

**TUGAS AKHIR**

**ANALISIS DAYA DUKUNG PONDASI *BORED PILE* DAN  
DEFORMASI TANAH MENGGUNAKAN METODE  
ANALITIS PADA PROYEK JALAN TOL MEDAN-  
KUALANAMU-TEBING TINGGI**

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

**Disusun Oleh:**

**Agus Dwi M.  
1307210199**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2020**

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Agus Dwi M.

NPM : 1307210199

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Analisis daya dukung pondasi *bored pile* dan *deformasi tanah* menggunakan metode analitis pada proyek jalan tol Medan-Kualanamu-Tebing tinggi

Bidang ilmu : Geoteknik

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

Medan, 10 Oktober 2020

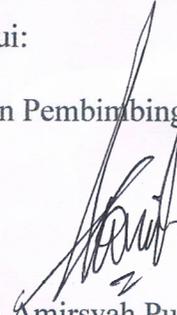
Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I / Penguji



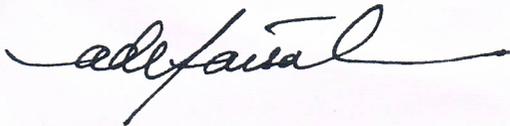
M. Husin Gultom, ST, MT

Dosen Pembimbing II/Penguji



Tondi Amirsyah Putera, ST, MT

Dosen Pembimbing I / Penguji



Dr. Ade Faisal .S.T.M.Sc

Dosen Pembimbing II/Penguji



Dr. Fahrizal Zulkarnain, ST, MSc

Program Studi Teknik Sipil  
Ketua,



Dr. Fahrizal Zulkarnain, ST, MSc

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Agus Dwi M.

NPM : 1307210199

Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Sipil,

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

“Analisis daya dukung pondasi *bored pile* dan *deformasi* tanah menggunakan metode analitis pada proyek jalan tol Medan-Kualanamu-Tebing tinggi”,

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

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

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

Medan, 10 Oktober 2020

Saya yang menyatakan,



Agus Dwi M.

## ABSTRAK

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

Agus Dwi M.

1307210199

M. Husin Gultom, ST, MT

Tondi Amirsyah P, ST, MT

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

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

## KATA PENGANTAR

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

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

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

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

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

Medan, 10 Oktober 2020

Agus Dwi M.

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR NOTASI	xii
DAFTAR SINGKATAN	xiv
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Ruang Lingkup	2
1.4. Tujuan	3
1.5. Manfaat Penulisan	3
1.6. Sistematika Pembahasan	4
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1. Tanah	5
2.2. Penyelidikan Tanah ( <i>Soil Invertigasi</i> )	5
2.2.1. Pengujian Penetrasi Kerucut Statis (Sondir)	7
2.2.2. Pengujian Penetrasi Standar (SPT)	8
2.3. Pondasi	11
2.4. Pengertian Pondasi Tiang	15
2.5. Pelaksanaan Pondasi Tiang Bor	17
2.6. Kapasitas Daya Dukung	21
2.6.1. Tiang Dukung Ujung Dan Tiang Gesek	21
2.6.2. Kapasitas Daya Dukung Bored pile	22
2.6.3. Persamaan Daya Dukung Kelompok Tiang	26
2.7. Faktor Keamanan	29
2.8. Penurunan tiang elastis ( <i>Elastic Settlement</i> )	30

2.9. Penurunan Tiang Kelompok	31
2.10. Parameter Tanah	34
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN</b>	
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. Metode Analitis	49
3.8. Langkah-langkah Pemodelan Menggunakan Program Plaxis	50
<b>BAB 4 ANALISA DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1. Perhitungan Daya Dukung Menggunakan Data Parameter	59
4.1.1. Perhitungan Pada Titik BH-1	59
4.1.2. Perhitungan Pada Titik BH-2	63
4.1.3. Perhitungan Pada Titik BH-3	66
4.2. Perhitungan Daya Dukung Kelompok Tiang	70
4.2.1. Penurunan Pada Titik BH-1	70
4.2.2. Penurunan Pada Titik BH-2	70
4.2.3. Penurunan Pada Titik BH-3	71
4.3. Kapasitas Daya Dukung Dari Data ( <i>Elastic Settlement</i> )	71
4.3.1. Penurunan Pada Titik BH-1	71
4.3.2. Penurunan Pada Titik BH-2	72
4.3.3. Penurunan Pada Titik BH-3	74
4.4. Hasil Analisis Program Plaxis	75
4.5. Perbandingan Hasil Perhitungan	78
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1. Kesimpulan	80
5.2. Saran	81

DAFTAR PUSTAKA	82
LAMPIRAN	84
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Faktor daya dukung	23
Tabel 2.2	Hubungan dari nilai sudut geser dan nilai N	24
Tabel 2.3	Nilai faktor daya dukung	24
Tabel 2.4	Parameter rencana tiang untuk tanah lempung	26
Tabel 2.5	Faktor keamanan	30
Tabel 2.6	Parameter elastik tanah	32
Tabel 2.7	Nilai koefisien empiris	33
Tabel 2.8	Korelasi N-SPT dengan modulus elastisitas tanah lempung	35
Tabel 2.9	Korelasi N-SPT dengan modulus elastisitas tanah pasir	36
Tabel 2.10	Hubungan jenis tanah dan poisson ratio	36
Tabel 2.11	Hubungan jenis tanah dengan berat isi tanah kering	37
Tabel 2.12	Nilai koefisien permeabilitas tanah	38
Tabel 3.1	Data hasil pengeboran (BH-1)	43
Tabel 3.2	Data hasil pengeboran (BH-2)	43
Tabel 3.3	Data hasil pengeboran (BH-3)	44
Tabel 3.4	Parameter (BH-1)	46
Tabel 3.5	Parameter (BH-2)	47
Tabel 3.6	Parameter (BH-3)	48
Tabel 4.1	Hasil perhitungan daya dukung BH-1	62
Tabel 4.2	Hasil perhitungan daya dukung BH-2	66
Tabel 4.3	Hasil perhitungan daya dukung BH-3	70
Tabel 4.4	Perbandingan daya dukung	79
Tabel 4.5	Perbandingan penurunan tiang	79

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Rincian konus ganda	8
Gambar 2.2	Pengujian penetrasi standar (SPT)	10
Gambar 2.3	Skema urutan pengujian penetrasi standar (SPT)	11
Gambar 2.4	Macam-macam tipe pondasi	12
Gambar 2.5	<i>Overbreak</i> diameter lubang bor akibat longsoran tanah	18
Gambar 2.6	Tiang ditinjau dari cara mendukung bebannya	22
Gambar 2.7	Tipikal pengaturan kelompok pondasi tiang	27
Gambar 2.8	Skematik mobilisasi tekanan	28
Gambar 2.9	Jenis distribusi tahanan kulit sepanjang tiang	31
Gambar 2.10	Gambar dimensi kelompok tiang	34
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	39
Gambar 3.2	Denah Lokasi Proyek Pembangunan Jalan Tol Medan Kualanamu Tebing Tinggi Seksi 6	40
Gambar 3.3	Lokasi titik pengeboran BH-1	41
Gambar 3.4	Lokasi titik pengeboran BH-2	41
Gambar 3.5	Lokasi titik pengeboran BH-3	42
Gambar 3.6	Langkah awal pada saat memulai project	51
Gambar 3.7	Langkah pertama pemberian nama geometri	51
Gambar 3.8	Menentukan standart unit	52
Gambar 3.9	Pemodelan geometri pada program analisis	53
Gambar 3.10	Pemodelan penguncian geometri	53
Gambar 3.11	Input parameter tanah dan pemodelan Mohr-coulomb	54
Gambar 3.12	Input parameter	54
Gambar 3.13	Penyusunan jaring mesh	55
Gambar 3.14	Hasil perhitungan <i>initial stresses</i>	55
Gambar 3.15	Tahapan perhitungan	56
Gambar 4.1	Penurunan dengan beban rencana 300 ton	76
Gambar 4.2	Penurunan dengan beban rencana 600 ton	76
Gambar 4.3	Kurva perbandingan penurunan antara titik BH-1, BH-2 dan BH-3 menggunakan program analisis	78

## 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
$\alpha$	= 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
$H$	= Kedalaman
$\emptyset$	= sudut geser dalam
$\gamma_{sat}$	= Berat isi tanah jenuh
$\gamma_{dry}$	= Berat isi tanah kering
$\nu = \mu$	= Poisson Ratio
$\psi$	= 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



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

**LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR**  
**ANALISIS DAYA DUKUNG PONDASI *BORED PILE* DAN DEFORMASI**  
**TANAH MENGGUNAKAN METODE ANALITIS PADA PROYEK JALAN TOL**  
**MEDAN-KUALANAMU-TEBING TINGGI**

**NAMA** : AGUS DWI  
**NPM** : 1307210199  
**JURUSAN** : TEKNIK SIPIL (Geoteknik)

No	Tanggal	Keterangan	Paraf
1	12/18 2017	lengkap data-data lapangan yang dibutuhkan	cf
2	24/10 2017	pelayari teori <del>test</del> statik loading test	cf
3	4/11 2017	Perbaiki bab II	cf
4	12/10 2020	Acc	cf

Dosen Pembimbing I

Muhammad Husin Gultom, ST, MT.



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

**LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR**  
**ANALISIS DAYA DUKUNG PONDASI *BORED PILE* DAN DEFORMASI**  
**TANAH MENGGUNAKAN METODE ANALITIS PADA PROYEK JALAN TOL**  
**MEDAN-KUALANAMU-TEBING TINGGI**

**NAMA** : AGUS DWI  
**NPM** : 1307210199  
**JURUSAN** : TEKNIK SIPIL (Geoteknik)

No	Tanggal	Keterangan	Paraf
①	4/5-2018	- pelajari tentang settlement + lanjut Bab IV	
②	14/10-2020	Are Seminar	

Dosen Pembimbing I

Tondy A.P., S.T., M.T.



# **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 infrastuktur 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.

Pondasi tiang bor sebagai pilihan jenis pondasi yang digunakan dalam pembangunan Jalan Tol Medan – Kualanamu – Tebing 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.

Pondasi adalah bagian dari suatu sistem rekayasa yang meneruskan beban yang di topang oleh pondasi dan beratnya sendiri kepada dan kedalam tanah dan batuan yang terletak dibawahnya (Bowles, 1997).

Secara umum permasalahan pondasi dalam lebih rumit dari pondasi dangkal. Untuk hal ini penulis mencoba mengkonsentrasikan Tugas Akhir ini pada perencanaan pondasi dalam, yaitu pondasi *bored pile*. Pondasi *bored pile* adalah suatu pondasi yang dibangun dengan cara mengebor tanah terlebih dahulu, baru kemudian diisi dengan tulangan dan dicor. Daya dukung *bored pile* diperoleh dari daya dukung ujung (*end bearing capacity*) yang diperoleh dari tekanan pada ujung tiang dan daya dukung geser atau selimut (*friction bearing capacity*) diperoleh dari daya dukung gesek antara *bored pile* dan tanah disekelilingnya. *Bored pile* berinteraksi dengan tanah untuk menghasilkan daya dukung yang mampu memikul dan memberikan keamanan pada struktur atas. Untuk menghasilkan daya dukung yang akurat maka diperlukan suatu penyelidikan tanah yang akurat juga. Ada dua metode yang biasa digunakan dalam penentuan kapasitas daya dukung *bored pile* yaitu dengan menggunakan metode statis dan metode dinamis.

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**

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

1. Bagaimana hasil perhitungan dan perbandingan daya dukung pada 3 titik menggunakan metode analitis dan dengan data hasil *loading test*?
2. Berapakah besar penurunan pondasi yang terjadi untuk 3 titik yang berbeda?
3. Bagaimana hasil perbandingan penurunan pondasi *bored pile* dengan metode analitis dan data hasil *loading test*?

### **1.3. Ruang Lingkup**

Pada pelaksanaan proyek pembangunan Jalan Tol Medan - Kualanamu - Tebing Tinggi seksi 6, 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. Hanya meninjau gaya vertikal.
3. Hanya meninjau 3 titik yang berbeda dengan menggunakan data *standard penetration test* (SPT).

### **1.4. Tujuan**

Adapun tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah :

1. Untuk menghitung dan membandingkan hasil daya dukung pondasi *bored pile* menggunakan Metode analitis dan data hasil *loading test*.
2. Untuk menghitung penurunan yang terjadi pada pondasi *bored pile* pada 3 titik yang berbeda.
3. Untuk membandingkan hasil penurunan dengan metode analitis dan data *loading test*.

### **1.5. Manfaat Penulisan**

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

1. Manfaat teoritis dalam penulisan tugas akhir ini adalah menerapkan ilmu pengetahuan yang telah didapat selama bangku kuliah dan dapat mengembangkan ilmu pengetahuan dalam teknik sipil.

2. 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.

## **1.6. Sistematika Pembahasan**

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

### **BAB - I PENDAHULUAN**

Pada bab ini dibahas mengenai latar belakang, 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 metode 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 data yang dikumpulkan.

### **BAB - V KESIMPULAN DAN SARAN**

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

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Tanah**

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

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

Dalam bukunya Braja M. Das (1995) menjelaskan ukuran dari partikel tanah adalah sangat beragam dengan variasi yang cukup besar, tanah umumnya dapat disebut sebagai kerikil (*gravel*), pasir (*sand*), lanau (*silt*), atau lempung (*clay*), tergantung pada ukuran partikel yang paling dominan 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*.

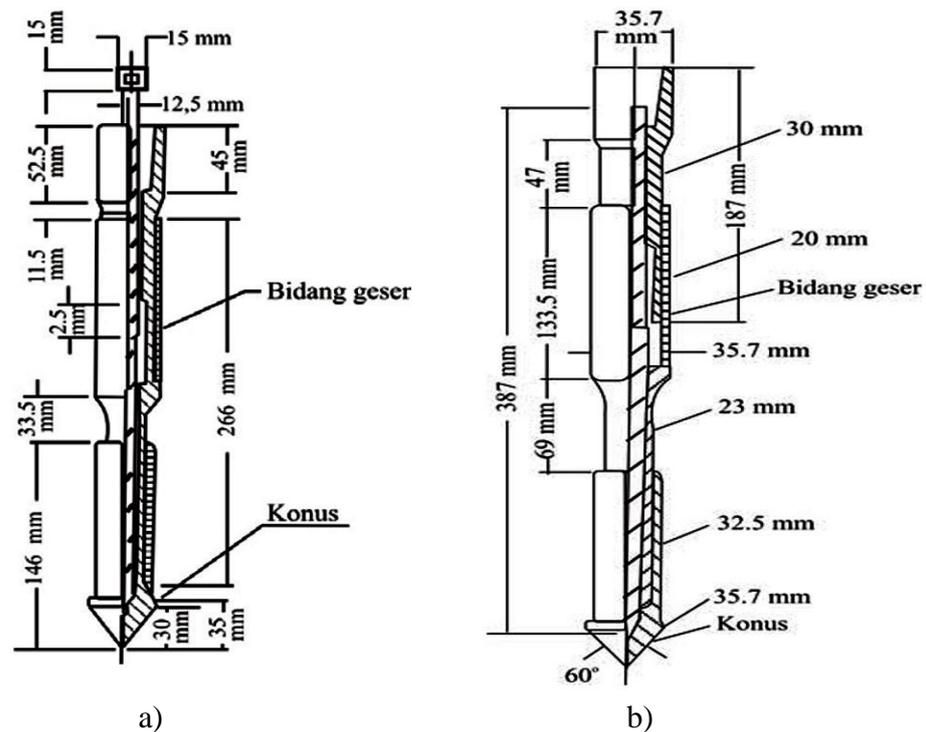
2) Contoh tanah terganggu (*disturbed soil*)

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, (b) Keadaan terbentang (SNI 2827, 2008).

Dimana:

- 1) Ujung konus bersudut  $60^\circ \pm 5^\circ$ .
- 2) Ukuran diameter konus adalah  $35,7 \text{ mm} \pm 0,4 \text{ mm}$  atau luas proyeksi konus =  $10 \text{ cm}^2$ ; 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)

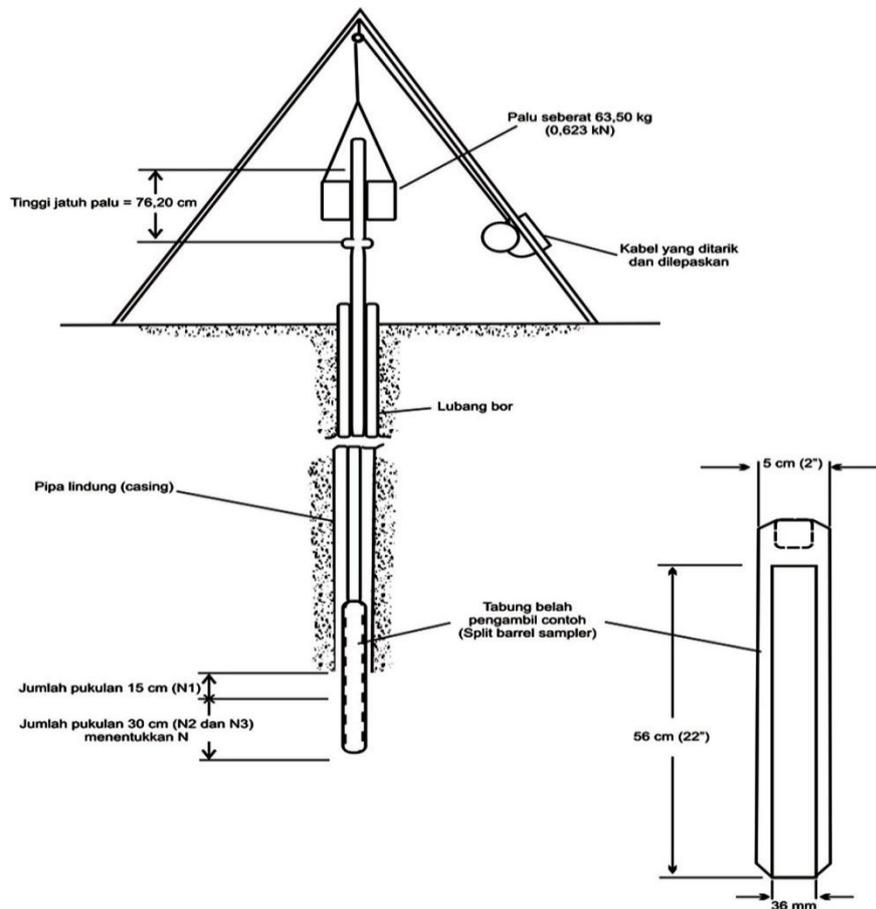
Tujuan Pengujian Penetrasi Standar yaitu untuk menentukan kepadatan relatif dan sudut geser lapisan tanah tersebut dari pengambilan contoh tanah dengan tabung, dapat diketahui jenis tanah dan ketebalan dari setiap lapisan tanah tersebut, untuk memperoleh data yang kumulatif pada perlawanan penetrasi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



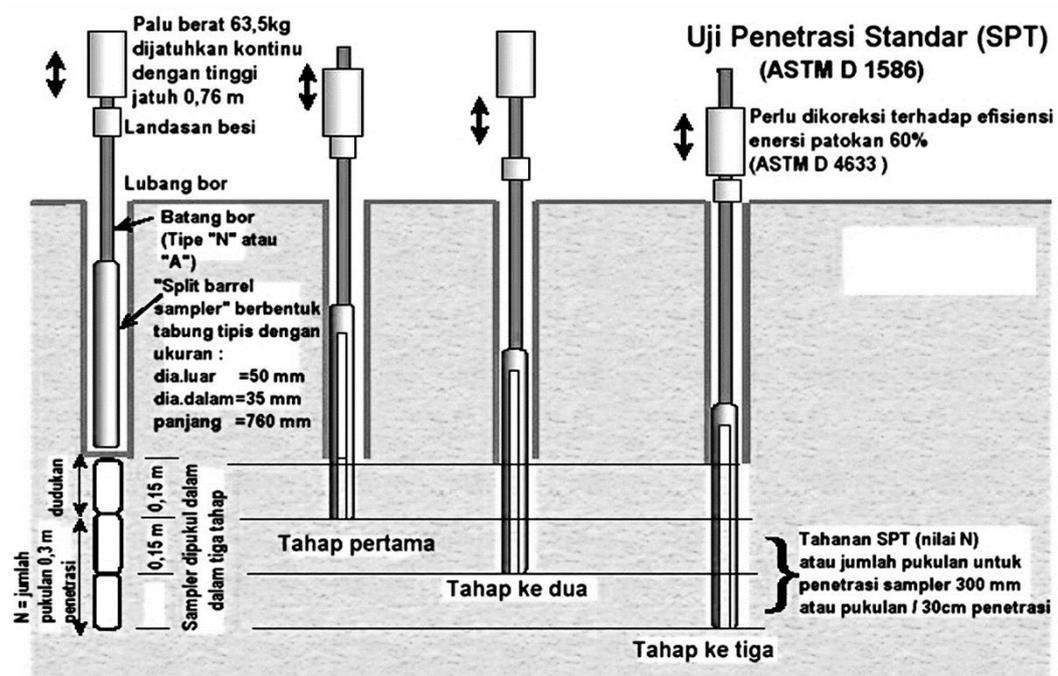
Gambar 2.2: Pengujian penetrasi standar (SPT) (SNI 4153, 2008).

#### 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.



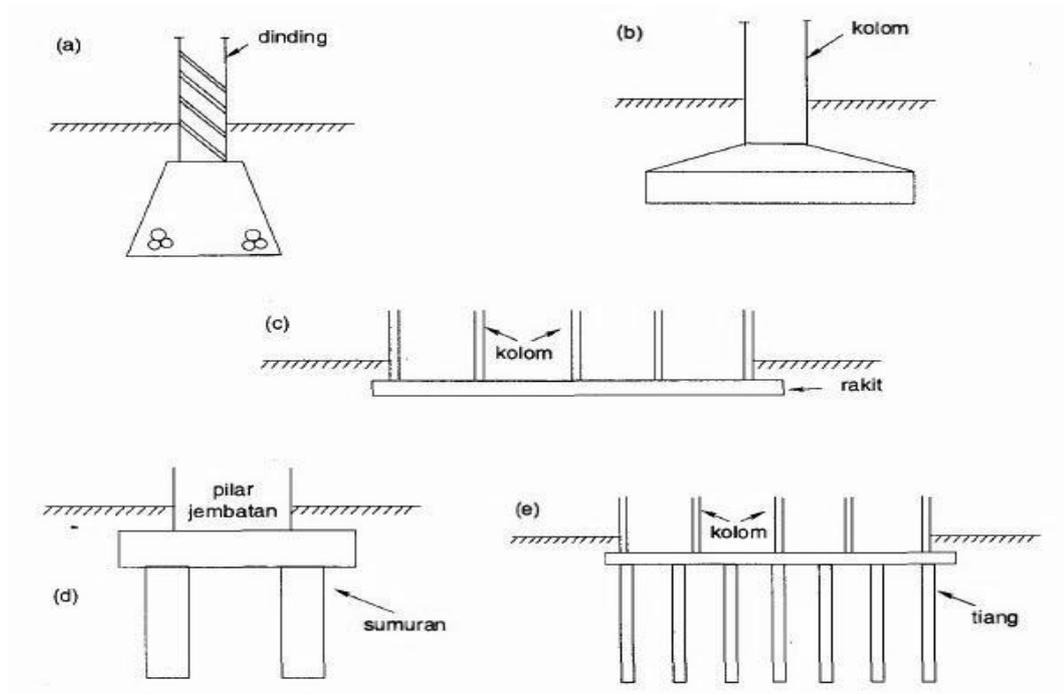
Gambar 2.3: Skema urutan pengujian penetrasi standar (SPT) (SNI 4153, 2008).

### 2.3. Pondasi

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

langsung, seperti: pondasi telapak, pondasi memanjang dan pondasi rakit. Pondasi dalam didefinisikan sebagai pondasi yang meneruskan beban bangunan ke tanah keras atau batu yang terletak relatif jauh dari permukaan, contohnya pondasi sumuran dan pondasi tiang. Macam-macam contoh tipe pondasi diberikan dalam Gambar 2.4 di bawah ini.

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 masalahmasalah 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 (1980) untuk memilih pondasi yang memadai, perlu diperhatikan apakah pondasi itu cocok untuk

berbagai keadaan dilapangan dan apakah pondasi itu memungkinkan untuk diselesaikan secara ekonomis sesuai dengan jadwal kerjanya. Bila keadaan tersebut ikut dipertimbangkan dalam menentukan macam pondasi, hal-hal berikut ini perlu dipertimbangkan:

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

Dari hal-hal diatas, jelas bahwa keadaan tanah pondasi pada urutan no1 yang merupakan keadaan paling penting dan perinciannya. Berikut ini adalah jenis-jenis pondasi yang sesuai dengan keadaan tanah pondasi yang bersangkutan (Sosrodarsono dan Nakazawa, 1980):

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

- 5) Bila tanah pendukung pondasi terletak pada kedalaman lebih dari 40 meter di bawah permukaan tanah, dalam hal ini yang paling baik adalah tiang baja dan tiang beton yang dicor di tempat.

#### **2.4. Pengertian Pondasi Tiang**

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

Dalam Tugas Akhir Harianti (2007) 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 runtuhnya dinding lubang bor atau sedimentasi lumpur menjadikan daya dukung ujung dari tiang bor tidak dapat diandalkan,
- g) Pelaksanaan pondasi tiang bor memerlukan waktu yang cukup lama.

## 2.5. Pelaksanaan Pondasi Tiang Bor

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

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

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

### 1. Penggalian lubang

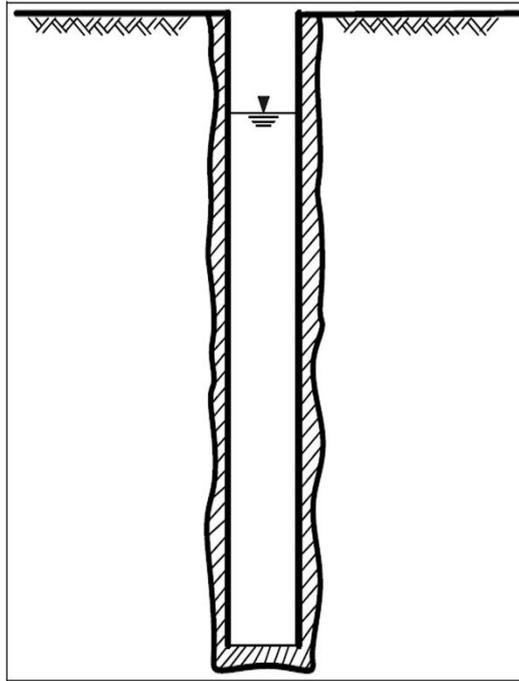
Penggalian lubang dilakukan dengan cara pengeboran tanah. Pengeboran diawali dengan menentukan posisi peralatan pengeboran dan melakukan pengeboran awal dengan metode kering hingga kedalaman tertentu.

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pelaksanaan pengeboran adalah:

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

Akibat dari penggalian lubang, maka:

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



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

Para ahli umumnya sependapat bahwa kedua peristiwa tersebut di atas akan mengakibatkan berkurangnya kekuatan geser tanah lempung. Untuk mengurangi pengaruh tersebut maka penting agar pengecoran beton dilaksanakan secepat mungkin setelah lubang dibuat. Sebagian ahli berpendapat bahwa penggunaan *bentonite* juga dapat mengurangi pengaruh tersebut. Hal lain yang perlu diperhatikan dalam pelaksanaan yaitu bahwa dasar lubang bor harus dibersihkan dahulu dari lumpur dan kotoran yang disebabkan oleh 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/cm<sup>2</sup>. Semua besi tulangan harus dipabrikasi secara akurat dan ukuran-ukurannya harus sesuai dengan gambar kerja (*shop drawing*). Tulangan tiang bor terdiri dari tulangan longitudinal (tulangan utama) dan tulangan transversal (sengkang). Prinsip utama penulangan longitudinal adalah untuk menahan tegangan akibat lentur dan tarik. Apabila tegangan lentur dan tegangan tarik diabaikan, maka tidak diperlukan tulangan utama kecuali diperlukan dalam spesifikasi. Umumnya, penulangan tiang bor akan maksimum pada daerah atas dan akan berkurang seiring dengan bertambahnya panjang. Tulangan longitudinal yang digunakan adalah tulangan ulir.

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

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

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

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

#### 4. Pengecoran beton

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

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

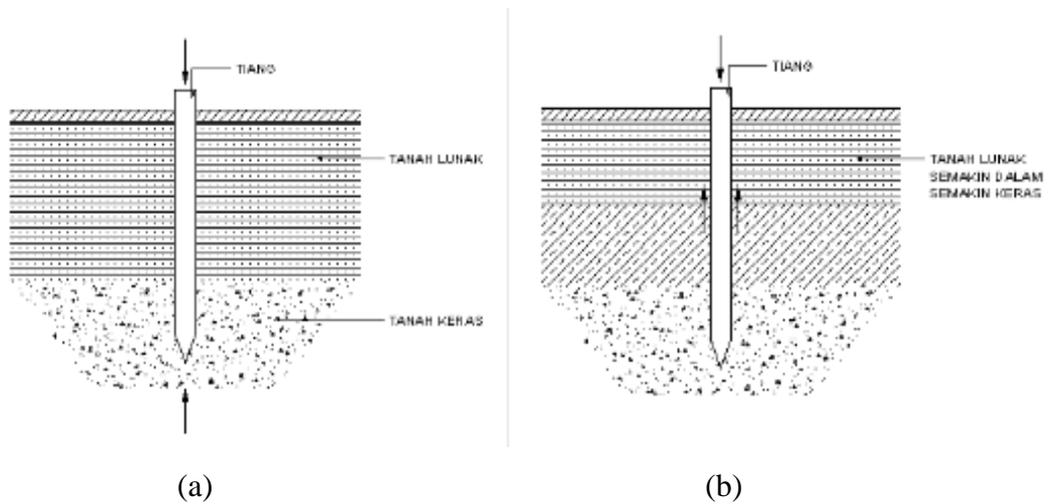
Hal penting pertama yang perlu diperhatikan adalah *workability* dari beton. *Workability* beton diperlukan agar beton dapat mendesak kotoran tanah yang berada didasar lubang ke atas serta dapat mendesak ke samping lubang. Biasanya diperlukan beton dengan slump >15cm. Hal kedua adalah agar beton tidak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

## **2.6. Kapasitas Daya Dukung**

### **2.6.1. Tiang Dukung Ujung dan Tiang Gesek**

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

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



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

### 2.6.2. Kapasitas daya dukung Pondasi Bored pile

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

1. Kekuatan ujung tiang
  - a. Kekuatan ujung tiang pada tanah non kohesif dapat ditentukan menggunakan Pers. 2.1 di bawah ini:

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

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

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

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

Dimana :

$A_p$  = Luas penampang tiang

$\sigma_o$  = Tegangan Efektif

$N_\sigma$  = Faktor Daya Dukung

Pada tabel 2.1 Metode vesic memberikan nilai ( $N_{\sigma}$ ) yang berdasarkan nilai dari  $Irr$  dan  $\phi$ , maka dapat ditentukan dengan Pers. 2.5:

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

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

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

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

Table 2.1: Faktor daya dukung ( $N_{\sigma}$ ) berdasarkan teori perluasan rongga.

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

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

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

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

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

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

Dimana:

$A_p$  = Luas Penampang Lingkaran

$C_U$  = Kohesi undrained

$N_c$  = Faktor daya dukung

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

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

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

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

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

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

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

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

1. Kekuatan selimut tiang

a. Kekuatan selimut tiang ( $\alpha$  Method) pada tanah kohesif dapat ditentukan menggunakan Pers. 2.12 di bawah ini:

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

Dimana:

$\alpha$  = Faktor adhesi

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

Faktor adhesi  $\alpha$  di evaluasi dengan Pers. 2.13 dan 2.14:

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

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

$p_a$  = Tekanan atmosfer 100 kN/m<sup>2</sup>

b. Kekuatan selimut tiang ( $\beta$  Method) pada tanah non kohesif dapat ditentukan menggunakan Pers. 2.15 di bawah ini:

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

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

Dimana:

$\sigma$  = Tegangan efektif

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

$p$  = Keliling Tiang Pondasi

$L$  = Kedalaman pondasi bored pile

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

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

### 2.6.3. Persamaan Daya Dukung Kelompok Tiang

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

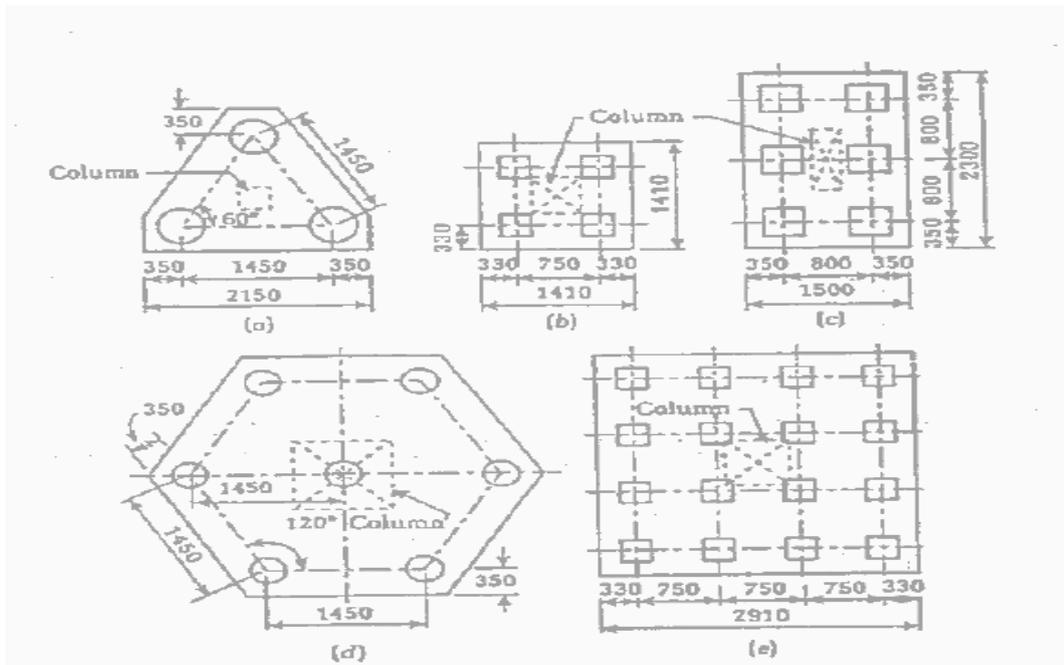
1. Apabila tiang tunggal tidak memiliki kemampuan kapasitas yang cukup untuk menahan beban kolom sehingga pada waktu instalasi yang dapat meleset dari posisinya sehingga dapat terjadi eksentrisitas terhadap pusat beban dari kolom dan ini akan menimbulkan momen tambahan, maka sebaiknya menggunakan kelompok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

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

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

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

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



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

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

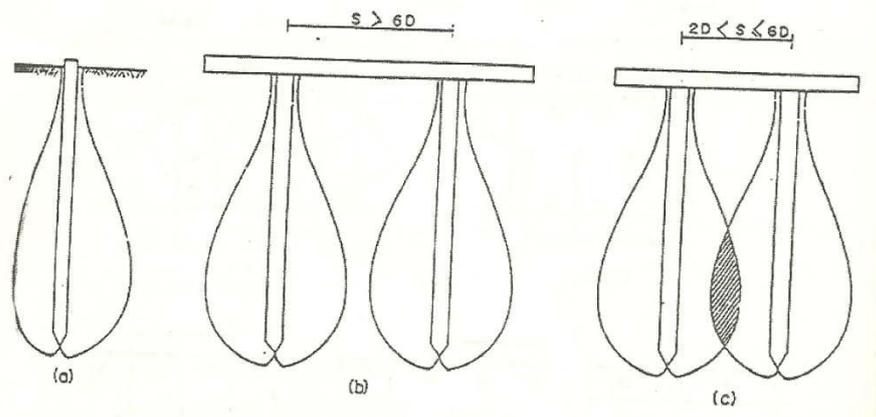
dikalikan lagi efisiensi group tiang, atau dapat dituliskan sebagai Pers. 2.18 berikut:

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

Dimana :

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

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



Gambar 2.8: Skematik Mobilisasi Tekanan yang Digambarkan Dalam Bentuk Diagram Tegangan Berupa Gelembung (Rekayasa Fundasi II : Fundasi Dangkal dan Fundasi Dalam, Gunadarma : Jakarta, 1997).

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

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

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

Dimana :

$\eta_g$  = Efisiensi kelompok tiang  $\theta = \text{Arc tan} (d/s)$  derajat

$s$  = Jarak antar tiang

$m$  = Jumlah tiang dalam deret baris

$n$  = Jumlah tiang dalam deret kolom

## 2.7. Faktor Keamanan

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## 2.8. Penurunan Tiang Elastis

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

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

Penurunan tiang tunggal akibat beban yang bekerja vertikal

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

Dimana :

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

$S_1$  = Penurunan batang tiang

$S_2$  = Penurunan tiang akibat beban titik

$S_3$  = Penurunan tiang akibat beban yang tersalur sepanjang batang

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

1. Menentukan  $S_1$

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

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

Dimana :

$QWP$  = Beban yang dipikul ujung tiang di bawah kondisi beban kerja

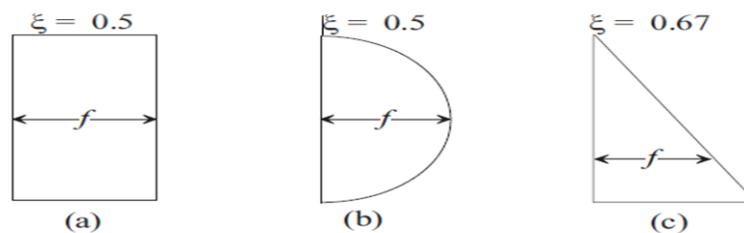
$QWS$  = Beban yang dipikul kulit tiang di bawah kondisi beban kerja

$Ap$  = Luas penampang tiang

$L$  = Panjang tiang

$Ep$  = Modulus Young bahan tiang

Besarnya  $\xi$  bergantung pada sifat distribusi tahanan kulit sepanjang batang tiang. Jika distribusi  $f$  adalah seragam atau parabola, seperti diperlihatkan pada Gambar 1(a) dan (b),  $\xi$  adalah 0.5. Namun untuk distribusi  $f$  dalam bentuk segitiga Gambar 1(c), nilai  $\xi$  sekitar 0.67 (Vesic, 1977).



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

2. Menentukan  $S_2$

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

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

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

Dimana :

$D$  = Lebar atau diameter tiang

$Q_{wp}$  = Beban titik per satuan luas ujung tiang

$E_s$  = Modulus Young tanah

$\mu_s$  = Nisbah Poisson tanah

$I_{wp}$  = Faktor pengaruh

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

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

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

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

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

Dimana :

$q_p$  = tahanan ujung batas tiang

$C_p$  = koefisien empiris

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

Tabel 2.7: Nilai Tipikal  $C_p$  (dari Design of Pile Foundation by A.S Vesic, 1977).

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

### 3. Menentukan $S_3$

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

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

Dimana :

$P$  = Keliling tiang

$L$  = Panjang tiang yang tertanam

$I_{ws}$  = Faktor pengaruh

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

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

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

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

Dimana:

$C_s$  = sebuah konstanta empiris

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

Nilai  $C_p$  dapat diperoleh dari Tabel 2.7.

## 2.9. Penurunan Tiang Kelompok

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

$$sg = s \cdot \sqrt{\frac{Bg}{D}} \quad (2. 31)$$

Dimana :

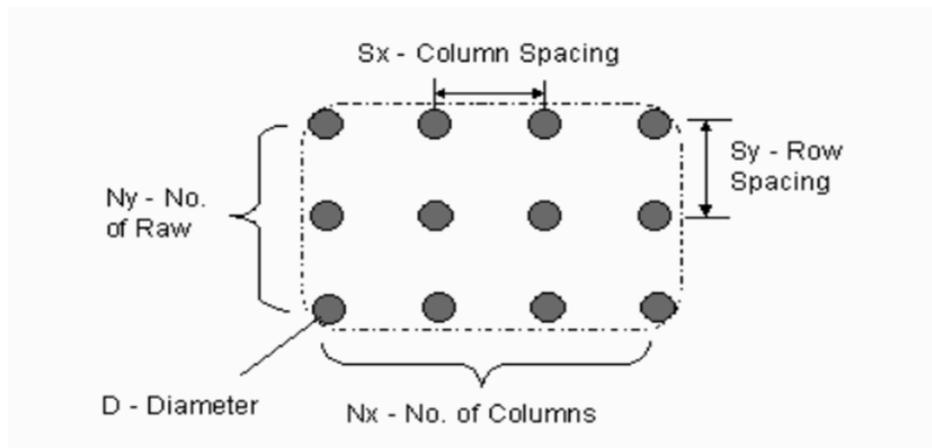
$sg$  = Penurunan elastik tiang kelompok

$s$  = Penurunan elastik tiang tunggal

$D$  = Diameter satu tiang dalam kelompok

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

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



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

## 2.10. Parameter Tanah

Parameter tanah adalah ukuran atau acuan untuk mengetahui atau menilai hasil suatu proses perubahan yang terjadi dalam tanah baik dari sifat fisik dan jenis tanah. Dengan mengenal dan mempelajari sifat-sifat tersebut, keputusan

yang diambil dalam perancangan akan lebih ekonomis. Karena sifat-sifat tersebut maka penting dilakukan penyelidikan tanah (*soil investigation*).

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

#### 1. Modulus Young (E)

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

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

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

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

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

## 2. Poisson's Ratio ( $\nu$ )

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

Tabel 2.10: Hubungan Jenis Tanah dan poisson ratio ( $\nu$ ) (Hardiyatmo, 1994).

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

## 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 ( $\gamma_{dry}$ )

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

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

Jenis Tanah	Angka Pori $e$	Kadar air dalam keadaan jenuh (%)	Berat isi tanah kering $\gamma_{dry}$	
			lb/ft <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>
Pasir lepas seragam	0.80	30	92	14.50
Pasir padat seragam	0.45	16	116	18
Pasir kelanauan lepas berbutir tajam/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 ( $\gamma_{sat}$ )

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. 32.

$$\gamma_{sat} = \gamma_{dry} + 9.8 \quad (2. 32)$$

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

Sudut geser dalam bersama dengan kohesi merupakan faktor dari kuat geser tanah yang menentukan ketahanan tanah terhadap deformasi akibat tegangan yang

bekerja pada tanah. Deformasi dapat terjadi akibat adanya kombinasi keadaan kritis dari tegangan normal dan tegangan geser. Nilai dari sudut geser dalam didapat dari *engineering properties* tanah, yaitu dengan *triaxial test* dan *direct shear test*.

#### 7. Sudut Dilatasi ( $\Psi$ )

Sudut dilatasi,  $\psi$  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. 33.

$$\Psi = \emptyset - 30^{\circ} \quad (2.33)$$

#### 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 2.12:

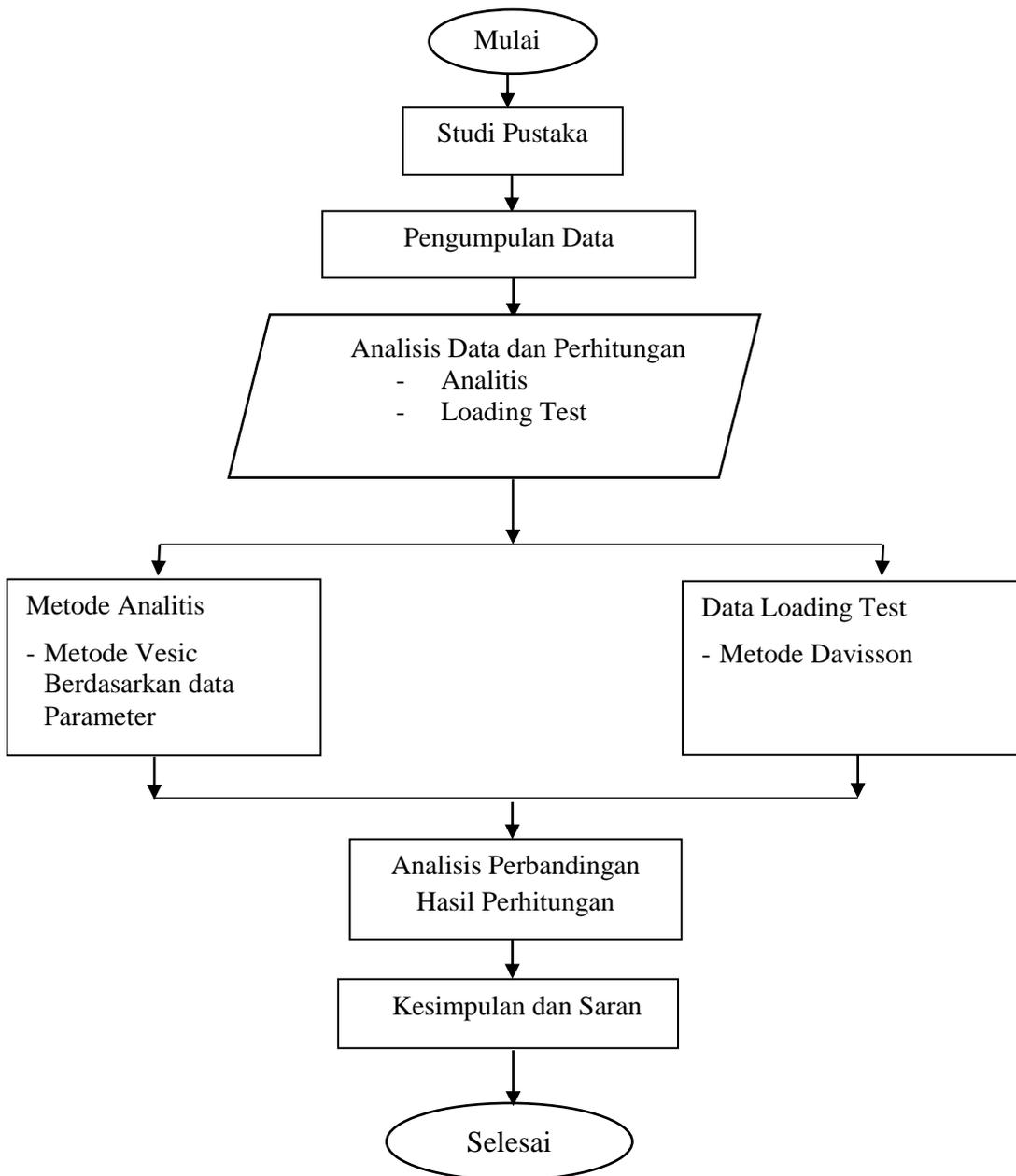
Tabel 2.12: Nilai koefisien *Permeabilitas* tanah (Braja,1995).

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

**BAB 3**  
**METODOLOGI PENELITIAN**

**3.1. Diagram Alir Penelitian**

Tahapan perencanaan dapat disajikan secara sistematis dalam Gambar 3.1 di bawah ini:

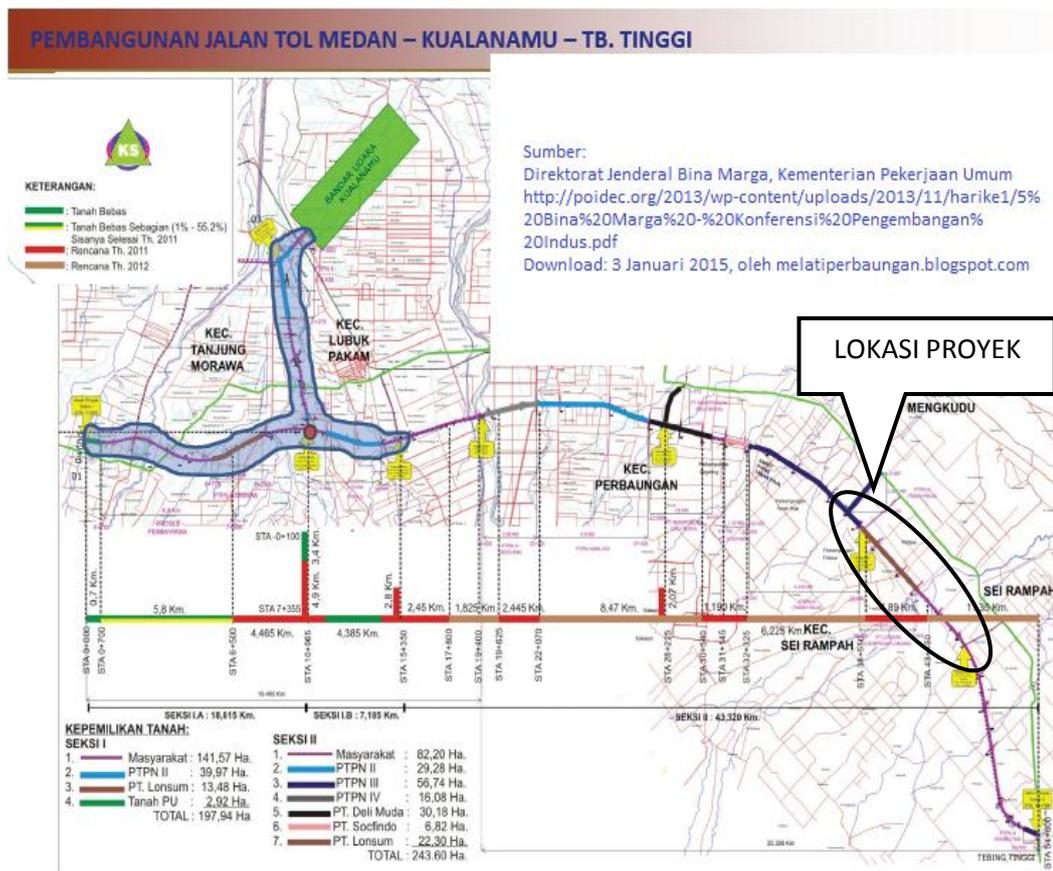


Gambar 3.1: Diagram Alir Penelitian.

### 3.2. Data Umum Proyek

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

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



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

### 3.3. Lokasi Titik Pengeboran

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



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



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



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

### 3.4. Pengumpulan Data

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

### 3.5. Analisis Data Tanah

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

Tabel 3.1: Data Hasil Pengeboran (BH1).

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

Tabel 3.2: Data Hasil Pengeboran (BH2).

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

Tabel 3.3: Data Hasil Pengeboran (BH3).

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

### 3.6. Analisis Parameter Tanah

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

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

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

2. Untuk modulus elastisitas ( $E$ ) diambil dari nilai perkiraan modulus elastisitas tanah dapat dilihat pada Tabel 2.8 dan Tabel 2.9, yaitu dengan cara mengkorelasikan nilai SPT dan konsistensi tanah terhadap modulus elastisitas. Nilai modulus elastisitas di konversikan kedalam satuan  $\text{kN/m}^2$ .
3. Untuk angka poisson ( $\nu$ ), diambil dari hubungan jenis tanah, konsistensi dan poisson ratio ( $\nu$ ) yaitu pada Tabel 2.10.
4. Untuk sudut geser dalam ( $\phi$ ) nilai diambil dari Tabel 2.9 dengan cara mengkorelasikan nilai N-SPT.
5. Berat isi tanah kering ( $\gamma_{\text{dry}}$ ) diambil dari Tabel 2.11 yaitu korelasi antara jenis tanah dengan berat isi tanah kering.
6. Berat isi tanah jenuh ( $\gamma_{\text{sat}}$ ) dihitung dengan Pers.2.32 yaitu menjumlahkan nilai berat isi kering ( $\gamma_{\text{dry}}$ ) dengan 9.8.
7. Untuk nilai kohesi ( $c$ ) diperoleh dari percobaan laboratorium yang dilakukan oleh pihak kontraktor atau bisa juga dengan nilai pendekatan (korelasi) dari Tabel 2.4.
8. Sudut Dilatasi diperoleh dengan menggunakan Pers.2.33.

Tabel 3.4: Parameter BH 1

No.	Parameter	simbol	Lapisan						satuan
			Lap 1	Lap 2	Lap 3	Lap 4	Lap 5	Lap 6	
2	Model material	-	Mohr Coulomb	-					
3	Jenis perilaku	-	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	-
4	Berat isi tanah di atas garis freatik	$\gamma_{dry}$	12.50	14.50	18	18	18	18	kN/m <sup>3</sup>
5	Berat isi tanah di bawah garis freatik	$\gamma_{sat}$	22.3	24.3	27.8	27.8	27.8	27.8	kN/m <sup>3</sup>
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	11376	15926	44000	44000	44000	44000	kN/m <sup>2</sup>
9	Angka Poisson	$\nu$	0.20	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	-
10	Kohesi	c	1	1	1	1	1	1	kN/m <sup>2</sup>
11	sudut geser dalam	$\phi$	34	32	38	41	41	41	°
12	sudut dilatansi	$\psi$	4	2	8	11	11	11	°

Tabel 3.5: Parameter Tanah BH-2.

No.	Parameter	simbol	Lapisan						satuan
			Lap 1	Lap 2	Lap 3	Lap 4	Lap 5	Lap 6	
2	Model material	-	Mohr Coulomb	-					
3	Jenis perilaku	-	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	-
4	Berat isi tanah di atas garis freatik	$\gamma_{dry}$	16	18	18	18	18	18	kN/m <sup>3</sup>
5	Berat isi tanah di bawah garis freatik	$\gamma_{sat}$	25.8	27.8	27.8	27.8	27.8	27.8	kN/m <sup>3</sup>
6	Permeabilitas arah horizontal	$K_x$	1.150E-09	1.150E-07	1.150E-07	1.150E-07	1.150E-09	1.150E-07	m/hari
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	7584	37176	28061	44126	44126	44126	kN/m <sup>2</sup>
9	Angka Poisson	$\nu$	0.30	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	-
10	Kohesi	c	1	1	1	1	1	1	kN/m <sup>2</sup>
11	sudut geser dalam	$\phi$	30	40	41	41	41	41	°
12	sudut dilatansi	$\psi$	0	10	11	11	11	11	°

Tabel 3.6: Parameter Tanah BH-3.

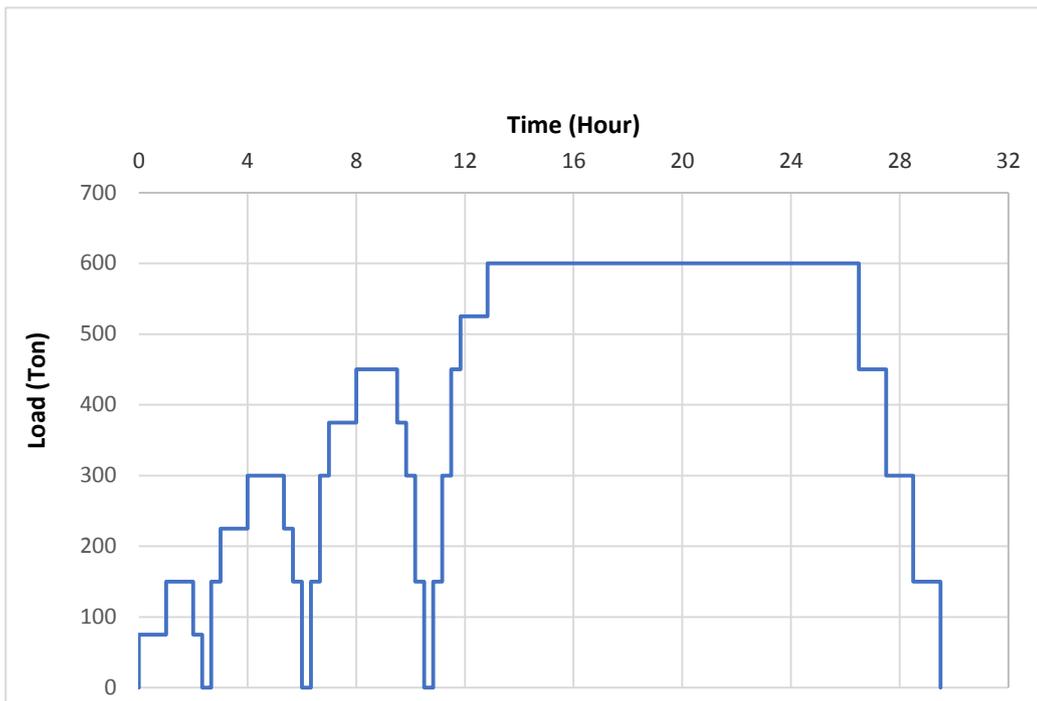
No.	Parameter	simbol	Lapisan						satuan
			Lap 1	Lap 2	Lap 3	Lap 4	Lap 5	Lap 6	
2	Model material	-	Mohr Coulomb	-					
3	Jenis perilaku	-	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	-
4	Berat isi tanah di atas garis freatik	$\gamma_{dry}$	11.5	14.5	18	18	18	18	kN/m <sup>3</sup>
5	Berat isi tanah di bawah garis freatik	$\gamma_{sat}$	21.3	24.3	27.8	27.8	27.8	27.8	kN/m <sup>3</sup>
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	6825	33370	44126	44126	44126	44126	kN/m <sup>2</sup>
9	Angka Poisson	$\nu$	0.30	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	-
10	Kohesi	c	1	1	1	1	1	1	kN/m <sup>2</sup>
11	sudut geser dalam	$\phi$	30	39	41	41	41	41	°
12	sudut dilatasi	$\psi$	0	9	11	11	11	11	°

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

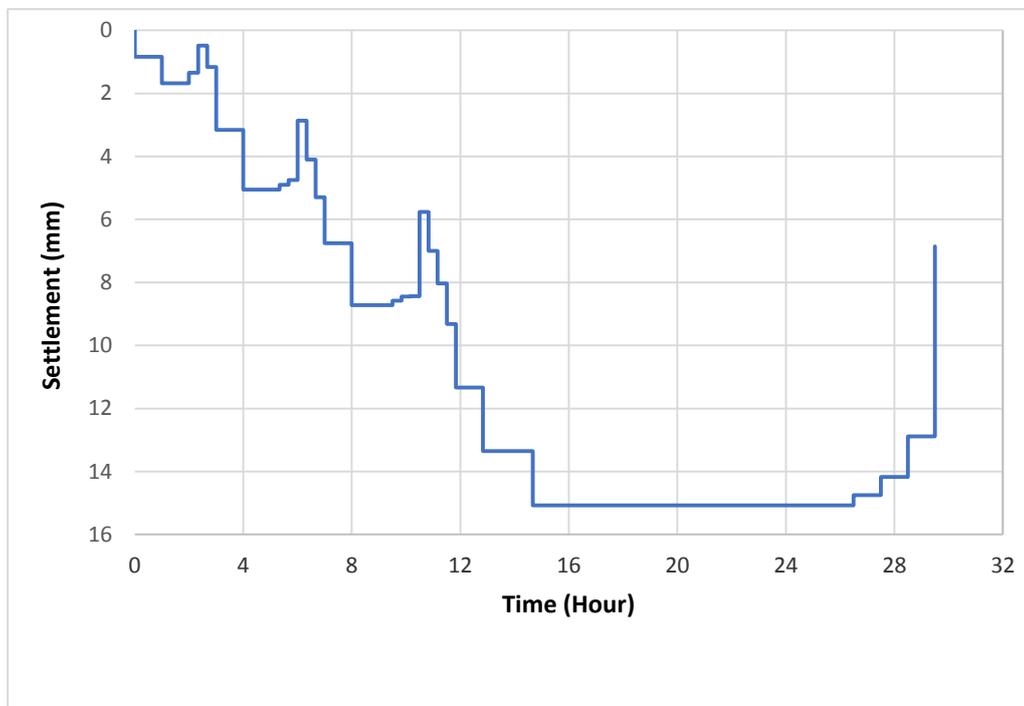
Hasil dari pengujian pembebanan dan besarnya penurunan dapat dilihat pada Tabel 3.4 dan Gambar 3.6 dalam bentuk kurva. Gambar 3.5 menunjukkan tahapan pembebanan dan lama waktu pembebanan untuk 4 siklus, sedangkan Gambar 3.7 menunjukkan kurva penurunan tekan, penurunan elastis dan penurunan tekan permanen pada 4 siklus pembebanan.

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

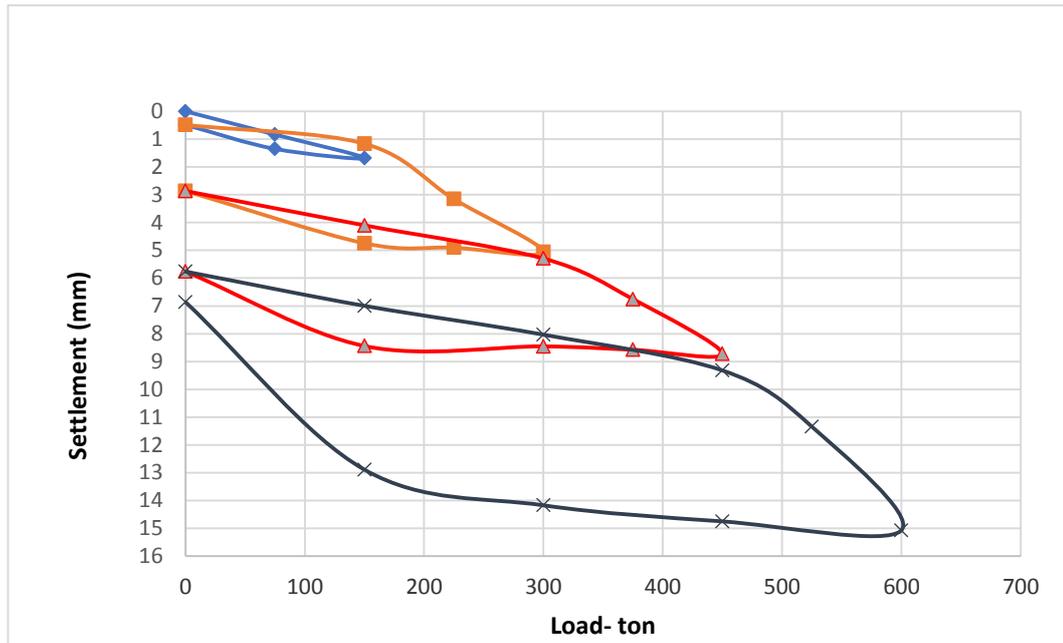
Siklus	Beban		Penurunan (mm)
	Ton	%	
1	0	0	0
	75	25%	0,835
	150	50%	1,68
	75	25%	1,35
2	0	0%	0,4875
	150	50%	1,165
	225	75%	3,1575
	300	100%	5,0575
	225	75%	4,9025
	150	50%	4,745
3	0	0%	2,865
	150	50%	4,1
	300	100%	5,2925
	375	125%	6,7525
	450	150%	8,72
	375	125%	8,575
	300	100%	8,4525
	150	50%	8,44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



Gambar 3.7: Grafik siklus penurunan dengan waktu.



Gambar 3.8: 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

### ANALISA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Perhitungan Daya Dukung Menggunakan Data Parameter

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

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

Diameter (D) = 100 cm = 1 m

Luas selimut tiang pondasi (p)

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

Luas penampang tiang pondasi ( $A_p$ )

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

Faktor keamanan (SF)

Ujung = 3

Geser = 3

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

- Kedalaman 2 m

Daya dukung ujung tiang

$$A_p = 0,785$$

$$C_U = 186,98$$

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

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

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

Daya dukung geser selimut tiang

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

Daya dukung Ultimate

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

Daya dukung ijin

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

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

- Kedalaman 6 m

Daya dukung ujung tiang

$$A_p = 0,785$$

$$q' = 66$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Daya dukung geser selimut tiang

$$p = 3,14$$

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

$$\sigma_0 = 41,4$$

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

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

Daya dukung Ultimate

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

Daya dukung ijin

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

Untuk perhitungan daya dukung lengkapnya dapat dilihat pada tabel 4.1

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

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

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

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

Diameter (D) = 100 cm = 1 m

Luas selimut tiang pondasi (p)

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

Luas penampang tiang pondasi (Ap)

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

Faktor keamanan (SF)

Ujung = 3

Geser = 3

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

- Kedalaman 2 m

Daya dukung ujung tiang

$$A_p = 0,785$$

$$C_u = 17,83$$

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

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

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

Daya dukung geser selimut tiang

$$\alpha = 0,55$$

$$C_u = 17,83$$

$$Q_s = \alpha \cdot C_u$$

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

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

Daya dukung Ultimate

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

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

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

Daya dukung ijin

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

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

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

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

- Kedalaman 6 m

Daya dukung ujung tiang

$$A_p = 0,785$$

$$q' = 58$$

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

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

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

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

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

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

$$= 0,18$$

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

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

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

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

Maka:

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

Daya dukung geser selimut tiang

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

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

Daya dukung Ultimate

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

Daya dukung ijin

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

Untuk perhitungan daya dukung lengkapnya dapat dilihat pada tabel 4.2

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

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

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

### 4.1.3. Perhitungan Pada Titik BH-3

Diameter (D) = 100 cm = 1 m

Luas selimut tiang pondasi (p)

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

Luas penampang tiang pondasi (Ap)

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

Faktor keamanan (SF)

Ujung = 3

Geser = 3

Daya dukung ujung tiang dan geser selimut tiang pada tanah kohesif

- Kedalaman 2 m

Daya dukung ujung tiang

$$A_p = 0,785$$

$$C_u = 17,83$$

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

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

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

Daya dukung geser selimut tiang

$$\alpha = 0,55$$

$$C_u = 17,83$$

$$\begin{aligned} Q_s &= \alpha \cdot C_u \\ &= 0,55 \times 17,83 \\ &= 61,61 \text{ kN} \end{aligned}$$

Daya dukung Ultimate

$$\begin{aligned} Q_{ult} &= Q_p + Q_s \text{ (komulatif)} \\ &= 117,4 + 61,61 \\ &= 179,03 \text{ kN} = 17,9 \text{ ton} \end{aligned}$$

Daya dukung ijin

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

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

- Kedalaman 6 m

Daya dukung ujung tiang

$$A_p = 0,785$$

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

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

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

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

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

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

$$I_r = \frac{E_s}{2(1 + \mu_s)q' \tan \phi}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{21000}{2 \times (1 + 0,18) \times 58 \times \tan 30} \\
&= 265,7 \\
I_{rr} &= \frac{I_r}{1 + I_r \cdot \Delta} \\
&= \frac{265,7}{1 + 265,7 \times 0,00218} \\
&= 168,2
\end{aligned}$$

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

Maka:

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

Daya dukung geser selimut tiang

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

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

Daya dukung Ultimate

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

Daya dukung ijin

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

Untuk perhitungan daya dukung lengkapnya dapat dilihat pada tabel 4.3

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

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

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

## 4.2. Perhitungan Daya Dukung Kelompok Tiang

### 4.2.1. Perhitungan Pada Titik BH 1

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

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

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

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

#### 4.2.2. Perhitungan Pada Titik BH 2

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

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

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

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

#### 4.2.3. Perhitungan Pada Titik BH 3

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

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

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

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

### 4.3. Perhitungan Penurunan Elastis (Elastic Settlement)

#### 4.3.1. Perhitungan Pada Titik BH 1

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

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

Modulus elastisitas di sekitar tiang ( $E_s$ )

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

Menentukan modulus elastisitas tanah di dasar tiang

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

Menentukan modulus elastisitas dari bahan tiang

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

Menentukan penurunan batang tiang

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

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

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

Menentukan penurunan tiang akibat beban di ujung tiang

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

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

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

Menentukan penurunan tiang akibat beban yang tersalurkan sepanjang tiang

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

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

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

Maka penurunan total (s) titik BH1:

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

Menentukan penurunan tiang kelompok

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

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

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

### 4.3.2. Perhitungan Pada Titik BH 2

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

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

Modulus elastisitas di sekitar tiang ( $E_s$ )

$$\begin{aligned} E_s &= 2,5 \times q_c \\ &= 2,5 \times 240 = 600 \text{ kg/cm}^2 = 60 \text{ mpa} = 60000 \end{aligned}$$

Menentukan modulus elastisitas tanah di dasar tiang

$$\begin{aligned} E_b &= 10 \times E_s \\ &= 10 \times 60 \text{ mpa} = 600 \text{ mpa} = 600000 \end{aligned}$$

Menentukan modulus elastisitas dari bahan tiang

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

Menentukan penurunan batang tiang

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

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

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

Menentukan penurunan tiang akibat beban di ujung tiang

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

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

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

Menentukan penurunan tiang akibat beban yang tersalurkan sepanjang tiang

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

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

$$\begin{aligned} S_3 &= \left[ \frac{613,3}{(3,14) \times (15)} \right] \times \left( \frac{1}{60000} \right) \times (1 \times 0,35^2) \times 3,35 = 0,000766 \text{ cm} \\ &= 0,76 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka penurunan total (s) titik BH 2:

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

Menentukan penurunan tiang kelompok

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

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

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

### 4.3.3. Perhitungan Pada Titik BH 3

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

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

Modulus elastisitas di sekitar tiang ( $E_s$ )

$$\begin{aligned} E_s &= 2,5 \times q_c \\ &= 2,5 \times 240 = 600 \text{ kg/cm}^2 = 60 \text{ mpa} = 60000 \end{aligned}$$

Menentukan modulus elastisitas tanah di dasar tiang

$$\begin{aligned} E_b &= 10 \times E_s \\ &= 10 \times 60 \text{ mpa} = 600 \text{ mpa} = 600000 \end{aligned}$$

Menentukan modulus elastisitas dari bahan tiang

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

Menentukan penurunan batang tiang

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

$$Q_{wp} = Q_b - Q_s = 2709,62 - 625 = 2084,7$$

$$S_1 = \frac{(2084,7 + 0,5 \times (625)) \times 15}{0,79 \times 25742960} = 0,004690 \text{ cm} = 4,69 \text{ mm}$$

Menentukan penurunan tiang akibat beban di ujung tiang

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

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

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

Menentukan penurunan tiang akibat beban yang tersalurkan sepanjang tiang

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

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

$$S_3 = \left[\frac{625}{(3,14) \times (15)}\right] \times \left(\frac{1}{60000}\right) \times (1 \times 0,35^2) \times 3,35 = 0,000740 \text{ cm} \\ = 0,74 \text{ mm}$$

Maka penurunan total (s) titik BH3:

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

Menentukan penurunan tiang kelompok

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

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

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

#### 4.4. 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.

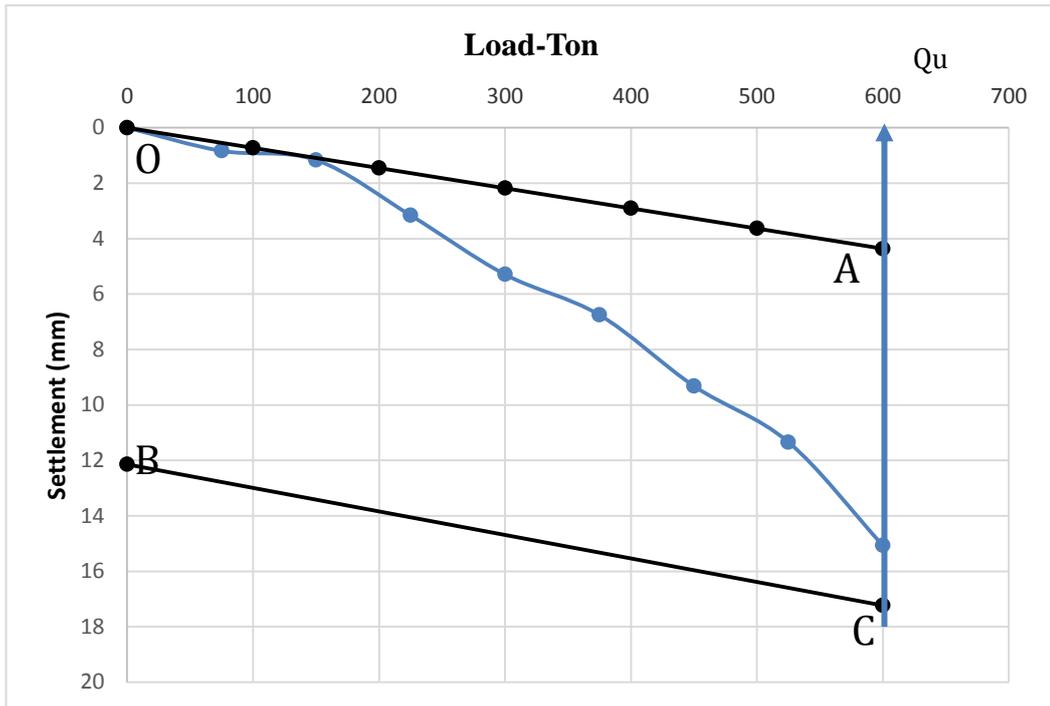
- a. Gambarkan kurva beban-penurunan.
- b. Tentukan penurunan elastis dari tiang dengan Pers. 2.15

$$\Delta = \frac{5880 \times 15}{0.785 \times 25742900} = 0.00436 \text{ m} = 4.36 \text{ mm}$$

- 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 4.4: 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.

Tabel 4.4: Perbandingan daya dukung ultimate.

Titik	Panjang tiang (m)	Metode Analitis	Loading Test	Analitis dan Davisson	Kelompok tiang (ton)
		Vesic (Ton)	Davisson (Ton)	(%)	
BH-1	15	676	600	12,667	19.977
BH-2	15	648	600	8,000	19.153
BH-3	15	640	600	6,667	18.909
Rata -Rata				9,111	19.346

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Dari hasil analisis, dapat di ambil kesimpulan:

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

Analitis	<i>Loading Test</i>
- BH 1 = 676 ton	BH 1 = 600 ton
- BH 2 = 648 ton	BH 2 = 600 ton
- BH 3 = 640 ton	BH 3 = 600 ton

Dari hasil perhitungan ada selisih perbandingan antara metode analitis dan *Loading Test* yaitu BH 1 = 12.667 %, BH 2 = 8,00 %, dan BH 3 = 6.667 %.

2. Penurunan tiang tunggal yang terjadi pada ketiga titik dengan panjang tiang 15 m adalah:

Penurunan elastis	penurunan <i>Loading test</i>
- BH 1 = 12,62 mm	BH 1 = 15,07 mm
- BH 2 = 13,11 mm	BH 2 = 15,07 mm
- BH 3 = 12,98 mm	BH 3 = 15,07 mm

3. Maka selisih perbandingan antara penurunan elastis dan penurunan menggunakan metode *Loading Test*, BH-1= 19,41 %, BH-2= 14,95 %, dan BH-3= 16,10 %.

## 5.2. Saran

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

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

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

## DAFTAR PUSTAKA

- Das, B. M. (2007) *Principles of Foundation Engineering, SI*, Seventh, Edition United States of America: ©2011, 2007 Cengage Learning.
- Das, B. M. (2007) *Principles of Foundation Engineering*, Sixth Edition, North America: © 2007 by Nelson.
- Das, B. M. (1995) *Mekanika Tanah (Prinsi-prinsip Rekayasa Geoteknik)*, Jilid 1, Jakarta: Erlangga.
- Bowles, J. E. (1997) *Analisis Dan Desain Pondasi*, Edisi Keempat Jilid 1, Jakarta: Erlangga.
- Hardiyatmo, H. C. (2002) *Mekanika Tanah I*, Edisi Ketiga, Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. (2002) *Mekanika Tanah II*, Edisi Ketiga, Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. (1996) *Teknik Pondasi I*, Jakarta: PT.Gramedia Pustaka Utama.
- Hardiyatmo, H. C. (2008) *Teknik Pondasi II*, Edisi Keempat, Jakarta: PT.Gramedia Pustaka Utama.
- SNI 4153. (2008) *Cara Uji Penetrasi Lapangan Dengan SPT*.
- SNI 2827. (2008) *Cara Uji Penetrasi Lapangan Dengan Alat Sondir*.
- Sosrodarsono, S. dan Nakazawa, K. (2000) *Mekanika Tanah Dan Teknik Pondasi*, Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Hariato, E. (2007) *Analisa Daya Dukung Pondasi Tiang Bor Menggunakan Software Shaft1 Dan Uji Beban Statis (Studi Kasus Tiang Uji TP-4 Dan TP-5*

*Pada Proyek Grand Indonesia Di Jakarta*). Tugas Akhir S1 Unniversitas Katolik Soegijapranata.

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

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

Bridge Menagemen System. (1992) *Desain Of Pile Foundation*, Indonesia dan Australia.

Bakker, K. J, dkk. (2007) *Plaxis Tutorial Manual*, 2D Version 8, Delft, Netherlands: Plaxis b.v.