75 +561) = 734 ton
 - BH 2(sta 75 +550) = 665 ton
 - BH 3(sta 76 +175) = 799 ton
2. Hasil perhitungan daya dukung pondasi *bored piled* dengan bantuan program analitis (plaxis) adalah :
 - BH 1(sta 75 +561) = 611 ton
 - BH 2(sta 75 +550) = 614 ton
 - BH 3(sta 76 +175) = 796,6 ton

Setelah diakumulasikan ada selisih perbandingan antara metode analitis dan bantuan program BH 1(sta 75 +561) = 16,75 %, BH 2(sta 75 +550) = 7,67 %, BH 3(sta 76 +175) = 0,3 %
3. Penurunan yang terjadi dengan menggunakan metode Paulos & Davis pada ketiga titik adalah :
 - BH 1(sta 75 +561) dengan beban 300 ton = 7,2 mm
BH 1(sta 75 +561) dengan beban 600 ton = 14,5 mm
 - BH 2(sta 75 +550) dengan beban 300 ton = 9,3 mm
BH 2(sta 75 +550) dengan beban 600 ton = 18,8 mm
 - BH 3(sta 76 +175) dengan beban 300 ton = 7 mm
BH 3(sta 76 +175) dengan beban 600 ton = 13,3 mm

5.2. Saran

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

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

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

DAFTAR PUSTAKA

- 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
- SNI
- 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.
- Plaxis, *Tutorial Manual*. (1998). "Finite Element Code For Joint and Rock Analysis Version 7.2 "Delft, Netherlands
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah (DPPW) (2002), *Manual*

pekerjaan campuran beraspal panas.

Departemen Pekerjaan Umum (1987) *Petunjuk perencanaan tebal perkerasan*

lentur jalan raya dengan metode analisa komponen.

Hudan, M. F. (2012) *Abu Boiler Sebagai Bahan Pengganti Semen Dalam Campuran Beton Normal. Laporan Tugas Akhir S1, Universitas Sumatera Utara.*

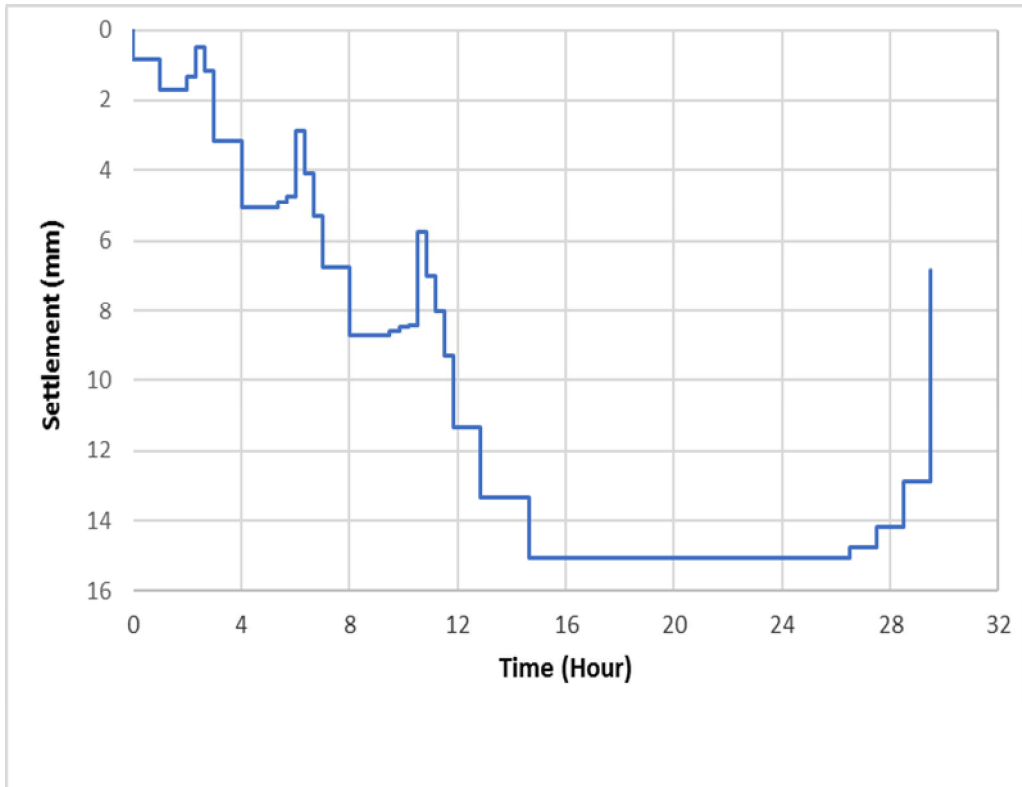
Gultom, M. H. (1995) *Evaluasi Kadar Aspal Optimum Dan Modulus Kekakuan Campuran Beton Aspal Yang Menggunakan Bahan Susun Batu Adesit Dan Bahan Susun Batu Putih, Tugas Akhir S1 Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.*

Maulana, B. M. (2016) *Evaluasi Kadar Aspal Optimum Campuran Aspal Beton Menggunakan Filler Abu Vulkanik, Tugas Akhir S1 Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.*

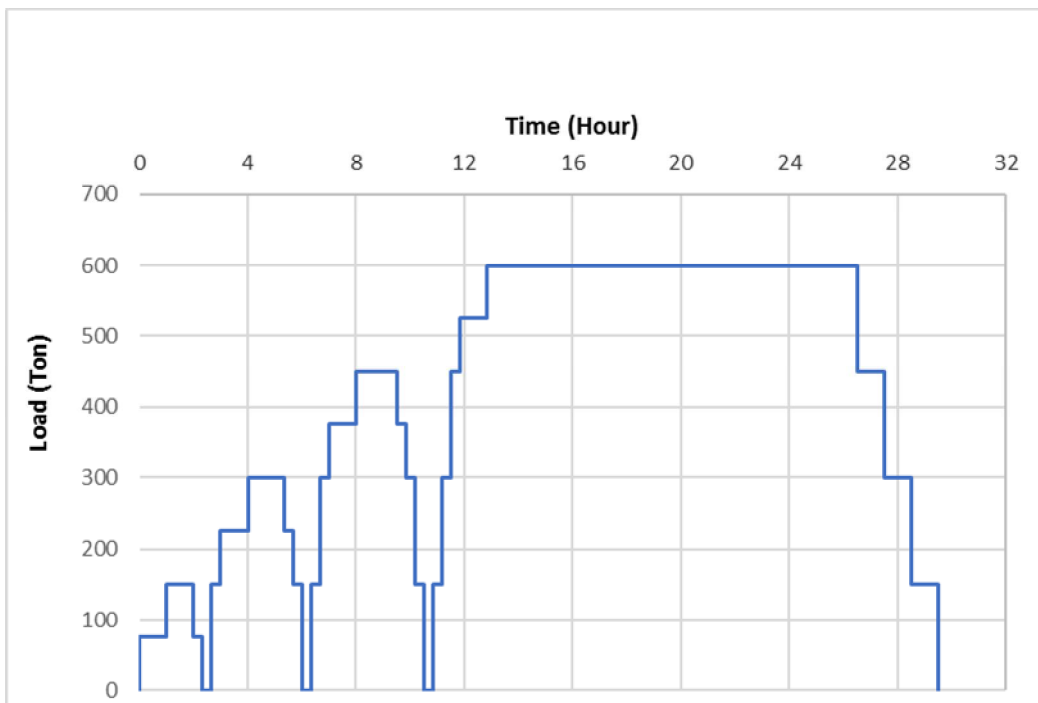
Saputra, D. (2016) *Evaluasi Perbandingan Modulus Kekakuan Campuran Aspal Beton AC-WC Yang Menggunakan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 Dan Aspal Esso Pen60/70 Dengan Variasi Kadar Aspal Yang Berbeda, Tugas Akhir S1 Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.*

Khoiriah. (2016) *Evaluasi Perbandingan Modulus Kekakuan Campuran Aspal Beton AC-WC Yang Menggunakan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 Dan Aspal Esso Pen 60/70 Dengan Variasi Kadar Aspal Yang Berbeda, Tugas Akhir S1 Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.*

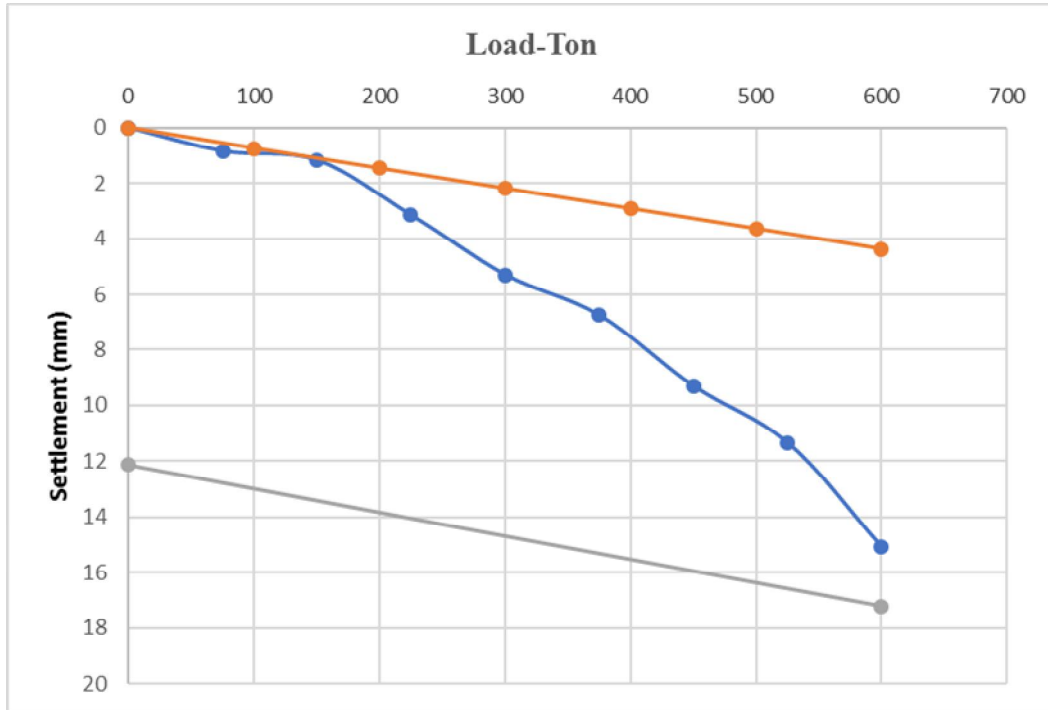
Sukirman, S. (1999) *Perkerasan Lentur Jalan Raya.* Politeknik Bandung.



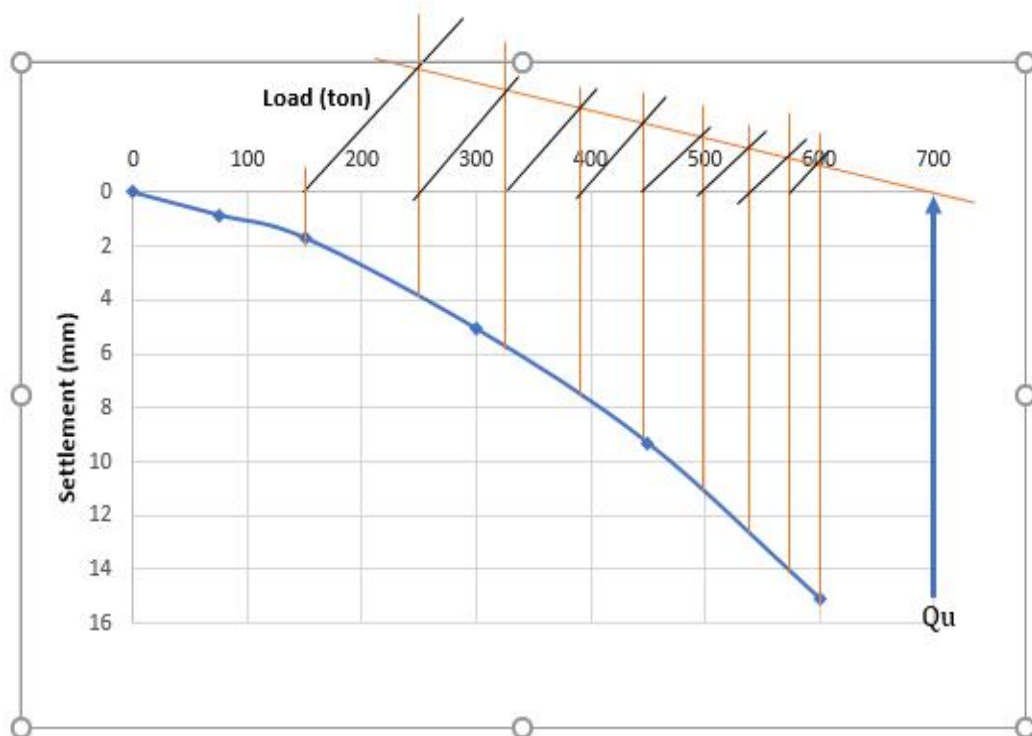
Gambar L.1: Grafik penurunan dengan waktu.



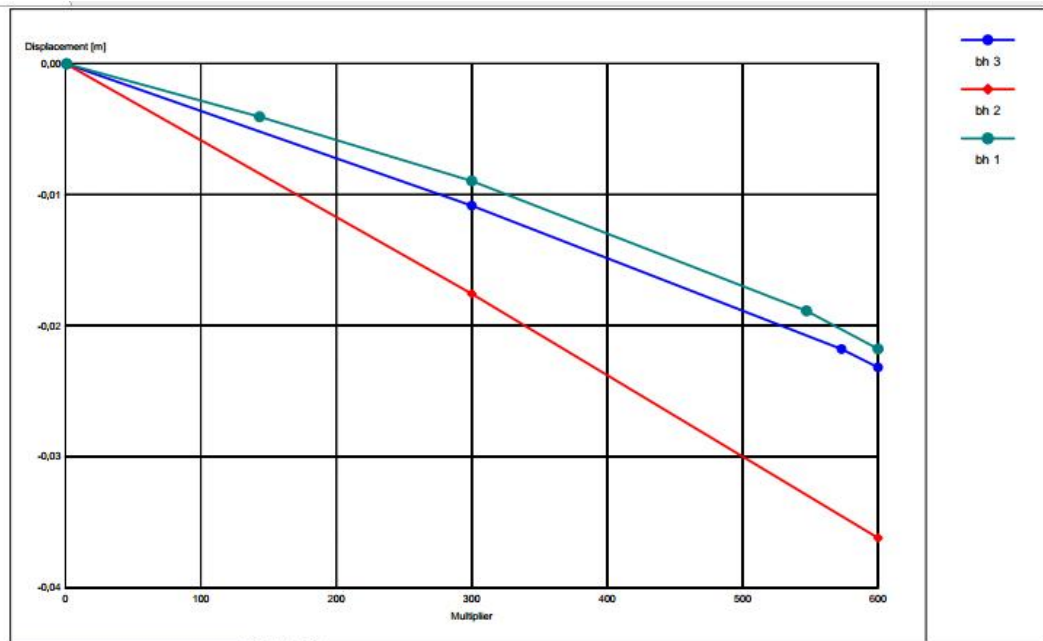
Gambar L.2: Grafik siklus pembebanan dengan waktu.



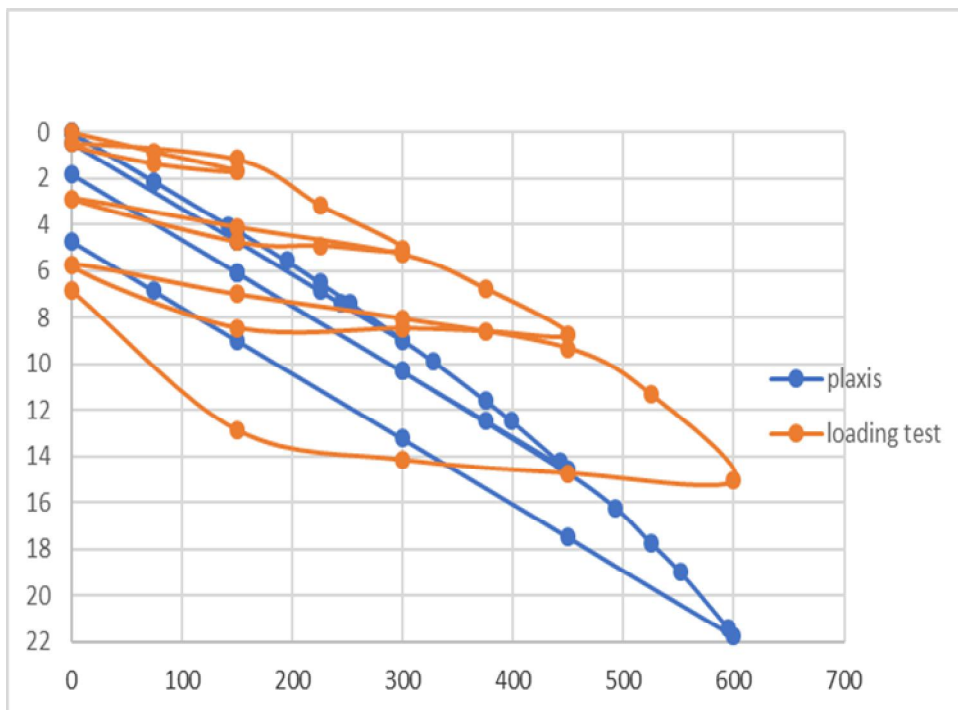
Gambar L.3: Interpretasi daya dukung dengan metode Davisson.



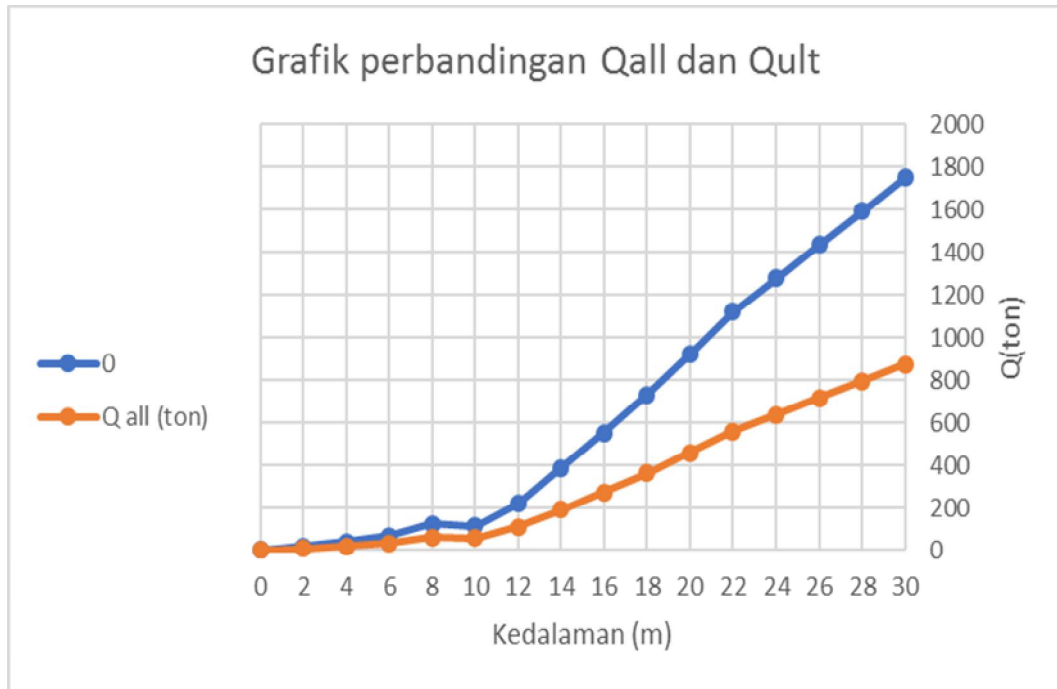
Gambar L.4: Interpretasi daya dukung dengan metode Mazurkiewicz.



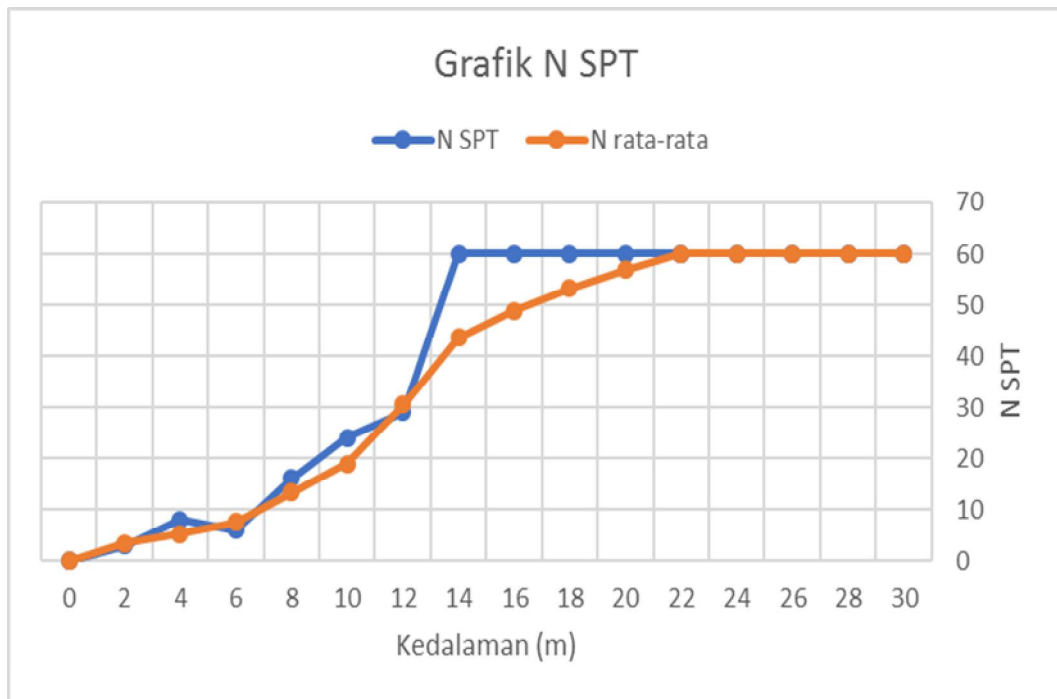
Gambar L.5: Kurva perbandingan penurunan antara titik BH-1, BH-2 dan BH-3 menggunakan program analisis.



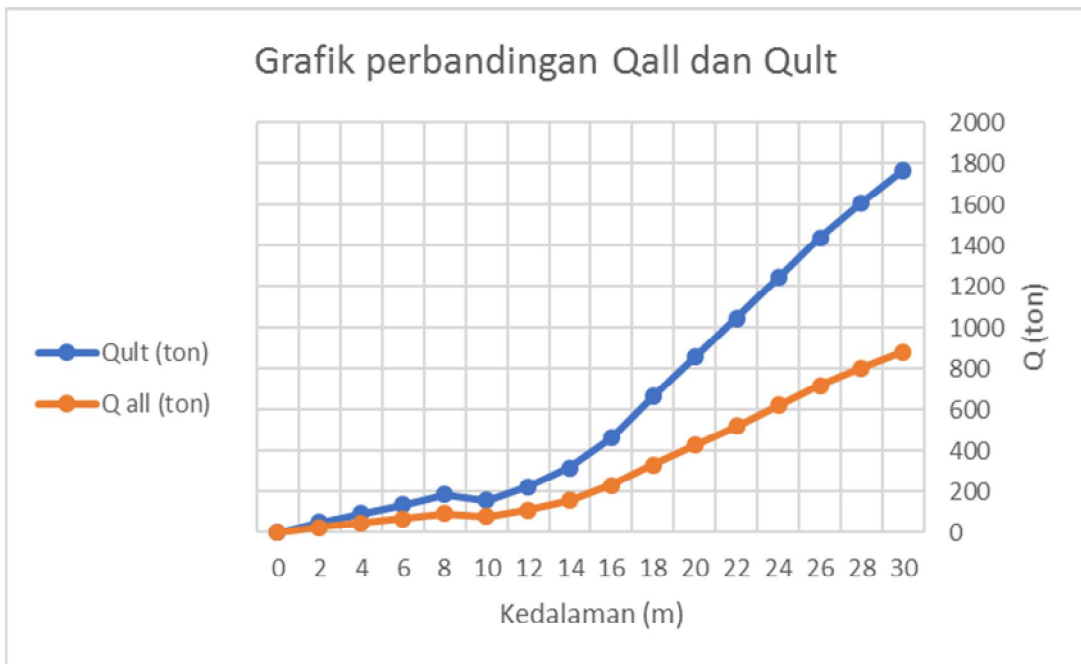
Gambar L.6: Kurva perbandingan beban *versus* penurunan dengan metode elemen hingga dan data *loading test*.



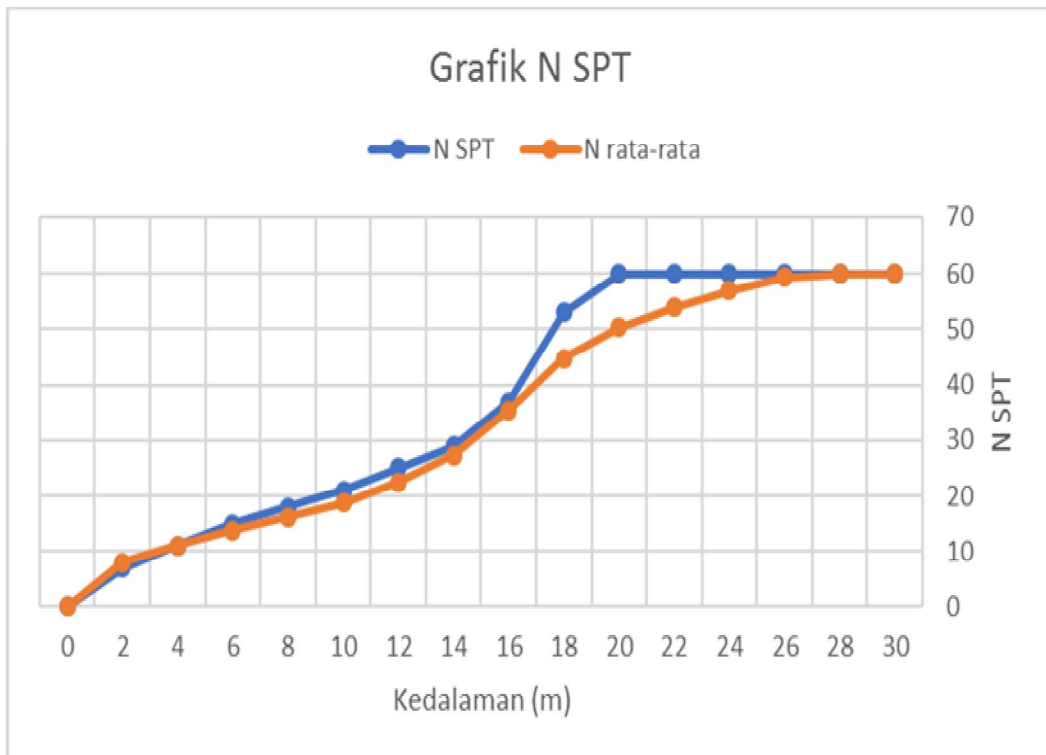
Gambar L.7: Grafik perbandingan Qall dan Q ult pada BH 1.



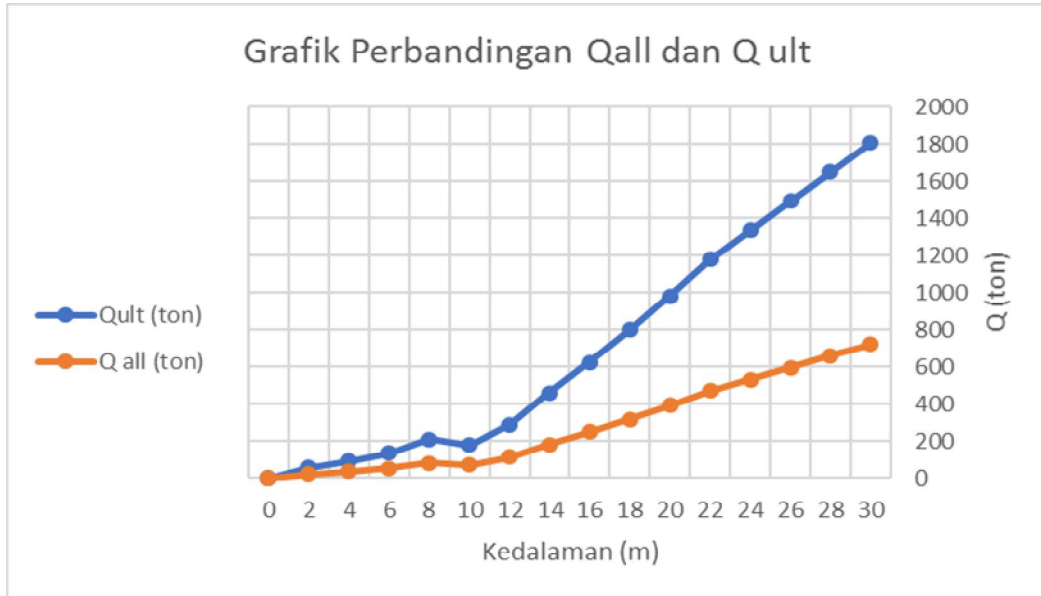
Gambar L.8: Grafik perbandingan N SPT dan N SPT rata-rata pada BH 1.



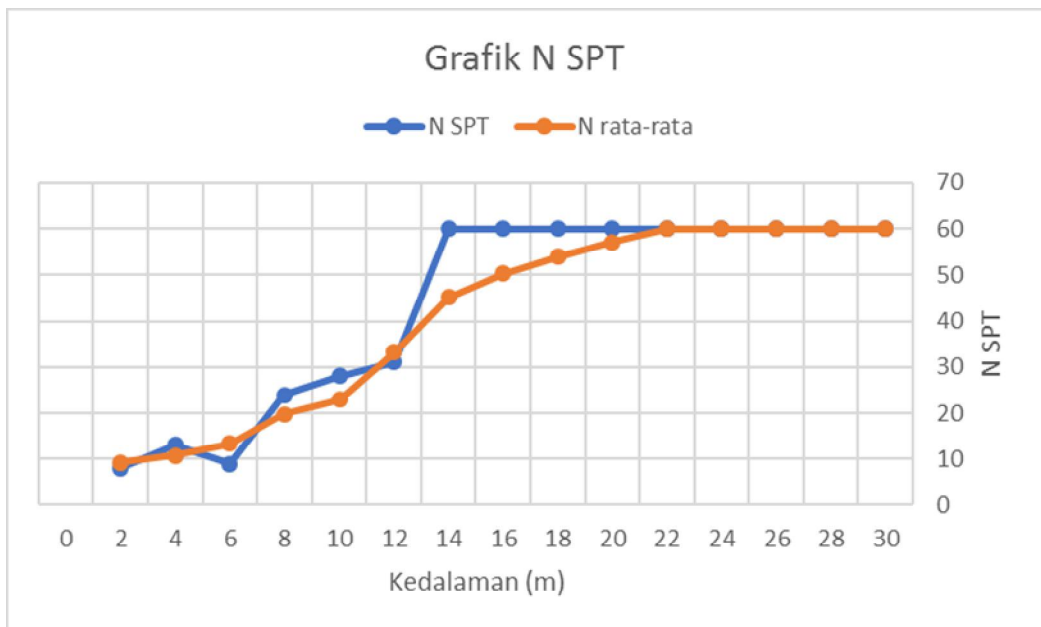
Gambar L.9: Grafik perbandingan Qall dan Q ult pada BH 2.



Gambar L.10: Grafik perbandingan N SPT dan N SPT rata-rata pada BH 2.



Gambar L.11: Grafik perbandingan Qall dan Q ult pada BH 3.



Gambar L.12: Grafik perbandingan N SPT dan N SPT rata-rata pada BH 3.



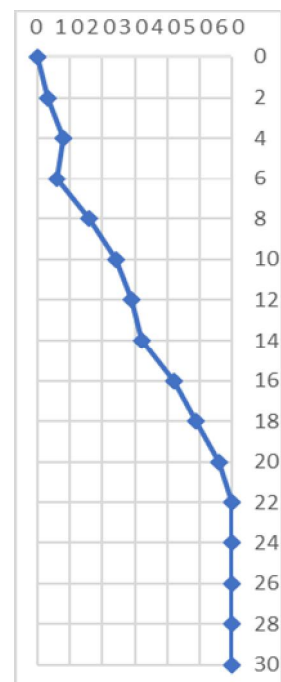
Gambar L.13: Gambar lapangan pada BH 1 dan BH 2 .



Gambar L.13: Gambar lapangan pada BH 3.

Tabel L.1: SPT pada BH 1.

Depth	Jenis Tanah	Standart Penetration Test (SPT)				N Value Graph
		No of Blows			N Value	
		0-15	15-30	30-45		
0		0	0	0	0	
2	Clay(undisturb)	1	2	1	3	
4	Clay(undisturb)	2	3	5	8	
6	Clay(undisturb)	3	2	4	6	
8	Clay(undisturb)	5	7	9	16	
10	Sand(disturb)	7	10	14	24	
12	Sand(disturb)	8	13	16	29	
14	Sand(disturb)	10	15	17	32	
16	Sand(disturb)	14	19	23	42	
18	Sand(disturb)	18	22	27	49	
20	Sand(disturb)	20	24	32	56	
22	Sand(disturb)	25	32	41	60	
24	Sand(disturb)	-	-	-	60	
26	Sand(disturb)	-	-	-	60	
28	Sand(disturb)	-	-	-	60	
30	Sand(disturb)	-	-	-	60	

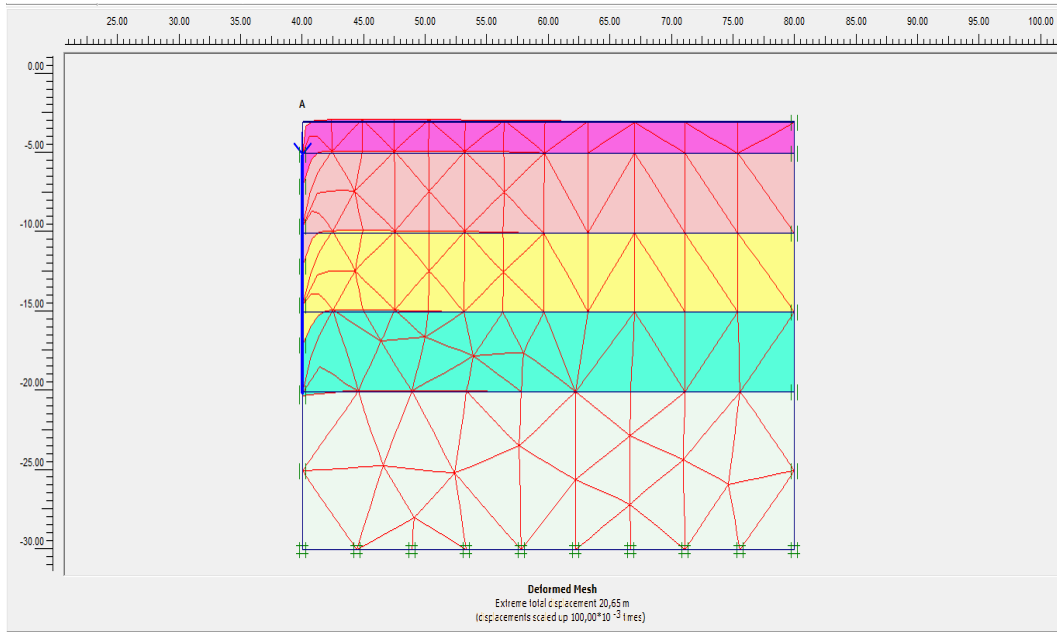


Tabel L.2: SPT pada BH 2.

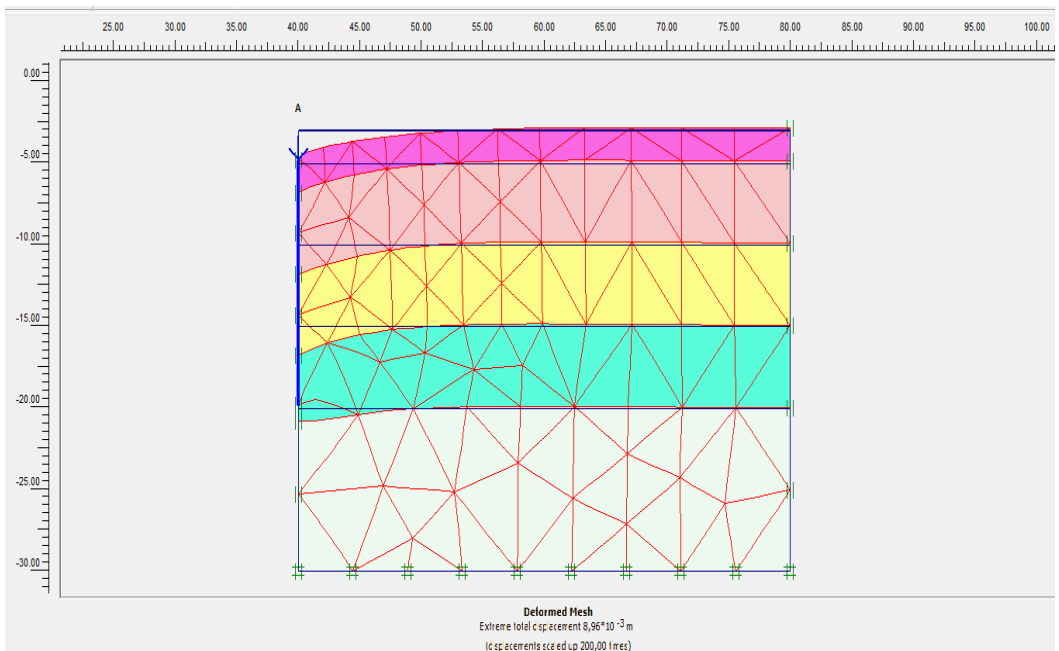
Depth	Jenis Tanah	Standart Penetration Test (SPT)				N Value Graph
		No of Blows			N Value	
		0-15	15-30	30-45		
0		0	0	0	0	<p>The graph shows N values increasing from 0 at 0m to 60 at 20m, then remaining constant at 60 for depths up to 30m. The x-axis is labeled 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60. The y-axis is labeled 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30.</p>
2	Clay(undisturb)	2	4	3	7	
4	Clay(undisturb)	3	5	6	11	
6	Clay(undisturb)	4	7	8	15	
8	Clay(undisturb)	6	8	10	18	
10	Sand(disturb)	7	9	12	21	
12	Sand(disturb)	9	11	14	25	
14	Sand(disturb)	11	13	16	29	
16	Sand(disturb)	14	17	20	37	
18	Sand(disturb)	17	24	29	53	
20	Sand(disturb)	20	27	33	60	
22	Sand(disturb)	-	-	-	60	
24	Sand(disturb)	-	-	-	60	
26	Sand(disturb)	-	-	-	60	
28	Sand(disturb)	-	-	-	60	
30	Sand(disturb)	-	-	-	60	

Tabel L.3: SPT pada BH 3.

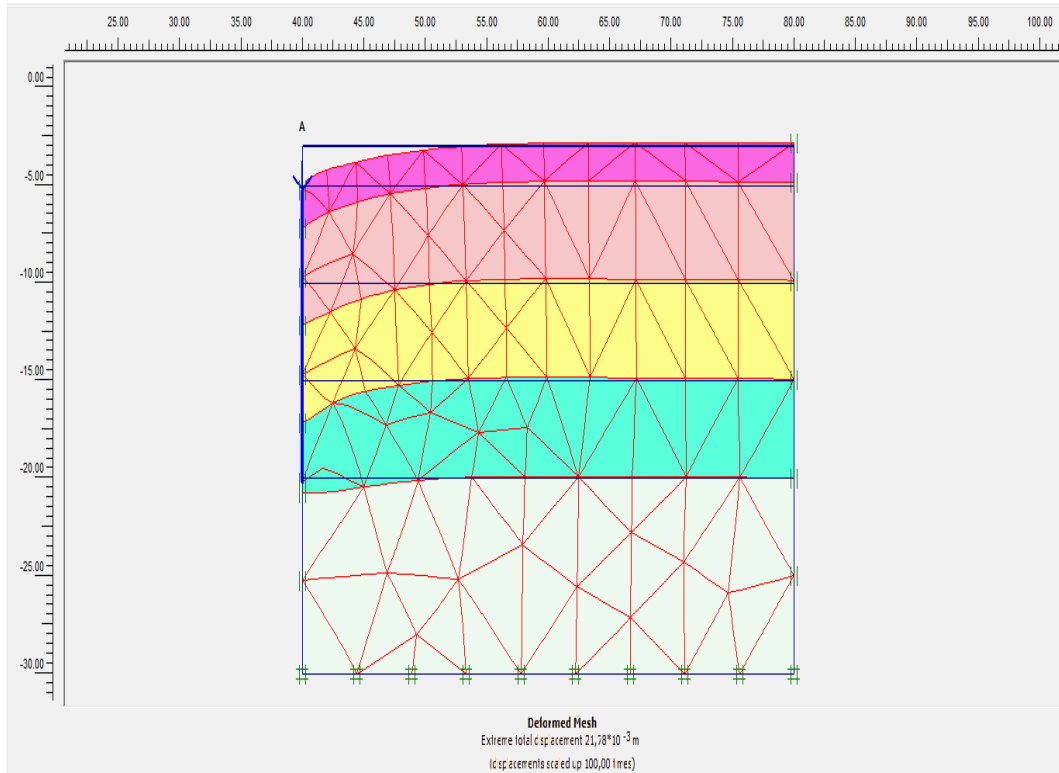
Depth	Jenis Tanah	Standart Penetration Test (SPT)				N Value Graph
		No of Blows			N Value	
		0-15	15-30	30-45		
0		0	0	0	0	<p>The graph shows N values increasing from 0 at 0m to 60 at 14m, then remaining constant at 60 for depths up to 30m. The x-axis is labeled 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60. The y-axis is labeled 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30.</p>
2	Clay(undisturb)	3	4	4	8	
4	Clay(undisturb)	4	6	7	13	
6	Clay(undisturb)	3	4	5	9	
8	Clay(undisturb)	8	10	14	24	
10	Sand(disturb)	10	12	16	28	
12	Sand(disturb)	9	13	18	31	
14	Sand(disturb)	14	30	35	60	
16	Sand(disturb)	-	-	-	60	
18	Sand(disturb)	-	-	-	60	
20	Sand(disturb)	-	-	-	60	
22	Sand(disturb)	-	-	-	60	
24	Sand(disturb)	-	-	-	60	
26	Sand(disturb)	-	-	-	60	
28	Sand(disturb)	-	-	-	60	
30	Sand(disturb)	-	-	-	60	



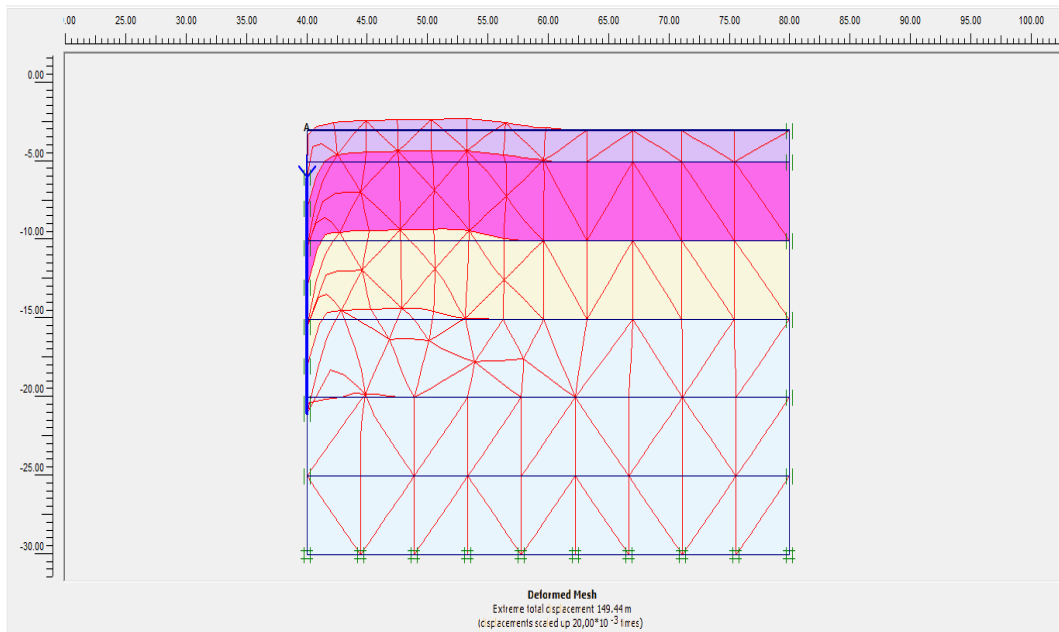
Gambar L.14: Output faktor keamanan pada BH 1.



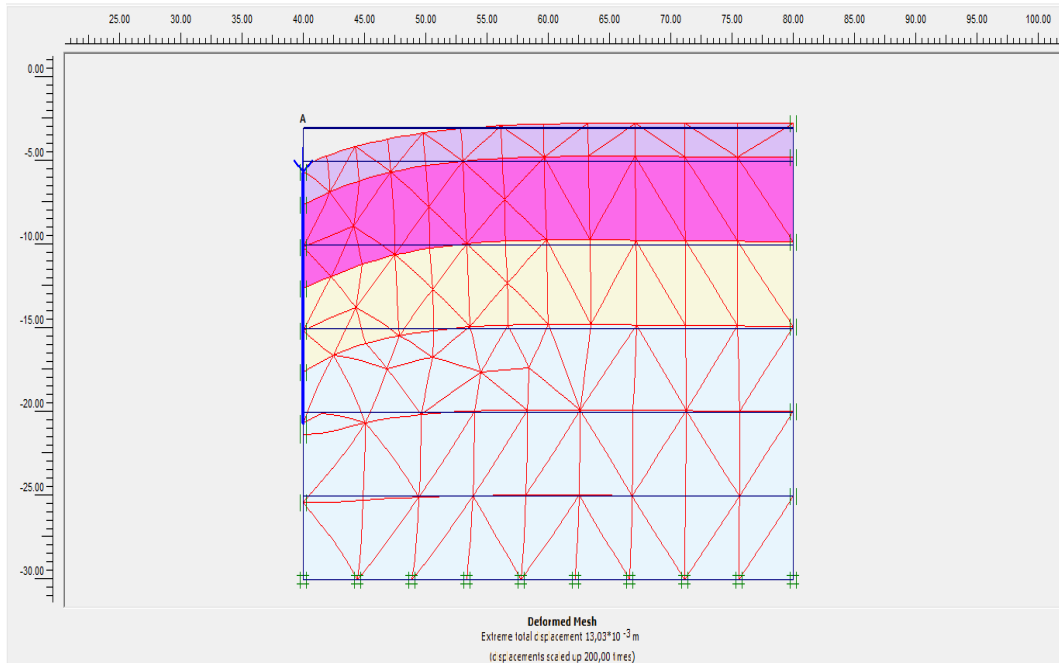
Gambar L.15: Output penurunan di 300 ton pada BH 1.



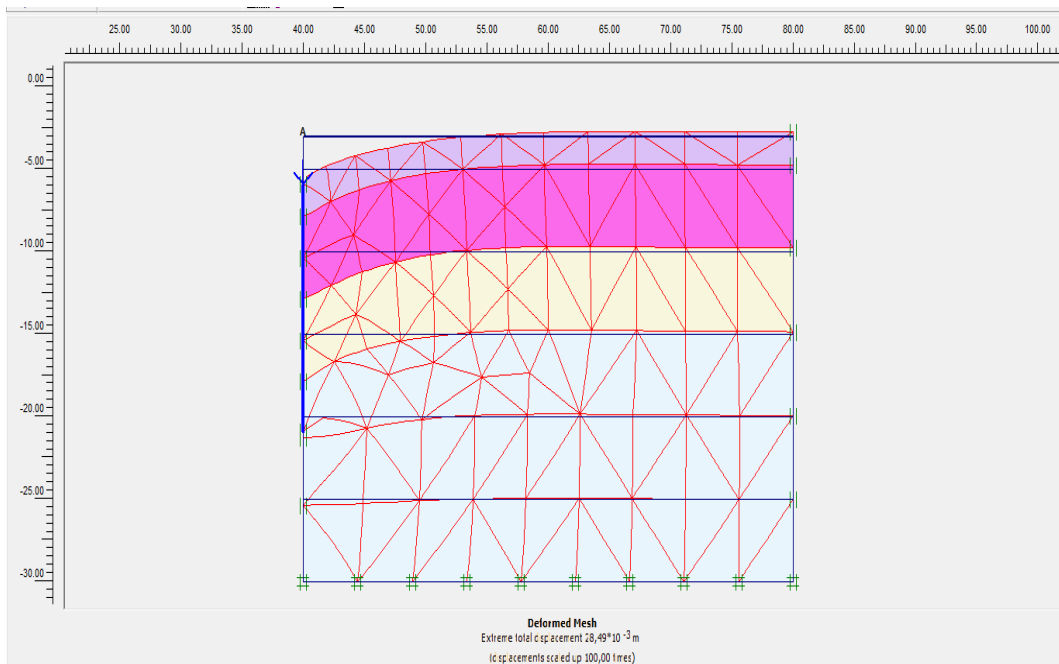
Gambar L.16: Output penurunan di 600 ton pada BH 1.



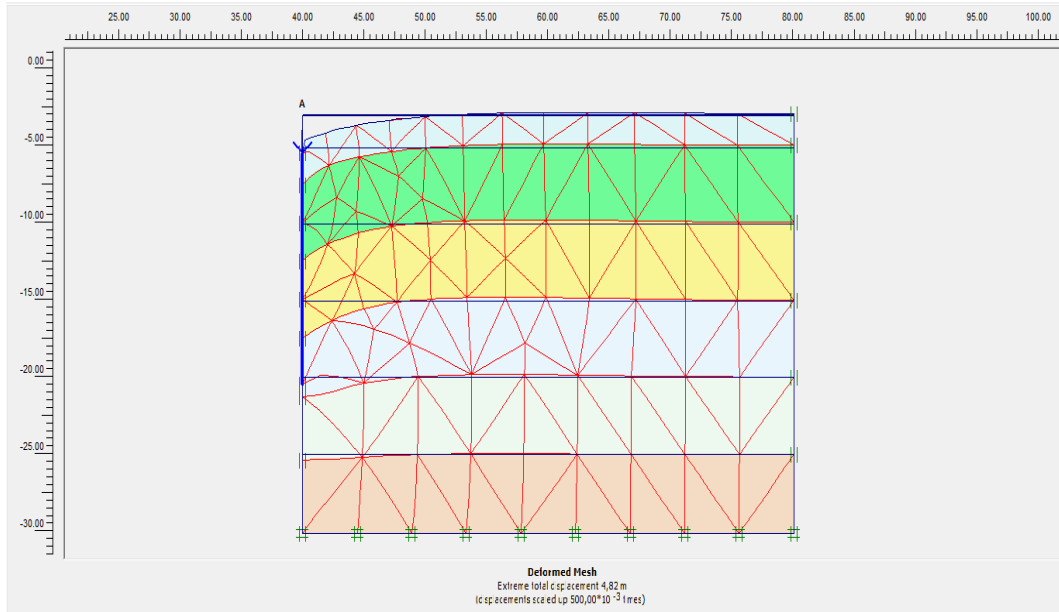
Gambar L.17: Output faktor keamanan pada BH 2.



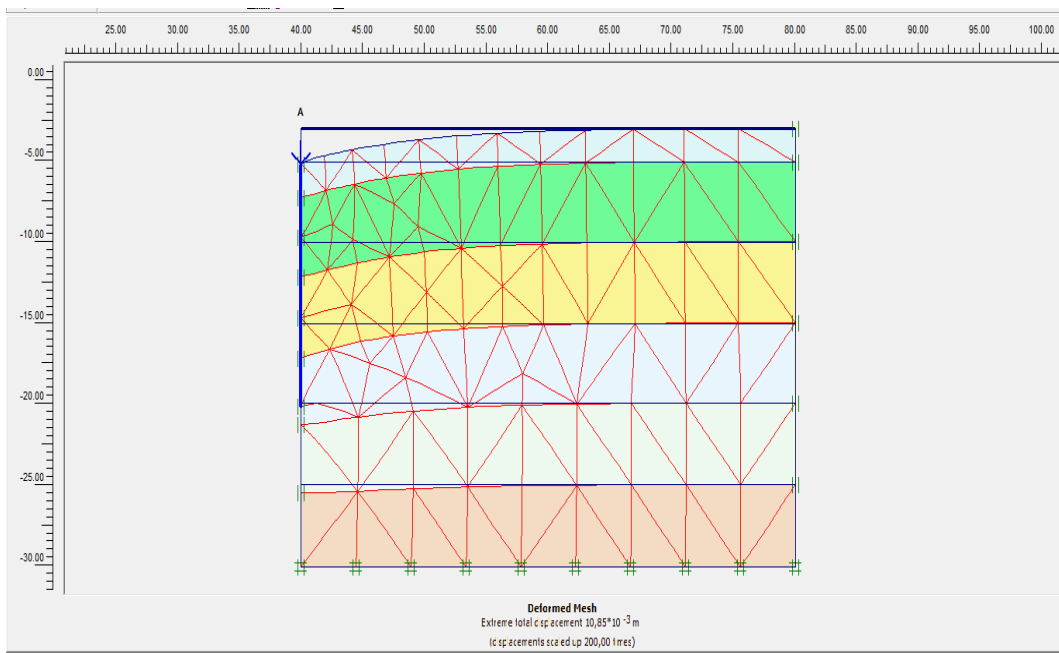
Gambar L.18: Output penurunan di 300 ton pada BH 2.



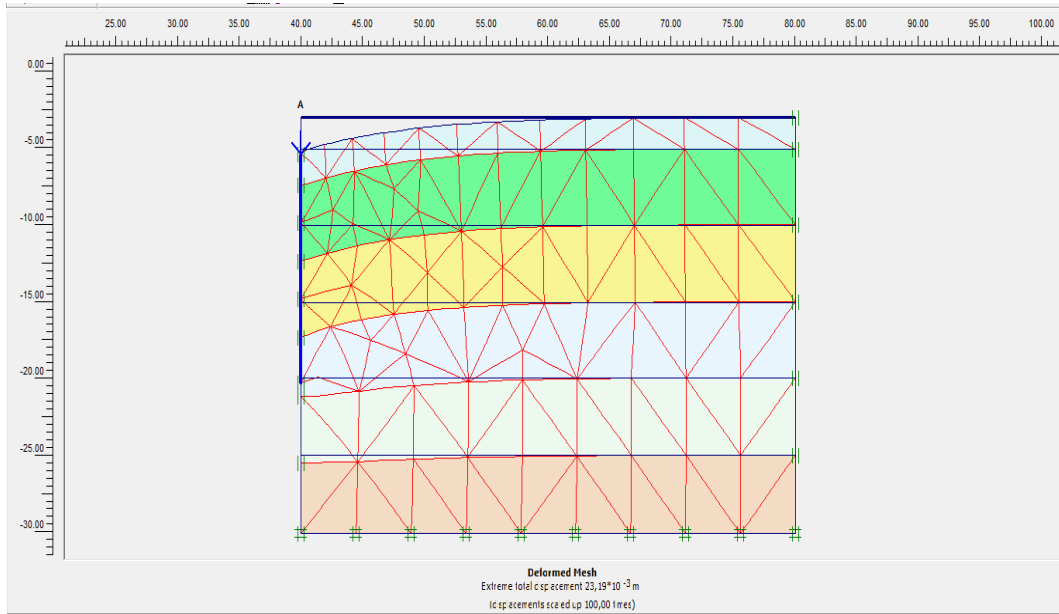
Gambar L.19: Output penurunan di 600 ton pada BH 2.



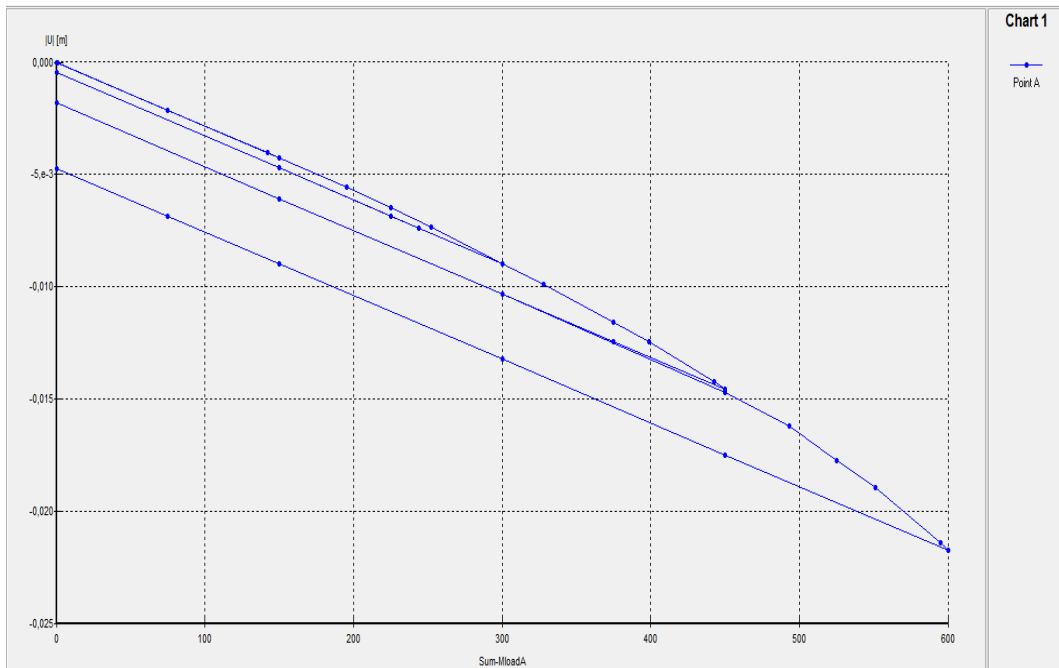
Gambar L.20: Output faktor keamanan pada BH 3.



Gambar L.21: Output penurunan di 300 ton pada BH 3.



Gambar L.22: Output penurunan di 600 ton pada BH 3.



Gambar L.23: Output *cycle loading test* pada program analitis.