

**PERBANDINGAN KENAIKAN TEGANGAN TANAH DENGAN DATA
TAHANAN KONUS PADA GEDUNG BIOTEK FAKULTAS
PERTANIAN UNIVERSITAS ISLAM RIAU**

skripsi

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Meraih Gelar Sarjana

Pada Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil

Universitas Islam Riau

Pekanbaru



OLEH :

RIZA NURROHIM

153110320

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS ISLAM RIAU

PEKANBARU

2020

HALAMAN PERSETUJUAN

TUGAS AKHIR

**PERBANDINGAN KENAIKAN TEGANGGAN TANAH DENGAN DATA
TAHANAN KONUS PADA GEDUNG BIOTEK FAKULTAS
PERTANIAN UNIVERSITAS ISLAM RAIU**

DISUSUN OLEH

**RIZA NURROHIM
NPM. 153110320**

Diperiksa dan Disetujui oleh :

**Dr. Anas Puri, ST., MT
Pembimbing**



.....
Tanggal : 24-04-2020

HALAMAN PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

**PERBANDINGAN KENAIKAN TEGANGGAN TANAH DENGAN DATA
TAHANAN KONUS PADA GEDUNG BIOTEK FAKULTAS
PERTANIAN UNIVERSITAS ISLAM RIAU**

DISUSUN OLEH :

**RIZA NURROHIM
NPM. 153110320**

**Telah Disetujui Didepan Dewan Penguji Tanggal 03 Februari 2020
Dan Dinyatakan Telah Memenuhi Syarat Untuk Diterima**

SUSUNAN DEWAN PENGUJI



**Dr. Anas Puri, ST., MT.
Dosen Pembimbing**



**Ir. H. Rony Ardiansyah, MT
Dosen Penguji**



**Roza Mildawati, ST., MT
Dosen Penguji**



**Dr. Eng. Muslim, ST., MT.
Dekan**

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan :

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademi (Strata Satu) di Universitas Islam Riau
2. Karya tulis ini merupakan gagasan, rumusan penelitian saya sendiri tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan dosen pembimbing dan penguji.
3. Dalam karya ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Penggunaan *software* komputer bukan menjadi tanggung jawab Universitas Islam Riau
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan tidak kebenaran dalam pernyataan ini maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di Perguruan Tinggi.

Pekanbaru, 03 Februari 2020

Pemberi Pernyataan



Riza Nurrohim

NPM. 153110320

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarokatuh

Hanya dengan kerendahan hati penulis mengucapkan puji syukur kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan nikmat iman dan islam yang diiringi dengan ilmu pengetahuan yang menjadi modal bagi manusia, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

Dalam penyelesaian tugas akhir ini awalnya dimulai dari kondisi dari sebuah tanggung jawab sebagai seorang mahasiswa yang akan menyelesaikan studinya dibangku perkuliahan. Kemudian kondisi dan tanggung jawab penulis menyelesaikan tugas akhir pada program studi Teknik Sipil S1 Fakultas Teknik Universitas Islam Riau yang berjudul **“Perbandingan Kenaikan Tegangan Tanah Dengan Data Tahanan Konus Pada Gedung Biotek Fakultas Pertanian Universitas Islam Riau”**.

Dalam analisa tugas akhir ini penulis ingin melakukan analisa kenaikan tegangan di dalam tanah akibat gedung di atasnya yang akan dibandingkan dengan data qc dari uji sondir. Kenaikan tegangan yang diperhitungkan adalah kenaikan tegangan veretikal tanah.

Akhir kata penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dan penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua dan menjadi bahan masukan dalam dunia pendidikan.

Pekanbaru, 03 Februari 2020

Penulis

UCAPAN TERIMAKASIH

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarokatuh

Dengan mengucapkan alhamdulillah, segala puji dan syukur kehadiran Allah SWT, yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Penulisan tugas akhir ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.

Tugas akhir ini merupakan proses kerja mandiri sehingga sangat terasa betapa besar arti bantuan dari pihak lain dalam pengumpulan data, pencarian literatur dan berbagai bantuan lainnya. Tanpa bantuan dari pihak lain akan sulit untuk menyelesaikan tugas akhir ini.

Selanjutnya melalui tulisan ini dengan segala kerendahan dan ketulusan hati penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Prof. Dr. H. Syafrinaldi, SH., MCL selaku Rektor Universitas Islam Riau.
2. Bapak Dr. Eng Muslim, ST., MT selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
3. Ibu Dr. Kurnia Hastuti, ST., MT selaku Wakil Dekan I Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
4. Bapak Ariyon, ST., MT selaku Wakil Dekan II Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
5. Bapak Ir. Syawaldi, MSc selaku Wakil Dekan III Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
6. Ibu Dr. Elizar, ST., MT selaku ketua Program Studi Fakultas Teknik Sipil Universitas Islam Riau.
7. Bapak Firman Syarif, ST., MEng selaku Sekretaris Program Studi Fakultas Teknik Sipil Universitas Islam Riau.
8. Bapak Dr. Anas Puri, ST., MT selaku Dosen Pembimbing.
9. Ir. Rony Ardiansyah, MT., I-PU selaku Dosen Penguji.
10. Roza Mildawati, ST., MT selaku Dosen Penguji.

11. Seluruh Dosen Teknik Sipil Universitas Islam Riau.
 12. Kepala Tata Usaha beserta seluruh staf dan karyawan Fakultas Teknik Sipil Universitas Islam Riau.
 13. Kepada CV.MOMENT AREA terutama kepada bapak rony dan buk yuli yang telah memberikan data untuk penelitian ini dan telah mau berdiskusi tentang permasalahan dalam penentuan penelitian untuk skripsi saya.
 14. Ayahanda Marwono dan Ibunda Wartini yang telah mendidik saya dari kecil dan tiada hentinya memberikan semangat dan do'a yang terbaik untuk ku dan keluarga.
 15. Mas Azis Jaya Rhomandona adek Rahma Suciati dan Anisa Marwa Anafq telah menjadi saudra yang hebat dan juga kepada seluruh sanak saudara yang telah memberikan semangat.
 16. Teman-teman ku Teknik Sipil UIR angkatan 2015 terutama D'reborn dan grub WA engginer semoga selalu kompak.
 17. Kepada senior dan junior Teknik Sipil UIR yang tidak bisa disebut satu persatu.
 18. Kepada teman-teman yang selalu menanyakan skripsi ku telah sampai mana dan memaksa untuk melawan rasa malas ku.
- Akhir kata penulis mendo'akan agar Allah SWT memberikan balasan yang melimpah atas bantuan yang telah diberikan kepada saya, aamiin.

Pekanbaru, 03 Febuari 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN	
SURAT PERNYATAAN	
KATA PENGANTAR.....	i
UCAPAN TERIMAKASIH.....	ii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR NOTASI.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
ABSTRAK	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	2
1.4. Manfaat Penelitian	2
1.5. Batasan Masalah	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1. Umum	4
2.2. Penelitian Terdahulu.....	4
2.2. Perbedaan Penelitian.....	7
BAB III LANDASAN TEORI.....	8
3.1. Pondasi.....	8
3.1.1. Jenis-Jenis Pondasi	8
3.1.2. Jenis-Jenis Pondasi Sumuran/Pondasi Kaison	9
3.2. Tanah	11
3.2.1. Jenis Tanah.....	11
3.2.2. Sifat-Sifat Tanah	13

3.2.3. Penyelidikan Tanah.....	14
3.2.4. Memprediksi Klasifikasi Tanah Dengan CPT (<i>Cone Penetration Test</i>).....	15
3.2.5. Parameter Tanah.....	17
3.2.6. Kekuatan Tanah.....	24
3.3. Pembebanan.....	25
3.4. Kenaikan Tegangan Di Dalam tanah.....	26
3.4.1. Beban Titik.....	26
3.4.2. Beban Lingkaran.....	28
3.6. Metode Elemen Hingga.....	29
3.6.1. Pemodelan Pada Program Plaxis.....	30
3.6.2. Model Tanah Mohr-Coulomb.....	31
3.6.3. Model elemen struktur.....	31
BAB IV METODE PENELITIAN.....	33
4.1. Lokasi Penelitian.....	33
4.2. Alat Penelitian.....	33
4.3. Tahapan Pelaksanaan Penelitian.....	34
4.4. Cara Analisis.....	36
BAB V HASIL ANALISA DAN PEMBAHASAN.....	37
5.1. Gambaran Umum.....	37
5.2. Hasil Pengolahan Data.....	39
5.2.1 Hasil klasifikasi jenis tanah berdasarkan data CPT.....	39
5.2.2. Hasil analisa beban yang bekerja.....	42
5.2.3. Hasil analisa kenaikan tegangan vertikal.....	44
5.2.5 Hasil Analisa Metode Elemen Hingga (MEH).....	53
5.2.7. Hasil analisa kekuatan tanah.....	58
5.2.8. Perbandingan Nilai Tegangan Yang Terjadi Dan Kekuatan Izin Tanah.....	60

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....	68
6.1. Kesimpulan	68
6.2. Saran	68
DAFTAR PUSTAKA.....	70
LAMPIRAN	



Dokumen ini adalah Arsip Miik :
Perpustakaan Universitas Islam Riau

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Hasil pengujian geser langsung kondisi basah.....	6
Tabel 2. 2 Hasil pengujian geser langsung kondisi kering.....	7
Tabel 3. 1 Berat Isi Tanah (Das, 1995)	18
Tabel 3. 2 Nilai Tipikal Berat Volume Tanah (John Wiley & Sons, 2000).....	19
Tabel 3. 3 Hubungan Es dengan qc (Das, 1995).....	19
Tabel 3. 4 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah (Bowles, 1991)	20
Tabel 3. 5 Hubungan Antara Jenis Tanah dengan Poisson Ratio (Das, 1995).....	21
Tabel 3. 6 Hubungan Antara Sudut Geser Dalam dengan jenis Tanah (Das, 1995)	21
Tabel 3. 7 Harga-harga yang umum dari sudut geser internal kondisi drained untuk tanah pasir dan lanau (Das, 1995)	22
Tabel 3. 8 Nilai koefisien permeabilitas tanah (Das, 1995).....	23
Tabel 3. 9 Nilai-nilai beban hidup PPPURG, 1987 (SKBI).....	25
Tabel 3. 10 Nilai-nilai beban mati PPPURG, 1987 (SKBI).....	25
Tabel 5. 1 Perkiraan Jenis Tanah Pada titik S1	40
Tabel 5. 2 Perkiraan Jenis Tanah Pada titik S2.....	41
Tabel 5. 3 Hasil Analisa Beban Pada AS Beban Yang Menerima Beban Aksial Maksimum (AS D8 untuk PS1 dan AS D'4 untuk PS2).	43
Tabel 5. 4 Nilai kenaikan tegangan vertikal di bawah pusat pondasi AS D8 (PS1(S2)).	50
Tabel 5. 5 Nilai kenaikan tegangan vertikal di bawah pusat pondasi AS D'4 (PS2,S1).....	51
Tabel 5. 6 Parameter tanah.....	54
Tabel 5. 7 Parameter Struktur Pondasi.....	54
Tabel 5. 8 Hasil rekapitulasi nilai tegangan pada tanah hasil ouput plaxis.....	55
Tabel 5. 9 Rasio tahanan izin tanah terhadap nilai kenaikan tegangan vertikal secara teoritis pondasi sumuran PS 1 (AS D8) terhadap data sondir S2.	62

Tabel 5. 10 Rasio tahanan izin tanah terhadap nilai kenaikan teganegan vertikal secara teoritis pondasi sumuran PS 2 (AS D'4) terhadap data sondir S1.	63
Tabel 5. 11 Rasio tahanan izin tanah terhadap nilai kenaikan teganegan vertikal metode elemen hingga (MEH) dengan plaxis 2D pondasi sumuran PS 1 (AS D8) terhadap data sondir S2.....	65
Tabel 5. 12 Rasio tahanan izin tanah terhadap nilai kenaikan teganegan vertikal metode elemen hingga (MEH) dengan plaxis 2D pondasi sumuran PS 2 (AS D'4) terhadap data sondir S1.	66



DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Skema alat kerucut statis dan hasil uji.	15
Gambar 3. 2 Klasifikasi tanah (Robertson dan Campanella, 1983 dalam Hardiyatmo, 2002).....	16
Gambar 3. 3 Tambahan tegangan akibat beban titik vertikal dipermukaan.....	26
Gambar 3. 4 Tambahan tegangan akibat beban titik horizontal di permukaan.....	27
Gambar 3. 5 Tegangan dibawah beban terbagi rata berbentuk lingkaran.....	28
Gambar 3. 6 Faktor pengaruh I untuk tegangan vertikal dibawah beban terbagi rata berbentuk lingkaran.	29
Gambar 3. 7 Pemodelan Analisa pondasi	30
Gambar 4. 1 Lokasi pembangunan gedung Biotek Fakultas Pertanian Universitas Islam Riau.....	33
Gambar 4. 2 Bagan Alir Penelitian	35
Gambar 5. 1 Denah pondasi sumuran yang ditinjau	37
Gambar 5. 2 Detail Pondasi PS1	38
Gambar 5. 3 Detail Pondasi PS2.....	38
Gambar 5. 4 Tampak depan gedung Biotek Fakultas Pertanian UIR	39
Gambar 5. 5 Grafik tahanan konus (qc).....	40
Gambar 5. 6 Skema Analisa kenaikan tegangan vertikal.....	44
Gambar 5. 7 Penerapan Asumsi Untuk Analisa Kenaikan Tegangan Vertikal Akibat Sumuran tunggal.....	45
Gambar 5. 8 Skema Jarak Terdekat AS tinjau Terhadap Sumuran Yang Akan Dianalisa	46
Gambar 5. 9 Skema Tambahan Kenaikan Tegangan Akibat Beban Sumuran Lain	46
Gambar 5. 10 Skema Analisa Dan Penerapan Asumsi Tambahan Kenaikan Tegangan Vertikal Akibat Beban Sumuran Lain.	47
Gambar 5. 11 Sketsa Kenaikan Tegangan Vertikal Akibat Beban Horizontal	48
Gambar 5. 12 Hasil Analisa Hubungan Kenaikan Tegangan Vertikal Terhadap kedalaman titik tinjau dari beban yang bekerja.	53
Gambar 5. 13 Permodelan analisa plane strain	55

Gambar 5. 14 Hasil Analisa Hubungan Kenaikan Tegangan Vertikal AS D8 dan AS D'4 Terhadap kedalaman titik tinjau hasil plaxis.....	57
Gambar 5. 15 nilai tahanan izin tanah data sondir S1 di bawah dasar pondasi (kedalaman 5 m sampai 11,4 m).....	59
Gambar 5. 16 nilai tahanan izin tanah data sondir S2 di bawah dasar pondasi (kedalaman 5 m sampai 11,4 m).....	59
Gambar 5. 17 Perbandingan kenaikan tegangan tanah secara teoritis terhadap nilai tahanan izin tanah dengan berbagai nilai SF pondasi PS1 (AS D8) dengan data sondir S2.....	60
Gambar 5. 18 Perbandingan kenaikan tegangan tanah secara teoritis terhadap nilai tahanan izin tanah dengan berbagai nilai SF pondasi PS2 (AS D'4) dengan data sondir S1.....	61
Gambar 5. 19 Perbandingan kenaikan tegangan tanah metode elemen hingga (Plaxis 2D) terhadap nilai tahanan izin tanah dengan berbagai nilai SF pondasi PS1 (AS D8) dengan data sondir S2.	64
Gambar 5. 20 Perbandingan kenaikan tegangan tanah metode elemen hingga (Plaxis 2D) terhadap nilai tahanan izin tanah dengan berbagai nilai SF pondasi PS2 (AS D'4) dengan data sondir S1.....	65

DAFTAR NOTASI

c	= kohesi tanah
D	= diameter pondasi
E_s	= modulud young (kN/m^2)
f_r	= rasio gesekan
$I = k_b$	= faktor pengaruh beban
K	= koefisien permeabilitas
p_t	= beban vertikal total akibat struktur
Q	= tekanan beban analisa
q_c	= perlawanan konus
q_s	= Hambatan setempat
r	= jari-jari beban / jarak horizontal titik tinjau terhadap garis kerja beban
SF	= angka aman
x	= jarak horizontal AS beban ke AS tinjau (D8)
z	= kedalaman titik yang ditinjau
ν	= angka poison
π (phi)	= konstanta perbandingan keliling lingkaran dan diameter.
σ	= tegangan total tanah
ψ	= sudut dilatansi
ϕ	= sudut gesek dalam tanah
γ_s	= berat isi jenuh
γ_u	= berat isi tak jenuh
$\Delta\sigma_z$	= tambahan tegangan vertikal

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A :

1. Perkiraan Jenis Tanah Dengan Menggunakan Metode Robertson dan Campela.
2. Analisa Pembebanan Struktur.
3. Analisa Kenaikan Tegangan Vertikal Tanah.
4. Analisa Menggunakan Metode Elemen Hingga 2D.
5. Analisa Kekuatan Izin Tanah.

Lampiran B :

1. Data Uji CPT (sondir).
2. Gambar Struktur Gedung.

Lampiran C :

1. Lembar Disposisi.
2. Usulan Skripsi.
3. Surat Keputusan Tugas Akhir.
4. Berita Acara Asistensi.
5. Surat Keterangan Persetujuan Seminar.
6. Berita Acara Seminar Tugas Akhir.
7. Surat Keterangan Persetujuan Komprehensif.
8. Surat Keputusan Ujian Komprehensif.
9. Berita Acara Komprehensif.
10. Surat Keterangan Bebas Plagiarisme
11. Surat Keterangan Persetujuan Jilid Tugas Akhir.

**PERBANDINGAN KENAIKAN TEGANGAN TANAH DENGAN DATA
TAHANAN KONUS PADA GEDUNG BIOTEK FAKULTAS
PERTANINAN UNIVERSITAS ISLAM RIAU**

RIZA NURROHIM

NPM : 153110320

ABSTRAK

Tanah sebagai tempat bertumpunya pondasi suatu gedung memiliki peran yang sangat penting dikarenakan tingkat kekerasan tanah sangat mempengaruhi kuat dukung pondasi. Penelitian ini akan mengangkat masalah pondasi yang bertumpu pada tanah yang mengalami penurunan nilai qc di bawah dasar pondasinya yaitu pada proyek pembangunan Gedung Biotek Fakultas Pertanian Universitas Islam Riau dengan tujuan untuk mengetahui nilai angka aman tanah berdasarkan perbandingan kuat izin tanah dan kenaikan tegangan yang terjadi.

Data yang dianalisa pada penelitian ini diperoleh dari CV. MOMET AREA. Dalam menganalisa beban yang bekerja akibat gedung dihitung menggunakan program SAP 2000, untuk analisa kenaikan tegangan menggunakan dua cara yaitu cara analitis dan elemen hingga (Plaxis 2D). Untuk metode analitis menggunakan teori Boussinesq dan Cerruti. Dari kedua cara tersebut maka akan didapat nilai kenaikan tegangan vertikal yang dibandingkan dengan nilai kuat izin tanah dengan berbagai nilai angka aman (SF).

Dari hasil penelitian didapat bahwa nilai kenaikan tegangan terbesar terjadi pada dasar pondasi dan nilainya menurun seiring bertambahnya kedalaman, nilai kuat izin tanah berbanding lurus terhadap nilai bacaan konusnya semakin tinggi nilai tahanan konus (qc) maka semakin tinggi nilai kuat izin tanahnya. Secara teoritis kenaikan tegangan vertikal mampu ditahan tanah dengan kuat izin tanah menggunakan SF mencapai 5. Nilai tegangan vertikal hasil hitungan MEH mampu ditahan oleh kuat izin tanah dengan SF mencapai 3,5. Oleh karena itu dapat dikatakan bahwa nilai kuat dukung pondasi cukup besar dikarenakan nilai angka aman yang besar yaitu 3,5 sampai 5.

Kata Kunci : Kenaikan tegangan, tahanan konus, metode elemen hingga, pondasi sumuran.

**COMPARISON OF THE INCREASING OF SOIL STRESS DUE TO CONE
RESISTANT DATA IN BIOTECH BUILDING FACULTY OF
AGRICULTURE UNIVERSITAS ISLAM RIAU**

RIZA NURROHIM

NPM : 153110320

ABSTRAK

Land as a supporting of a building has a very important role because the level of soil hardness strongly influences the bearing capacity of the foundation. This research is raised the problem of foundation which is based on soil that has decreased in q_c value below the foundation of UIR Biotech Building. This research is aimed to find the value of the land safe number based on a comparison of the allowable soil strength and the increase in stress that occurs.

The data analyzed in this study were obtained from CV. MOMET AREA. In analyzing the load that works due to the building is calculated using the SAP 2000 program, to analyze the increase in soil stress by the analytical method and finite element method (Plaxis 2D). Analytical methods used the theory of Boussinesq and Cerruti. These soil stresses were compared to the allowable soil strength with various safety number values (SF).

From the results of the study it was found that the highest value of stress increase occurs at the base of the foundation and its value decreases with increasing depth. The allowable soil strength was directly proportional to cone resistance. The higher the value of the cone resistance (q_c), the higher the value of the allowable soil strength. Theoretically, the increase in vertical stress could be supported by the allowable soil strength by SF of 5. The vertical stress value of the MEH could be supported by the allowable soil strength by SF of 3.5. Therefore, it can be said that the value of the bearing capacity of the foundation is quite large due to the value a safety factor that is 3.5 to 5.

Keywords: Increase in stress, cone resistance, finite element method, caisson foundation.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pertumbuhan pembangunan kota Pekanbaru mengalami peningkatan disegala bidang hal ini perlu diimbangi dengan peningkatan sarana dan prasarana fisik yang nantinya akan diperlukan untuk suatu kegiatan berlangsung, salah satunya adalah kebutuhan ruangan untuk proses akademik. Untuk memenuhi kebutuhan ruangan tersebut maka salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan menambah bangunan fisik gedung.

Dalam pembangunan konstruksi, pondasi merupakan suatu elemen struktur yang sangat penting, karena pondasi berfungsi untuk meneruskan beban struktur di atasnya kelapisan tanah di bawahnya. Setiap pondasi harus mampu mendukung beban sampai batas keamanan yang telah ditentukan, termasuk mendukung beban maksimum yang terjadi.

Tanah sebagai tempat bertumpunya pondasi suatu gedung memiliki peran yang sangat penting dikarenakan tingkat kekerasan tanah sangat mempengaruhi kuat dukung pondasi. Pondasi biasa diletakan pada tanah lapis keras untuk mendapat kuat dukung yang optimal dan efisien.

Untuk mengetahui kedalaman tanah keras perlu dilakukan kegiatan pengujian tanah salah satunya adalah dengan uji penetrasi konus (sondir). Hasil uji sondir akan digunakan sebagai salah satu acuan untuk pemilihan jenis dan kedalaman pondasi. Dalam pengujian tanah sering dijumpai adanya lapisan tanah keras dengan ketebalan tertentu yang berada diatas tanah lunak, hal ini dapat menjadi masalah apabila pondasi diletakan pada tanah dengan kapasitas daya dukung rendah yang dapat menyebabkan kegagalan pondasi.

Dalam pembagunan Gedung Fakultas Pertanian Universitas Islam Riau menggunakan jenis pondasi sumuran yang bertumpu pada lapis tanah keras yang mengalami penurunan nilai qc pada lapis tanah di bawahnya.

Berdasarkan latar belakang tersebut maka dari itu peneliti ingin melakukan penelitian untuk mengkaji apakah dengan kondisi meletakkan

pondasi pada tanah keras yang mengalami penurunan nilai qc dibawahnya masih dalam batas aman atau tidak. Pengkajian akan ditinjau dari segi kenaikan tegangan vertikal akibat beban struktur yang akan dibandingkan data qc hasil uji penetrasi konus(sondir).

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang yang telah dipaparkan sebelumnya, maka dapat dirumuskan rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana kenaikan tegangan di bawah dasar pondasi akibat beban?
2. Bagaimana kekuatan tanah dengan penurunan nilai qc di bawah pondasi nya?
3. Bagaimana perbandingan antara tegangan yang terjadi pada tanah terhadap kekuatan tanahnya baik di dasar pondasi maupun pada lapis tanah yang mengalami penurunan nilai qc?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui nilai kenaikan tegangan akibat beban struktur yang diterima oleh lapis tanah di bawah pondasi.
2. Untuk mengetahui nilai kuat izin tanah di bawah dasar pondasi dengan berbagai nilai angka aman.
3. Untuk mengetahui pada nilai angka aman berapakah nilai kuat izin tanah masih mampu menahan kenaikan tegangan tanah baik di dasar pondasi maupun pada lapis tanah yang mengalami penurunan nilai qc.

1.4. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan pada penelitian ini adalah :

1. Bagi penulis, untuk menambah ilmu dan menerapkan ilmu yang telah dipelajari selama kuliah.

2. Bagi mahasiswa, dapat digunakan sebagai bahan referensi dan informasi bagi penulis yang melakukan penelitian serupa.
3. Bagi praktisi, dapat menjadi acuan awal jika akan meletakkan pondasi yang bertumpu pada tanah yang mengalami nilai q_c dibawahnya.

1.5. Batasan Masalah

Untuk memperingkat dan memperjelas suatu penelitian, maka perlu direncanakan batasan masalah yang terdiri dari:

1. Data tanah yang digunakan adalah data tahanan konus (sondir).
2. Beban struktur atas yang dihitung adalah beban hidup dan beban mati (beban tetap).
3. Titik tinjau merupakan AS dengan nilai beban maksimum pada pondasi sumuran PS1 dan PS2.
4. Kenaikan tegangan yang dihitung adalah kenaikan tegangan vertikal.
5. Kuat dukung dan penurunan pondasi sumuran tidak diperhitungkan.
6. Tidak memperhitungkan anggaran biaya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum

Tinjauan pustaka adalah kegiatan yang meliputi mencari, membaca, dan mendengarkan laporan-laporan penelitian dan bahan pustaka yang memuat teori-teori yang relevan dengan penelitian yang akan dilakukan. Hasil dari kegiatan ini merupakan materi yang akan disajikan untuk menyusun dasar atau kerangka teori penelitian. Referensi yang penulis gunakan adalah beberapa penelitian yang terkait dengan penelitian ini baik dari objek penelitian, metode analisis, mau pun dari aspek lain yang menunjang untuk keperluan penelitian ini.

2.2. Penelitian Terdahulu

Pratama (2017), telah melakukan penelitian terhadap “ Tinjauan Kasitas Pondasi *Bored Pile* Menggunakan Formula Statis Dan Elemen Hingga 2D Pada Gedung E Fakultas Teknik Universitas Islam Riau”. Pondasi didefinisikan sebagai bagian terendah dari bangunan yang meneruskan beban bangunan ke tanah atau batuan yang berada di bawahnya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghitung kapasitas beban lateral pondasi, penurunan dan defleksi pondasi, dan menghitung tegangan geser efektif tanah dengan metode elemen hingga 2D. Berdasarkan penelitian tersebut didapatkan hasil analisa untuk tegangan geser efektif tanah pondasi *bore pile* tunggal dari nilai terbesar dengan metode elemen hingga 2D tanpa interface sebesar $631,01 \text{ KN/m}^2$ dan dengan menggunakan interface 1100 KN/m^2 , sedangkan kuat geser tanah yang di peroleh adalah $80,11 \text{ KN/m}^2$.

Putra (2017), telah melakukan penelitian “Tinjauan Ulang Terhadap Pondasi Tiang Bor (*Bore Pile*) Pada Pembangunan Gedung Mahasiswa Universitas Islam Riau Dengan Metode Elemen Hingga 2D Aksisimetri”. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui nilai besarnya kuat dukung pondasi tiang bor tunggal, penurunan dan defleksi horizontal yang dialami oleh pondasi dan

menentukan apakah pondasi aman terhadap hal tersebut. Hasil yang didapat dari penelitian ini bahwa kapasitas dukung aksial pada titik sondir 1 yaitu sebesar 323,072 kN, dan untuk titik sondir 2 diperoleh kuat dukung sebesar 432,823 kN. Untuk daya dukung lateral pada titik sondir 1 didapat sebesar 125,016 kN dan untuk titik sondir 2 sebesar 190,703 kN. Untuk penurunan pada titik sondir 1 didapat hasil 40,04 mm dan untuk titik sondir 2 yaitu 25,69 mm. Sedangkan untuk defleksi horizontal pada titik sondir 1 yaitu 10,91 mm dan untuk titik sondir 2 yaitu 6,81 mm. Jadi defleksi yang terjadi pada titik sondir 1 dan 2 belum memenuhi syarat.

Elri (2017), dalam penelitian “Analisa Kuat Dukung Pondasi Bore Pile Tunggal Pada Pembangunan Perluasan Gedung Kantor Bea dan Cukai JL. Sudirman Pekanbaru”. Pembahasan yang diangkat dalam penelitian ini adalah menentukan kuat dukung dan penurunan dari pondasi. Hasil dari penelitian ini adalah untuk kapasitas daya dukung untuk titik sondir 1 sebesar 657,6 kN dan untuk titik sondir 2 diperoleh sebesar 627,694 kN. Sedangkan kuat nominal penampang pada pondasi diambil dari nilai paling kecil yaitu sebesar 1802,756 kN dengan beban aksial kritis yang bekerja yaitu 586,356 kN. Untuk daya dukung lateral titik sondir 1 diperoleh 118,167 kN dan untuk titik sondir 2 diperoleh 101,342 kN dimana beban kritis yang bekerja adalah 39,587 kN. Untuk penurunan pada titik sondir 1 yaitu 26,29 mm dan pada titik sondir 2 yaitu 33,01 mm dimana penurunan izin yaitu 60 mm sedangkan untuk defleksi horizontal pada titik sondir 1 yaitu 20,03 mm dan pada titik sondir 2 yaitu 20,74 mm dimana defleksi izin yaitu 6 mm, jadi defleksi yang terjadi tidak memenuhi syarat.

Satria (2017), dalam penelitian “Tinjauan Kapasitas Dukung Pondasi Bored Pile Menggunakan Analitis dan Metode Elemen Hingga Pada Gedung Fakultas Ilmu Komunikasi Universitas Islam Riau”. Permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah menganalisa apakah pondasi bore pile mampu menahan beban lateral, menganalisa penurunan dan *displacement* horizontal masih dalam batas izin, dan juga menganalisa apakah tegangan geser efektif tanah memenuhi syarat yang diizinkan. Dari penelitian tersebut didapatkan hasil bahwa kapasitas dukung pondasi menggunakan metode *Schmerman*, elemen tanpa *interface*

pondasi P1,P2,dan P3 mampu menahan beban aksial yang bekerja sedangkan untuk metode elemen hingga dengan *interface* hanya pondasi P2 yang mampu menahan beban aksial. Untuk analisa kapasitas dukung pondasi P1, P2, dan P3 akibat beban lateral dengan metode *Broms* pondasi mampu menahan gaya yang terjadi. Untuk penurunan dengan metode *Vesic* dan elemen hingga Pondasi P1, P2, dan P3 masih dalam batas izin. Untuk *displacemen horizontal* dengan metode *Broms* dan elemen hingga pondasi masih dalam batas izin. Dan untuk tegangan geser efektif dengan metode elemen hingga pondasi masih memenuhi syarat yang diizinkan, dengan metode elemen hingga tanpa interface pondasi P1, P2 dan P3 mampu menahan beban aksial sedangkan dengan interface hanya pondasi P2 yang mampu menahan beban aksial.

Nurdian (2015), Hasil pengujian kuat geser langsung (*Direct Shear Test*) diperoleh dari hubungan nilai tegangan normal dan tegangan geser tanah, yang dilakukan dengan uji *Direct test*. Pengujian dilakukan dengan pencampuran lempung dan pasir dengan persentase yang berbeda. Sampel A 10% pasir, sampel B 20% pasir, sampel C 30% pasir, dan Sampel D 40% pasir.

Dial pembacaan dari hasil uji geser langsung masukan kedalam grafik sehingga didapat tegangan geser maksimum masing-masing campuran. Setelah dimasukan kedalam grafik yang sudah dibuat, didapat data berupa kohesi dan sudut geser dari garis linnear antara data tegangan geser dan tegangan normal. Pada pengujian ini sampel diuji dalam keadaan basah dan kering.

Tabel 2. 1 Hasil pengujian geser langsung kondisi basah

Camuran Tanah		Kohesi (kg/cm ²)
Lempung (%)	Pasir (%)	
100	0	0,23
90	10	0,18
80	20	0,16
70	30	0,15
60	40	0,08

Tabel 2. 2 Hasil pengujian geser langsung kondisi kering

Campuran Tanah		Koheesi (kg/cm ²)
Lempung (%)	Pasir (%)	
100	0	0,61
90	10	0,53
80	20	0,52
70	30	0,5
60	40	0,48

2.2. Perbedaan Penelitian

Penulis melakukan penelitian pada pondasi sumuran yang bertemu pada tanah yang mengalami penurunan nilai qc pada kedalaman tertentu dengan lokasi penelitian pada Gedung Biotek Fakultas Pertanian Universitas Islam Riau. Penulis memperhitungkan dampak/perilaku struktur atas terhadap kondisi tanah yang akan ditinjau dari segi kenaikan tegangan akibat beban stuktur.

BAB III LANDASAN TEORI

3.1. Pondasi

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

3.1.1. Jenis-Jenis Pondasi

Mengingat hampir semua bangunan itu dibuat diatas atau dibawah permukaan tanah, maka harus dibuatkan pondasi yang dapat memikul beban bangunan atau gaya yang bekerja melalui bangunan tersebut. Menurut Hardiyatmo (1996) jenis pondasi dibedakan menjadi 2 (dua) yaitu :

1. Pondasi dangkal

Pondasi dangkal didefinisikan sebagai pondasi yang mendukung bebannya secara langsung dan batasan untuk pondasi dangkal adalah $D_f/B \leq 1$. Dimana D_f adalah kedalaman pondasi dan B adalah lebar atau dimensi pondasi, seperti:

- a. Pondasi telapak (*spread footing*) adalah pondasi yang berdiri sendiri dalam mendukung kolom.
- b. Pondasi memanjang (*cintinius footing*) adalah pondasi yang digunakan untuk mendukung dinding memanjang atau digunakan untuk mendukung sederetan kolom-kolom yang berjarak sangat dekat, sehingga bila dipakai pondasi telapak sisi-sisinya akan berhimpit satu sama lain.
- c. Pondasi rakit (*raft foudation* atau *mat foundaton*) adalah pondasi yang digunakan untuk mendukung bangunan yang terletak pada tanah lunak, atau digunakan bila susunan kolom-kolom jaraknya sedemikian dekat

disemua arahnya, sehingga bila dipakai pondasi telapak sisinya akan berhimpit satu sama lain.

2. Pondasi dalam

Pondasi dalam didefinisikan sebagai pondasi yang meneruskan beban bangunan ketanah keras atau batuan yang terletak relatif jauh dari permukaan, dan batasan untuk pondasi dalam adalah $D_f/B > 4$, seperti :

a. Pondasi sumuran (*Pier foundation*)

Pondasi sumuran merupakan pondasi peralihan antara pondasi dangkal dan pondasi tiang, digunakan bila tanah dasar yang kuat terletak pada kedalaman yang relatif dalam, dimana pondasi sumuran nilai kedalaman (D_f) dibagi lebar (B) lebih besar dari 4 sedangkan pondasi dangkal $D_f/B \leq 1$.

b. Pondasi tiang (*Pile foundation*)

Pondasi tiang umumnya berdiameter lebih kecil dan lebih panjang dibanding dengan pondasi sumuran (Bowles, 1991). Pondasi tiang digunakan bila tanah pondasi pada kedalaman yang normal tidak mampu mendukung bebannya, sedangkan tanah keras terletak kedalaman yang sangat dalam.

3.1.2. Jenis-Jenis Pondasi Sumuran/Pondasi Kaison

Kaison adalah suatu pondasi yang terletak pada lapisan pendukung yang terbenam kedalam tanah karena beratnya sendiri dengan mengeluarkan tanah galian dari dasar bangunan bulat yang terbuat dari beton bertulang (Sasrodarsono dan Nakazawa, 2000). Pondasi kaison terdiri dari dua tipe yaitu sebagai berikut :

1. Kaison (*caison*)

Pondasi kaison yang berbentuk silinder atau kotak beton dibuat dengan menambahkan silinder beton ditempatnya, bersamaan dengan penggalian tanah. Pondasi ini dimaksudkan untuk mengirimkan beban besar yang harus melalui air atas material jelek sebelum mencapai tanah pendukung yang kuat.

Macam-macam kaison dibagi menurut pembuatannya :

a. Kaison terbuka (open caison)

Kaison terbuka adalah kaison yang yang terbuka pada ujung atas dan bawahnya selama pelaksanaan pembuatannya. Kaison dibenamkan dengan memanfaatkan beratnya sendiri, bersama-sama dengan penggalian tanah. Ketika pembenaman telah mencapai tanah keras yang diinginkan, dasar kaison ditutup dengan beton.

b. Kaison pneumatik (pneumatik caison)

Kaison pneumatik adalah kaison yang tertutup. Penggalian tanah dilakukan dengan mengalirkan udara bertekanan kedalam ruang kerja untuk penggalian. Dengan cara ini penggalian dan pengecoran beton ke dalam sumuran dilakukan dalam kondisi kering. Pintu udara, kecuali dipakai untuk jalan keluar masuk pekerjaan juga untuk mengeluarkan tanah galian. Ruang kerja diisi dengan beton pada waktu dasar kaison telah mencapai kedalaman yang dikehendaki.

c. Kaison apung (floating caison)

Kaison apung adalah kaison yang tertutup pada dasarnya. Kaison tipe ini dibuat dengan beton bertulang yang dicetak di dataran dan peletakkannya dilakukan dengan mengapungkan kaison tersebut setelah beton mengeras. Pembenaman kaison kedalam air atau tanah terendam air, dengan cara mengisikan pasir, kerikil, beton atau air kedalamnya. Permukaan air harus diperhitungkan selalu berada pada beberapa meter dibawah puncak kaison untuk mencegah air masuk kedalamnya. Stabilisasi pengapungan dirancang sesuai prinsip-prinsip hidrolika.

2. Kaison Bor (*drilledcaison*)

Pondasi kaison bor dibuat dengan cara mengebor lebih dahulu untuk memmbuat lubang di dalam tanah, kemudian lubang diisi dengan beton. Untuk memperoleh kapasitas dukung tinggi, dasar kaison dapat diperbesar menurut bentuk lonceng.

Kaison bor dibedakan menurut material pembentuknya, yaitu :

- a. Kaison beton.
- b. Kaison beton terselubung pipa baja atau pipa beton.

- c. Kaison beton dilengkapi inti baja dalam pipa baja.

Pondasi kaison bor, bila dasarnya tidak bertumpu pada lapisan batu, bagian dasarnya dapat diperbesar untuk mereduksi tekanan pada tanah di bawah dasar kaison. Bentuk pembesaran umumnya dibuat menyerupai lonceng dengan kemiringan sisi 1H : 2V. Kemiringan ini diperlukan agar tanah setelah dibentuk tidak longsor. Penggalian tanah berbentuk lonceng sangat sulit untuk tanah dasar yang berupa tanah granuler murni.

Keuntungan pemakaian pondasi kaison bor antara lain :

- a. Pembangunannya tidak menyebabkan getaran dan penggembunga tanah, seperti pada pemancangan pondasi tiang.
- b. Penggalian tidak mengganggu tanah disekitarnya.
- c. Biaya pelaksanaan umumnya relatif rendah, berhubungan alat yang dipakai adalah alat ringan.
- d. Kondisi tanah atau batu pada dasar sumuran sering dapat diperiksa dan diuji secara fisik.
- e. Alat gali tidak banyak menimbulkan suara.

3.2. Tanah

Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) material-material padat yang tidak tersemenisasi (terikat secara kimia) satu sama lainnya dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel padat tersebut. Tanah berguna sebagai bahan bangunan pada berbagai macam pekerjaan teknik sipil, disamping itu tanah juga berfungsi sebagai pendukung pondasi dari suatu bangunan. Tanah berasal dari pelapukan batuan, yang prosesnya dapat secara fisik maupun kimia (Das, 1995).

3.2.1. Jenis Tanah

Istilah-istilah seperti kerikil, pasir, lanau, dan lempung digunakan dalam teknik sipil untuk membedakan jenis-jenis tanah. Pada kondisi alam, tanah dapat terdiri dari dua atau lebih campuran jenis-jenis tanah dan kadang-kadang terdapat

pula kandungan bahan organik. Material campurannya, kemudian dipakai sebagai nama tambahan di belakang material unsur utamanya. Sebagai contoh, *lempung berlanau* adalah tanah *lempung* yang mengandung *lanau*, dengan material utamanya adalah lempung dan seterusnya (Hardiyatmo, 2002).

Sebagaimana yang telah dijelaskan, bahwa tanah memiliki berbagai istilah yang sering digunakan sesuai dengan material pembentuknya. Di alam sangat sering ditemukan tanah yang tidak hanya dibentuk dari satu material pembentuk, tanah dapat terdiri dari dua atau lebih campuran jenis tanah dan kadang kala terdapat pula kandungan bahan organik. Adapun jenis-jenis tanah diantaranya sebagai berikut (Bowles, 1991).

1. Tanah *granuler*

Tanah *granuler* merupakan material yang baik untuk mendukung bangunan dan bahan jalan karena memiliki kapasitas dukung yang tinggi dan penurunan kecil dalam kondisi padat. Tanah *granuler* mempunyai tahanan geser yang berupa gesekan. Tahanan gesernya merupakan fungsi dari tegangan normal pada tanah *granuler* berbanding lurus terhadap tahanan geser. Tegangan normal adalah tegangan yang bekerja tegak lurus pada bidang gesernya.

2. Tanah Kohesif

Tanah kohesif merupakan material kedap air. Jenis tanah kohesif antara lain lempung, lempung berlanau, lempung berpasir atau berkerikil yang sebagian besar butiran tanahnya terdiri dari butiran halus.

3. Tanah lanau

Lanau merupakan material yang butiran-butirannya lolos saringan No 200, tanah jenis lanau terbagi menjadi dua kategori yaitu lanau yang dikarakteristikan sebagai tepung batu yang tidak berkoheesi serta tidak plastis dan lanau yang bersifat halus. Sebagai pendukung pondasi, lanau merupakan tanah pendukung yang buruk karena memiliki sifat kapilaritas yang tinggi. Tanah ini biasanya tidak plastis dan kuat gesernya rendah pada saat kering.

4. Tanah organik

Tanah organik adalah sembarang tanah yang mengandung bahan organik. Bahan organik dapat terdiri dari sisa tumbuh-tumbuhan atau binatang. Biasanya

pada persentase bahan organik yang tinggi mempunyai kuat geser rendah, mudah mampet, bersifat asam, dan sifat-sifat lain yang dapat merusak material bangunan.

3.2.2. Sifat-Sifat Tanah

Secara garis besar sifat-sifat tanah diantaranya sebagai berikut (sasrodarsono, 2000) :

1. Permeabilitas (*permeability*)

Pori-pori didalam tanah bukan merupakan rongga-rongga yang dapat menyimpan air. Air bukan selalu dilewatkan oleh pori-pori tanah sehingga tanah tersebut material yang permeable atau dapat ditembus. Permeabilitas tanah bergantung pada ukuran butiran tanah, butiran lempung berukuran kecil dan kemampuan meloloskan air juga kecil untuk tanah granular merupakan tanah dengan permeabilitas yang relatif besar. Sifat tanah yang permeabel sangat penting dalam analisa konstruksi bendungan tanah urugan (*earth dam*), dan persoalan drainase.

2. Konsolidasi (*consolidation*)

Tanah memiliki kemampuan konsolidasi yang sangat besar jika diberikan beban bila dibandingkan dengan material lain seperti beton maupun baja. Kemampatan ini akan menyebabkan perubahan volume atau isi pori tanah dari tanah jenuh berpermabilitas rendah, sifat ini digunakan untuk menghitung besarnya penurunan (*settlement*) pada bangunan.

3. Tegangan geser (*Share Strength*)

Nilai kekuatan geser diperlukan untuk menghitung kapasitas dukung tanah atau untuk menghitung tekanan yang bekerja pada tembok penahan tanah. Secara sederhana kekuatan geser dapat dibagi menjadi tahanan geser antara butir-butir tanah kohesi pada permukaan butir-butir tanah tersebut. Berdasarkan hal tersebut, tanah sering dibedakan butir tanah kohesif dan butir tidak kohesif. Contoh tanah tidak kohesif adalah pasir yang mempunyai nilai kohesi tanah (c) = 0. Contoh tanah yang kohesif adalah lempung. Kohesi dari lempung diperkirakan oleh gravitasi listrik dan sifat-sifat dari air yang diserap pada permukaan partikel

lempung. Jika tanah berada dalam keadaan tidak jenuh meskipun tanah tersebut tidak kohesif maka sifat kohesif itu kadang kala dapat terlihat sebagai tegangan permukaan dari air yang terdapat dalam pori-pori. Jadi kekuatan geser tanah tidak selalu sama bergantung pada jenis dan kondisi tanah.

Sifat-sifat lainnya yang dimiliki oleh tanah antara lain batas-batas *attenberg*, kadar air, kadar pori, kepadatan relatif, pembagian butir, kepekaan dan sebagainya (Hardiyatmo, 2002).

3.2.3. Penyelidikan Tanah

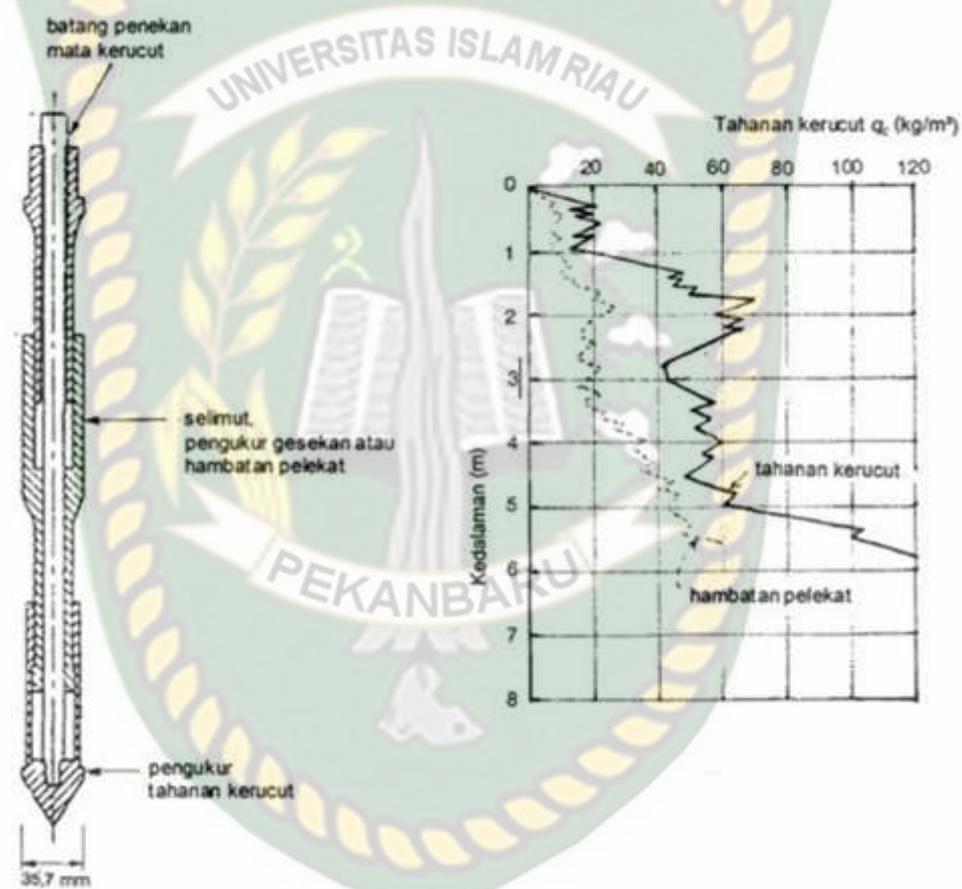
Penyelidikan tanah dilapangan dibutuhkan untuk data perancangan pondasi bangunan-bangunan, seperti : bangunan gedung, dinding penahan tanah, bendungan, jalan dermaga, dan lain-lain. Bergantung pada maksud dan tujuannya, penyelidikan dapat dilakukan dengan menggali lubang uji (*test-pit*), pengeboran, dan uji secara langsung di lapangan (*in-situ test*). Dari data yang diperoleh sifat-sifat teknis tanah dipelajari, kemudian digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam menganalisis dukung dan penurunan (Hardiyatmo,2002).

3.2.3.1 Uji Penetrasi Kerucut (CPT)

Cone Penetration Test (CPT) adalah uji sederhana yang dipakai semakin luas untuk lempung lunak dan pasir halus sampai pasir setengah kasar. Pengujian ini tidak diterapkan pada tanah berkerikil dan lempung kaku/keras. Pengujian ini dilakukan dengan mendorong kerucut baku (menurut ASTM D 3441 mempunyai ujung 60° dan diameter dasar = 35,7 mm dengan luasan irisan lintang 10 cm^2) kedalam tanah dengan kecepatan 10 sampai 20 mm/detik. Data yang dikumpulkan ialah tahanan ujung q_c dan tahanan gesek selongsong q_s dan karena banyaknya data pada suatu dorongan yang menerus, maka biasanya dipakai peralatan untuk mengumpulkan data secara elektronik (Bowles, 1991).

Cara penggunaan alat ini, adalah dengan menekan pipa penekan dan mata sondir secara terpisah, melalui alat penekan mekanis atau dengan tangan yang memberikan gerakan kebawah. Kecepatan penekanan kira-kira 10 mm/detik. Pembacaan tahanan kerucut statis atau tahanan konus dilakukan dengan melihat

arlogi pengukur. Nilai q_c adalah besarnya tahanan kerucut dibagi dengan luas penampangnya. Pembacaan arlogi pengukur, dilakukan pada tiap-tiap penetrasi sedalam 20 cm. Tahanan ujung serta tahanan gesek selimut alat sondir dicatat. Dari sini diperoleh grafik tahanan kerucut statis atau tahanan konus yang menyajikan nilai keduanya (Hardiyatmo, 2002).



Gambar 3. 1 Skema alat kerucut statis dan hasil uji.

3.2.4. Memprediksi Klasifikasi Tanah Dengan CPT (*Cone Penetration Test*)

Untuk memperoleh hasil kasifikasi yang objektif, biasanya tanah itu secara sepintas dibagi dalam tanah berbutir kasar dan berbutir halus berdasarkan suatu hasil analisa mekanis selanjutnya tahap klasifikasi tanah berbutir halus diadakan berdasarkan percobaan konsistensi (Sasrodarsono, 2000).

Data dari CPT atau sondir dapat dipakai untuk memperkirakan klasifikasi tanah dalam rentang dimana pengujian tersebut dapat diterapkan. Pada umumnya data itu dapat mewakili informasi tentang jenis-jenis tanah dilapangan (Hardiyatmo, 2002).

Robertson dan Campanella Secara khusus mengusulkan hubungan antara tahanan ujung dengan hambatan setempat dipakai untuk menghitung rasio gesekan (f_r) sebagai berikut :

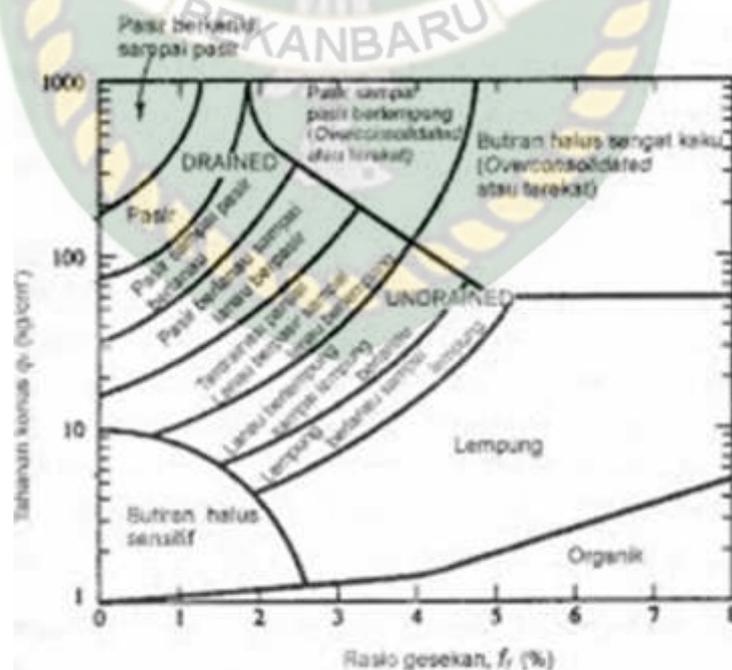
$$f_r = \frac{q}{q_c} \times 100 \quad \% \quad (3.1)$$

Dengan :

q_s = Hambatan setempat (Kg/cm^2)

q_c = Perlawanan Konus (Kg/cm^2)

Pasir biasanya mempunyai rasio gesekan $f_r < 1\%$, rasio gesekan lempung lebih besar dan gambut dapat mempunyai $f_r > 5$ tau 6% . Pada Gambar 3.3 dapat dilihat klasifikasi tanah yang ditentukan dengan rasio gesekan f_r (Robertson dan Campanella, 1983 dalam Hardiyatmo, 2002).



Gambar 3. 2 Klasifikasi tanah (Robertson dan Campanella, 1983 dalam Hardiyatmo, 2002).

3.2.5. Parameter Tanah

Parameter tanah adalah ukuran atau acuan untuk mengetahui dan menilai hasil suatu proses perubahan yang terjadi dalam tanah (Wilhardi, 2015). Adapun bagian dari parameter tanah adalah sebagai berikut :

3.2.5.1. Sistem Klasifikasi Tanah

Dalam perencanaan pondasi, klasifikasi tanah berguna sebagai petunjuk awal dalam memprediksi kekuatan tanah. Dari beberapa sistem klasifikasi tanah yang telah diusulkan, sistem klasifikasi *Unified*. Dalam klasifikasi tersebut, secara garis besar, telah dibagi dalam dua kelompok : kelompok tanah berbutir kasar dan berbutir halus yang didasarkan material yang lolos saringan nomer 200 (diameter 0,075 mm). Huruf pertama pada pemberian nama kelompoknya, adalah merupakan singkatan dari jenis-jenis tanah berikut (Hardiyatmo, 2002).

- G = *Gravel* (kerikil).
- S = *sand* (pasir).
- C = *clay* (lempung).
- O = *organic* (organik).
- M = *silt* (lanau).
- Pt = *peat* (gambut).

Huruf-huruf kedua terdiri dari klasifikasi dinyatakan dalam istilah-istilah :

- W = *well graded* (tanah dengan gradasi baik).
- P = *poarly graded* (tanah dengan gradasi buruk).
- H = *high plasticity* (plastisitas tinggi, $LL > 50$).
- L = *low plasticity* (plastisitas rendah, $LL < 50$).

Tekstur tanah dipengaruhi oleh ukuran tiap-tiap butir yang ada di dalam tanah. Tanah dibagi dalam beberapa kelompok : kerikil (*gravel*), pasir (*sand*), lanau (*silt*), dan lempung (*clay*), atas dasar ukuran butir-butirnya. Pada umumnya, tanah asli merupakan campuran dari butir-butir yang mempunyai ukuran yang berbeda-beda. Dalam sistem klasifikasi tanah berdasarkan teekstur, tanah diberi

nama atas dasar komponen utama yang dikandungnya, misalnya lempung berpasir (*sandy clay*), lempung berlanau (*silty clay*), dan seterusnya.

Beberapa sistem klasifikasi berdasakaan tekstur tanah telah dikembangkan sejak dulu oleh berbagai organisasi guna memenuhi kebutuhan mereka sendiri. Beberapa dari sitem-sistem tersebut masih tetap dipakai sampai saat ini. Menunjukkan sistem klasifikasi berdasarkan tekstur tanah yang dikembangkan oleh Departemen Pertanian Amerika (USDA). Sistem ini didasarkan pada ukuran batas dari butiran tanah seperti yang diterapkan oleh sistem USDA, yaitu (Das, 1995):

1. Pasir : butiran dengan diameter 2,0 sampai 0,05 mm.
2. Lanau : butiran dengan diameter 0,05 sampai 0,002 mm.
3. Lempung : butiran dengan diameter lebih kecil 0,05 mm.

3.2.5.2. Berat Isi Tanah

Berat isi tanah (γ) adalah berat tanah per satuan waktu volume. Nilai tipikal berat isi tanah berbagai jenis tanah untuk keadaan dibawah muka air dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Berat Isi Tanah (Das, 1995)

Jenis Tanah		Berat Isi Tanah (KN/m ³)
GP	kerikil gradasi buruk (<i>Poorly Graded Gravel</i>)	20,75
Gw	Kerikil gradasi baik (<i>Well graded dravel</i>)	21,50
GM	Kerikil lanau (<i>Silty gravel</i>)	20,75
GC	Kerikil lempung (<i>Clayey gravel</i>)	20,75
SP	Pasir gradasi buruk (<i>Poorly graded sand</i>)	20,00
SW	Pasir gradasi baik (<i>Well graded sand</i>)	21,00
SM	Pasir lanau (<i>Silty sand</i>)	19,75
SC	Pasir lempung (<i>Clayey sand</i>)	19,25
ML	Lanau plastisitas rendah (<i>Low plasticity silt</i>)	16,50
MH	Lanau plastisitas tinggi (<i>High plasticity silt</i>)	16,00
CL	Lempung plastisitas rendah (<i>Low plasticity clay</i>)	16,00
CH	Lempung plastisitas tinggi (<i>High plasticity clay</i>)	15,25

Dan korelasi untuk menentukan berat jenis tanah (γ) dan berat jenis tanah jenuh (γ_s) pada tanah kohesif dan non kohesif dapat dilihat pada Tabel 3.2

Tabel 3. 2 Nilai Tipikal Berat Volume Tanah (John Wiley & Sons, 2000)

Jenis Tanah	Berat Isi Jenuh γ_s (KN/m ³)	Berat Isi Tak Jenuh γ_d (KN/m ³)
Kerikil	20-22	15-17
Pasir	18-20	13-16
Lanau	18-20	14-18
Lempung	16-22	14-21

3.2.5.3. Modulus Young

Nilai *modulus young* menunjukkan besarnya nilai elastisitas tanah yang merupakan perbandingan antara tegangan yang terjadi terhadap regangan. Nilai ini bisa didapatkan dari *Ti axial Test*. Nilai modulus elastisitas (E_s) secara empiris dapat ditentukan dari jenis tanah dan dari data sondir. Bowles (1991), memberikan persamaan yang dihasilkan dari pengumpulan data pengujian kerucut statis (sondir) sebagai berikut (Hardiyatmo, 2002):

$$E = 3 \cdot q \quad (\text{untuk pasir}) \quad (3.2)$$

$$E = 2 \cdot s_c \quad 8 q \quad (\text{untuk lempung}) \quad (3.3)$$

Dengan :

$$E_s = \text{Modulus young (kg/cm}^2\text{)}$$

$$q_c = \text{tahanan ujung konus (kg/cm}^2\text{)}$$

Tabel 3. 3 Hubungan E_s dengan q_c (Das, 1995).

Jenis tanah	CPT (kg/cm ²)
Pasir terkonsolidasi normal	$E = (2 - 4)q$
Pasir over konsolidasi	$E = (6 - 30) q$
Pasir berlempung	$E = (3 - 6) q$
Pasir berlanau	$E = (1 - 2) q$
Lempung lunak	$E = (3 - 8) q$

Nilai perkiraan modulus elastisitas (E_s) tanah menurut Bowles dapat dilihat pada Tabel 3.4

Tabel 3. 4 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah (Bowles, 1991)

Jenis Tanah	E_s (kg/cm ²)
Lempung	
*sangat lunak	3 – 30
*lunak	20 – 40
*sedang	45 – 90
*berpasir	300 – 425
Pasir	
*berlanau	50 – 200
*tidak padat	100 – 250
*padat	500 – 1000
Pasir dan kerikil	
*padat	800 – 2000
*tidak padat	500 – 1400
Lanau	20 – 200
Loses	150 – 600
Cadas	1400 – 12000

3.2.5.4. Poisson Ratio (μ)

Nilai *poisson ratio* ditentukan sebagai rasio kompresi poros terhadap regangan permukaan lateral. Nilai *poisson ratio* ditentukan berdasar jenis tanah seperti yang dapat dilihat pada Tabel 3.5

Tabel 3. 5 Hubungan Antara Jenis Tanah dengan Poisson Ratio (Das, 1995).

Jenis Tanah	Poisson Ratio (μ)
Lempung jenuh	0,4 – 0,5
Lempung tak jenuh	0,1 – 0,3
Lempung berpasir	0,2 – 0,3
Lanau	0,3 – 0,35
Pasir	0,1 – 1,0
Batuan	0,1 – 0,4
Umum dipakai untuk tanah	0,3 – 0,4

3.2.5.5. Sudut Geser Dalam (ϕ)

Kekuatan geser dalam mempunyai variabel kohesi dan sudut geser dalam. Sudut geser dalam bersamaan dengan kohesi menentukan ketahanan tanah akibat tegangan yang bekerja berupa tekanan lateral tanah. Nilai ini juga didapatkan dari pengukuran *engineering properties* tanah dengan *Direct Shear Test*. Hubungan antara sudut geser dalam dan jenis tanah ditunjukkan pada Tabel 3.6

Tabel 3. 6 Hubungan Antara Sudut Geser Dalam dengan jenis Tanah (Das, 1995)

Jenis Tanah	Sudut Geser Dalam (ϕ)
Kerikil kepasiran	35° – 40°
Kerikil kerakal	35° – 40°
Pasir padat	35° – 40°
Pasir lepas	30°
Lempung kelanauan	25° – 30°
Lempung	20° – 25°

Tabel 3. 7 Harga-harga yang umum dari sudut geser internal kondisi drained untuk tanah pasir dan lanau (Das, 1995)

Tipe Tanah	Sudut geser dalam (ϕ)
Pasir ; butiran bulat	
Renggang/lepas	27-30
Menengah	30-35
Padat	35-38
Pasir ; butiran sudut	
Renggang/lepas	30-35
Menengah	35-40
Padat	40-45
Kerikil bercampur pasir	34-48
Lanau	26-35

3.2.5.6. Kohesi

Kohesi merupakan gaya tarik menarik antar partikel tanah. Bersamaan dengan sudut geser dalam, kohesi merupakan parameter kuat geser tanah yang menentukan ketahanan tanah terhadap deformasi akibat tegangan yang bekerja pada tanah dalam hal ini berupa gerakan lateral tanah. Deformasi ini terjadi akibat kombinasi keadaan kritis pada tegangan normal dan tegangan geser yang tidak sesuai dengan faktor aman dari yang direncanakan. Nilai ini didapat dari pengujian *Direct Share Test*. Nilai kohesi secara empiris dapat dihitung dari data sondir (q_c) yaitu sebagai berikut (Das, 1995) :

$$K \quad (c) = q / 2 \quad (3.4)$$

3.2.5.7. Permeabilitas (k)

Berdasarkan persamaan Kozeny – Carman, nilai permeabilitas untuk setiap layar tanah dapat dicari menggunakan rumus sebagai berikut (Darma, 2015) :

$$k = \frac{e^3}{1+e} \quad (3.5)$$

Untuk tanah yang berlapis –lapis harus dicari nilai permeabilitasnya untuk arah vertikal dan horizontal dapat dicari dengan rumus sebagai berikut (Darma, 2015) :

$$k_v = \frac{H}{\left(\frac{H_1}{k_1} + \frac{H_2}{k_2} + \frac{H_n}{k_n}\right)} \quad (3.6)$$

Dengan

H = tebal lapisan

e = angka pori

k = koefisien permeabilitas

k_v = koefisien permeabilitas arah vertikal

k_h = koefisien permeabilitas arah horizontal

Nilai koefisien permeabilitas tanah dapat ditentukan berdasarkan jenis tanah tersebut seperti pada Tabel 3.8

Tabel 3.8 Nilai koefisien permeabilitas tanah (Das, 1995).

Jenis tanah	K	
	Cm/dtk	Ft/mnt
Kerikil bersih	1,00 – 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

3.2.5.8. Sudut Dilatansi (ψ)

Sudut dilatansi (ψ) (psi), dinyatakan dalam derajat. Selain tanah lempung yang terkonsolidasi sangat berlebih, tanah lempung cenderung tidak menunjukkan dilatansi sama sekali (yaitu $\psi = 0$). Dilatansi dari tanah pasir tergantung pada kepadatan dan sudut gesernya. Sudut dilatansi dapat dihitung dari persamaan sebagai berikut (Darma, 2015):

$$\psi = \phi - 3^\circ \quad (3.7)$$

3.2.6. Kekuatan Tanah

Kekuatan tanah bergantung pada tahananannya terhadap tegangan-tegangan geser. Pada dasarnya ketahanan ini terdiri dari kedua komponen yaitu gesekan (*friction*) yang terjadi akibat gesekan antara masing-masing partikel tanah dan lekatan (kohesif) yang merupakan lekatan antara partikel-partikel tanah (Hardiyatmo, 2002)

Tanah harus mampu memikul beban dari setiap konstruksi teknik yang diletakkan pada tanah tersebut tanpa kegagalan (*shear failure*) geser dan dengan penurunan (*settlement*) yang dapat ditolelir untuk konstruksi tersebut. Kegagalan geser tanah dapat menimbulkan distorsi bangunan yang berlebihan dan bahkan keruntuhan. Penurunan yang berlebihan dapat mengakibatkan kerusakan struktural pada kerangka bangunan, gangguan-gangguan seperti pintu dan jendela yang sukar dibuka, retak-retak pada lapisan porselen dan plesteran, dan pemakaian berlebihan atau kerusakan peralatan karena ketidaksejajaran akibat penurunan pondasi (Bowles, 1991).

Untuk membandingkan kekuatan tanah dengan gaya yang bekerja nilai kekuatan tanah perlu dikali suatu angka koreksi untuk mengetahui nilai kekuatan izin tanah dalam hal ini disebut angka aman/faktor aman. Faktor aman atau *safety factor* (SF) adalah suatu hal yang sangat penting dalam analisis dan perencanaan secara keseluruhan. Faktor aman diberikan dengan maksud sebagai berikut (Hardiyatmo, 2008) :

1. Untuk memberikan keamanan terhadap ketidak pastian metode hitung yang digunakan.
2. Untuk memberikan keamanan terhadap variasi kuat geser kompreibilitas tanah.
3. Untuk meyakinkan bahwa material cukup dan aman untuk digunakan dan mendukung beban yang bekerja.
4. Untuk meyakinkan bahwa penurunan total yang terjadi pada tiang tunggal maupun kelompok masih dalam batas toleransi.
5. Untuk meyakinkan bahwa penuurunan tidak seragam diantara tiang-tiang masih dalam batas toleransi.

3.3. Pembebanan

Dalam merencanakan beban untuk rumah dan gedung diharuskan memperhatikan penggunaan beban-beban yang diizinkan dalam perencanaan. Dalam buku Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung, 1987 (SKBI) yaitu :

1. Beban hidup

Beban hidup adalah semua beban yang terjadi akibat penggunaan suatu gedung dan kedalamnya termasuk beban-beban yang bekerja pada lantai berasal dari barang yang dapat berpindah tempat, mesin-mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian tak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung tersebut, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap dari bangunan tersebut.

Tabel 3. 9 Nilai-nilai beban hidup PPPURG, 1987 (SKBI)

Jenis Beban Hidup	Nilai Beban	Satuan
Ruang kuliah / kantor	250	Kg/m ²
Dag	100	Kg/m ²
Tangga	300	Kg/m ²

2. Beban mati

Beban mati adalah berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung tersebut.

Tabel 3. 10 Nilai-nilai beban mati PPPURG, 1987 (SKBI)

Jenis Beban Hidup	Nilai Beban	Satuan
Beton bertulang	2400	Kg/m ³
Keramik lantai	24	Kg/m ²
Spesi (per 1cm tebal)	21	Kg/m ²

Tabel 3.10 (Lanjutan)

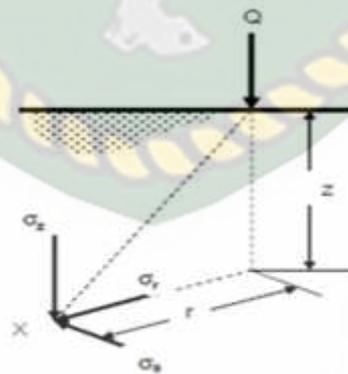
Plafon dan rangka	18	Kg/m ²
Mechanical dan electrical	15	Kg/m ²
Dinding ½ bata	250	Kg/m ²

3.4. Kenaikan Tegangan Di Dalam tanah

Tegangan di dalam tanah yang timbul akibat adanya beban di permukaan dinyatakan dalam istilah tambahan tegangan (*stres incremen*), karena sebelum tanah dibebani, tanah sudah mengalami tekanan akibat beratnya sendiri yang disebut tekanan *overbuden*. Analisis tegangan didalam tanah didasarkan pada anggapan bahwa tanah bersifat elastis, homogen, isotropis, dan terdapat hubungan linier antara tegangan dan regangan (Hardiyatmo, 2002).

3.4.1. Beban Titik

Salah satu dari metode yang paling umum untuk mendapatkan nilai tambahan tegangan dalam tanah adalah dengan persamaan Boussinesq (1885) yang didasarkan pada teori elastisitas. Persamaan Boussinesq menganggap sebuah beban titik pada permukaan suatu belahan ruang yang tak terhingga besar, homogen, isotropis, tak berbobot, dan elastis (Bowles, 1991)



Gambar 3. 3 Tambahan tegangan akibat beban titik vertikal dipermukaan.

Boussinesq (1885) memberikan persamaan penyebaran akibat pengaruh beban titik di permukaan. Tambahan tegangan vertikal akibat beban titik, dinamis dengan meninjau sistem tegangan pada koordinat silinder. Dalam teori ini

tambahan tegangan vertikal pada suatu titik didalam tanah akibat beban titik Q di permukaan dapat dinyatakan dalam persamaan 3.9 (Hardiyatmo, 2002).

$$\Delta\sigma_z = \frac{3}{z} \frac{1}{z^2} \left(\frac{1}{1+(r/z)^2} \right)^{5/2} \quad (3.8)$$

Dengan :

$\Delta\sigma_z$ = tambahan tegangan vertikal

z = kedalaman titik yang ditinjau

r = jarak horizontal titik di dalam tanah terhadap garis kerja beban

Jika faktor pengaruh untuk beban titik didefinisikan sebagai :

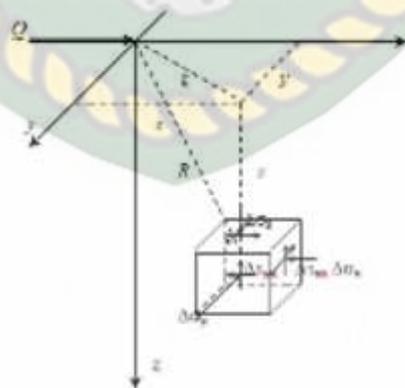
$$I = \frac{3}{z} \left(\frac{1}{1+(r/z)^2} \right)^{5/2} \quad (3.9)$$

Maka Persamaan (3.9) akan menjadi :

$$\Delta\sigma_z = \frac{Q}{z^2} I \quad (3.10)$$

Untuk beban terpusat horizontal di permukaan Cerruti (1882) memberikan persamaan untuk kenaikan tegangan adalah sebagai berikut :

$$\Delta\sigma_z = \frac{3}{z} \frac{z^2}{R^5} \quad (3.11)$$

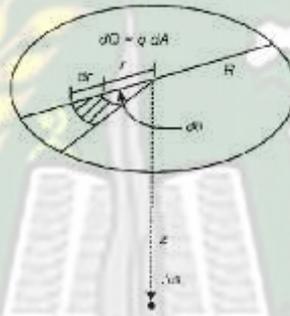


Gambar 3.4 Tambahan tegangan akibat beban titik horizontal di permukaan.

3.4.2 Beban Lingkaran

Denegan integrasi dari persamaan beban titik, dapat diperoleh besarnya tambahan tegangan dibawah pusat pondasi lingkaran fleksibel dengan beban terbagi rata pada luasannya. Tegangan akibat beban lingkaran seperti yang dilihatkan pada Gambar 3.4 ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$d\sigma_z = \frac{z}{zn^2} \left(\frac{1}{[1+(r/z)^2]^{3/2}} \right) d \quad (3.12)$$



Gambar 3.5 Tegangan dibawah beban terbagi rata berbentuk lingkaran

Kemudian $dA = r d\theta$, integrasi persamaan 3.17 akan diperoleh persamaan tegangan dibawah pusat beban terbagi rata berbentuk lingkaran, sebagai berikut:

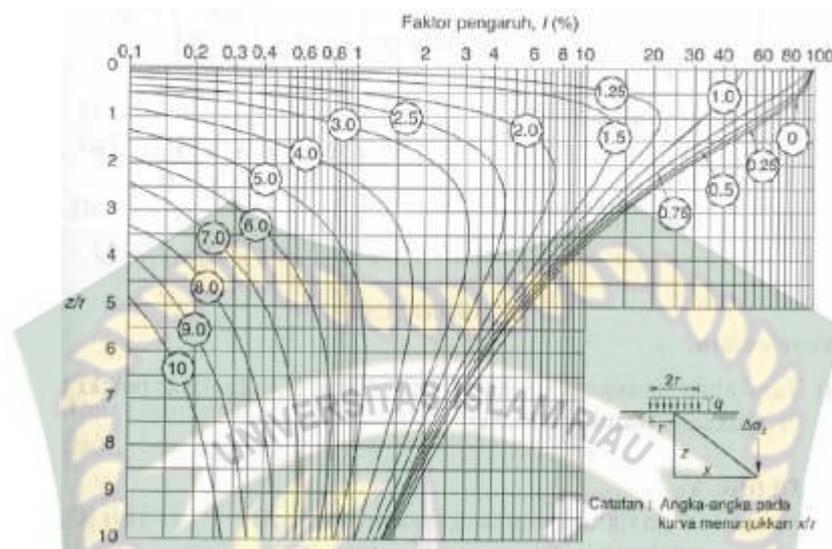
$$\Delta\sigma_z = q \left(1 - \left(\frac{1}{[1+(r/z)^2]^{3/2}} \right) \right) \quad (3.13)$$

$$\Delta\sigma_z = q \quad (3.14)$$

di :

$$I = \left(1 - \left(\frac{1}{[1+(r/z)^2]^{3/2}} \right) \right) \quad (3.15)$$

Nilai faktor pengaruh I untuk tambahan tegangan vertikal dibawah beban terbagi rata berbentuk lingkaran, dapat ditentukan dengan menggunakan Gambar 3.5 (Foster dan Ahlvin, 1954)



Gambar 3. 6 Faktor pengaruh I untuk untuk tegangan vertikal dibawah beban terbagi rata berbentuk lingkaran.

3.6. Metode Elemen Hingga

Plaxis adalah program yang berbasis metode elemen hingga (*finite element method*) untuk aplikasi geoteknik, berguna untuk mensimulasikan perilaku tanah. Dasar-dasar teori yang dipakai : teori deformasi, teori aliran air tanah, teori konsolidasi, teori elemen hingga yang sesuai dengan geoteknik. Sedangkan metode numerik yang menjadi dasar pemrograman Plaxis ini adalah integrasi numerik elemen –elemen garis dan integrasi numerik elemen-elemen berbentuk segitiga. Akurasi hasil (*output*) yang didapatkan dari pemakaian program plaxis ini, apabila ingin dibandingkan dengan hasil yang sebenarnya di lapangan, bergantung pada keahlian pengguna dalam memodelkan permasalahan, pemahaman terhadap model-model, penentuan parameter yang digunakan, dan kemampuan menginterpretasikan hasil analisa menggunakan program plaxis tersebut. Didalam program plaxis ada beberapa jenis permodelan tanah, diantaranya model Mohr-Coloumb dan model tanah lunak (*soft soil*) (Darma, 2015).

Adapun tahapan-tahapan analisa dengan menggunakan metode elemen hingga adalah sebagai berikut (Darma, 2015):

1. Pemilihan tipe elemen

Ada tiga pembagian elemen secara garis besar dalam metode elemen hingga, yaitu

a. 1D (*line element*)

Sering dipakai dalam permodelan *beam element*. *Beam element* menerima momen tahanan (*bending moment*), tegangan normal dan tegangan geser.

b. 2D (*plane element*)

Bentuk elemen 2D yang umum dipakai dalam *triangular element* (segi tiga) dan *quadrilateral element* (segi empat)

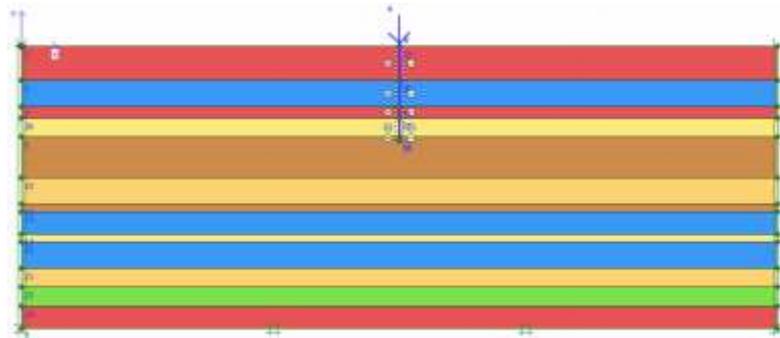
c. 3D

Secara umum elemen-elemen 3D bisa dibedakan menjadi *solid element*, *shell element*, dan *solid – shell element*. Bentuk elemen yang dipakai adalah *tetrahedral element* (limas segitiga) dan *hexahedral element* (balok).

Di dalam elemen terdapat dua jenis titik, yaitu titik nodal dan juga titik integrasi. Titik nodal adalah titik yang menjadi penghubung antara elemen. Perpindahan terjadi pada titik nodal. Titik integrasi (*stress point*) dapat diperoleh tegangan dan regangan yang terjadi pada elemen.

3.6.1. Pemodelan Pada Program Plaxis

Dalam menggunakan program plaxis, pengguna harus mengetahui terlebih dahulu konsep perodelan yang akan dipilih. Sebelum melakukan perhitungan secara numerik, maka terlebih dahulu model dari pondasi yang akan dianalisis, seperti Gambar 3.8



Gambar 3. 7 Pemodelan Analisa pondasi

Material yang dipergunakan dalam pemodelan tersebut adalah material tanah dan material pondasi, dimana masing-masing material mempunyai sifat teknis yang mempengaruhi perilakunya. Dalam program plaxis, sifat-sifat tersebut diwakili oleh parameter dan pemodelan yang spesifik.

3.6.2. Model Tanah Mohr-Coulomb

Pemodelan Mohr-Coloumb mengasumsikan bahwa perilaku tanah bersifat plastis sempurna (linear elastic perfect plastic model), dengan menetapkan suatu nilai tegangan batas dimana pada titik tersebut tegangan tidak lagi dipengaruhi oleh regangan. Input parameter meliputi lima buah parameter yaitu Modulus Young (E), Rasio poisson (ν) untuk memodelkan keelastisitasan tanah, Kohesi (c), sudut geser (ϕ) memodelkan perilaku plastis dari tanah. Dan sudut dilatasi (Ψ) memodelkan perilaku dilatasi tanah (Darma, 2015).

Pada pemodelan Mohr-coloumb umumnya dianggap bahwa nilai E konstan untuk Suatu kedalaman pada suatu jenis tanah, namun jika diinginkan adanya peningkatan nilai E per kedalaman Tertentu disediakan input tambahan dalam program plaxis. Untuk setiap lapisan yang memperkirakan rata-rata kekakuan yang konstan sehingga perhitungan relative lebih cepat dan diperoleh kesan pertama deformasi. Selain lima parameter diatas, kondisi tanah awal memiliki peran penting dalam masalah deformasi tanah.

3.6.3. Model elemen struktur

Dalam konsep input gambar ada beberapa yang harus dilakukan yaitu adalah menggambar batas permasalahan, menggambar *cross section*, menggambar layer, menggambar *sheet pile* dan menggambar distribusi beban.

Berikut ini adalah tools yang digunakan untuk menggambar pada program plaxis yaitu :

1. Titik dan garis

Simbol ini harus dipilih untuk menggambar objek. Penggambaran objek bisa dilakukan dengan mouse atau keyboard. Geometri dari seluruh

objek digambar terlebih dahulu dengan batasan-batasan, agar gaya yang terjadi tidak terpengaruh bila geometri objek diperbesar atau diperkecil.

2. Plates (wall dan plates)

Simbol ini digunakan saat penggambaran struktur tipis dengan kekakuan fleksibilitas terhadap lengkungna dari gaya normal. Struktur yang dapat dimodelkan sebabagi plates dapat berupa tiang pancang dan sheet pile.

3. Interface

Simbol ini digunakan sebagai interaksi dari struktur tanah. Cara penggambaran interface ini sama dengan penggambaran garis, dimana sisi tanah akan terdapat garis putus-putus dan bertanda negatif psitif. Interface banyak digunakan untuk sheet pile.

4. Distributed load

Digunakan untuk menggambar beban yang diberikan oleh objek yang sudah digambar. Setelah beban digambar klik 2 kali pada bagian dasar beban terseut pilih distributed load lalu isi nilai y dengan nilai beban yang diinginkan.

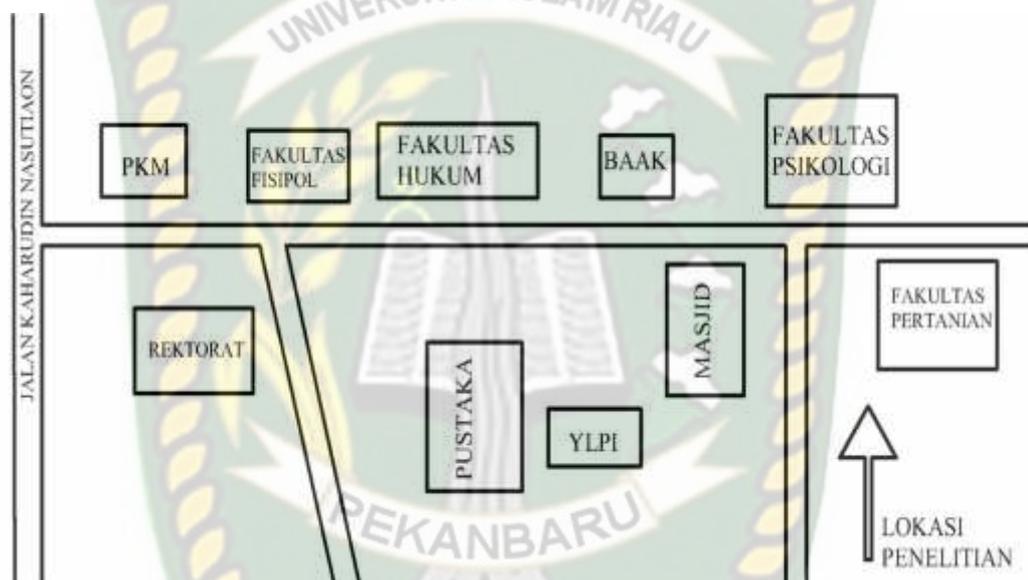
5. Standard fixities

Digunakan untuk menentukan batas dimana tidak ada bentuk peralihan. Peralihan yang terjadi untuk geometri garis nilai koordinat x terendah dan tertinggi sama dengan nol ($U_x=0$), begitu juga dengan koordinat y.

BAB IV METODE PENELITIAN

4.1. Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada gedung Fakultas Pertanian Universitas Islam Riau yang berlokasi di Jalan Kaharuddin Nasution Km 11, Perhentian Marpoyan, Pekanbaru, Riau. Sebagai lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Lokasi pembangunan gedung Biotek Fakultas Pertanian Universitas Islam Riau

4.2. Alat Penelitian

Peralatan umum yang digunakan seperti komputer, printer, kertas HVS, Kalkulator dan alat tulis lainnya, sebagai hasil uotput dari hasil penelitian merupakan dasar yang perlu dipersiapkan. Untuk penelitian ini alat yang menjadi penting agar penelitian dapat tercapai sampai hasil yang diinginkan yaitu suatu aplikasi yang terdapat dalam pada sistem komputer berupa :

1. Software SAP 2000
2. Software Plaxis 2D
3. Software AutoCAD

4. Software Microsoft Office

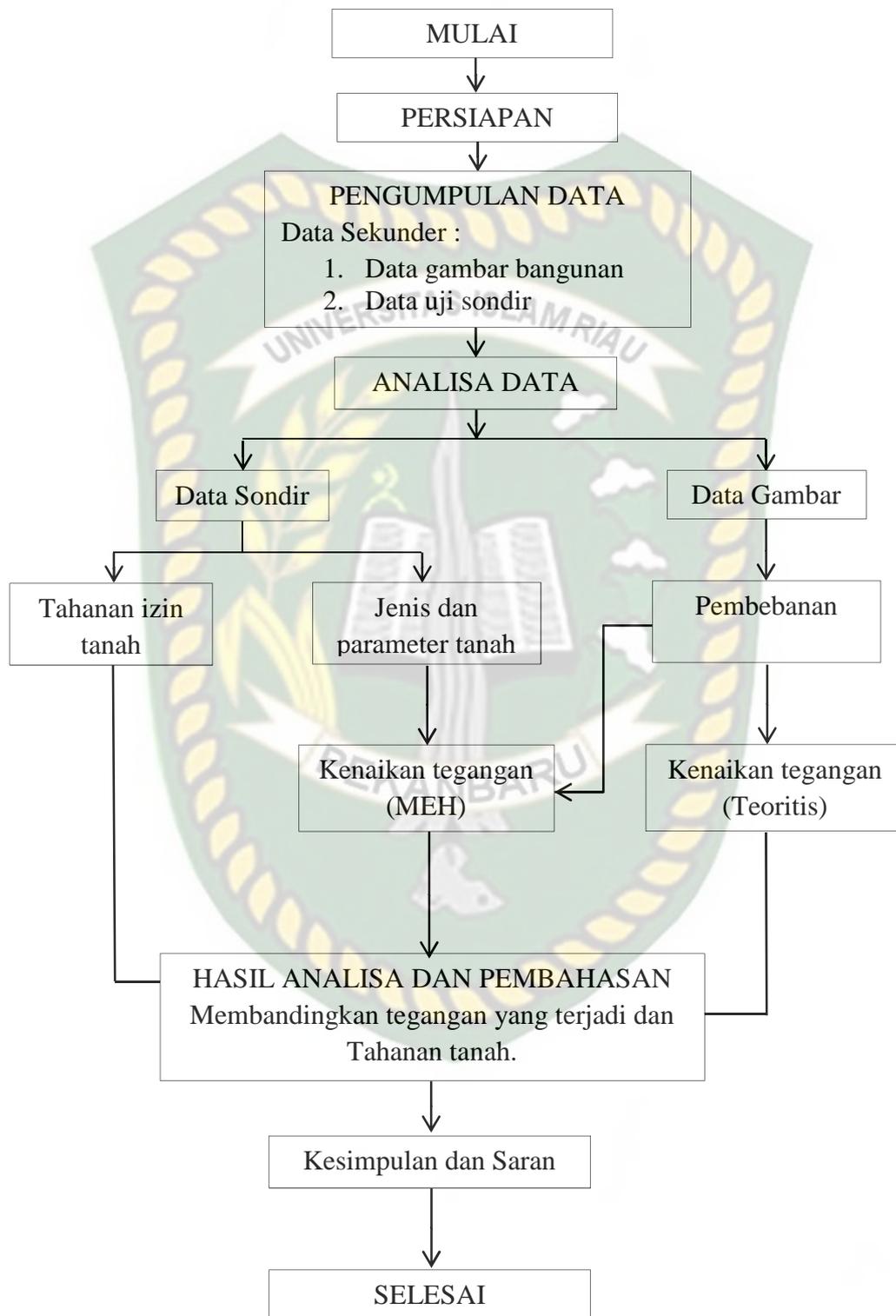
Sehingga data yang didapat dari proyek dapat dipergunakan secara komputerisasi menjadi hasil penelitian.

4.3. Tahapan Pelaksanaan Penelitian

Adapun tahap pelaksanaan penelitian ini dilakukan secara garis besar sebagaimana bagan alir dan secara detail sebagai berikut :

1. Persiapan, melakukan observasi awal untuk pengenalan proyek yang menjadi objek penelitian, serta melakukan persiapan surat-surat administrasi.
2. Pengumpulan data, yaitu data sekunder yang didapat dari CV. MOMENT AREA berupa data gambar struktur gedung dan data penyidikan tanah (sondir) pada pekerjaan pembangunan gedung Biotek Fakultas Pertanian Universitas Islam Riau.
3. Analisa data, adapun analisa yang dilakukan adalah menentukan pembebanan akibat struktur atas, analisa tanah, analisa kenaikan tegangan tanah akibat beban, analisa tahanan tanah berdasarkan data sondir.
4. Hasil analisa, hasil yang didapat berupa nilai kenaikan tegangan tanah dan nilai tahanan izin tanah.
5. Pembahasan, pembahasan yang dilakukan adalah dengan membandingkan hasil kenaikan tegangan yang terjadi akibat struktur dengan hasil analisa tegangan yang mampu dipikul tanah berdasarkan data penyelidikan tanah.
6. Kesimpulan dan saran, dari hasil pembahasan maka dapat diambil kesimpulan dari penelitian ini pada faktor aman berapakah tahanan izin tanah masih mampu menahan kenaikan tegangan tanah akibat beban.

Adapun skema tahapan pelaksanaan penelitian ini dibuat dalam bentuk bagan alir untuk menyederhanakan urutan langkah rangkaian dari suatu proses ke proses lainnya sehingga mudah dipahami dan mudah dilihat bagi pembaca. Bagan alir dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Bagan Alir Penelitian

4.4. Cara Analisis

Cara analisa bertujuan untuk menjelaskan lebih detail lagi dalam penelitian ini seperti yang dirangkum dalam diagram alir Gambar 4.2. adapun cara-cara menganalisis tersebut adalah sebagai berikut :

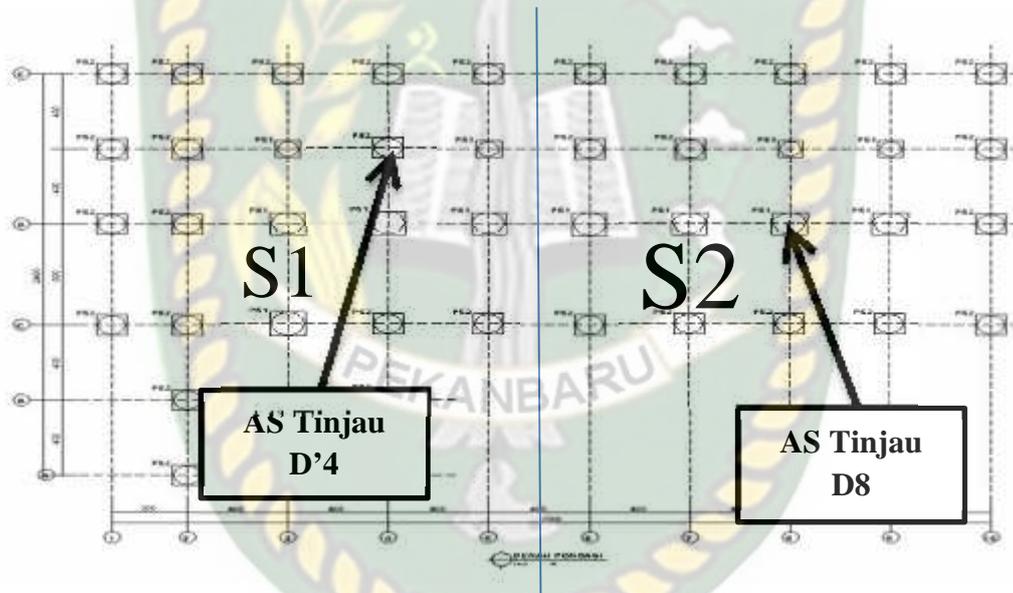
1. Cara menentukan klasifikasi jenis tanah menggunakan metode Robertson dan Campanella (1983).
2. Untuk perhitungan beban aksial gedung aturan yang dipakai dalam pembebanan adalah peraturan pembebanan Indonesia untuk gedung, 1983 (SKBI) menggunakan Program SAP 2000.
3. Dalam menghitung kenaikan tegangan pada tanah secara teoritis akan digunakan teori Boussinesq dan Cerruti. Teori Boussinesq akan digunakan untuk menghitung kenaikan tegangan akibat beban vertikal sedangkan teori Cerruti akan digunakan untuk menghitung kenaikan tegangan akibat beban arah horizontal.
4. Cara analisa metode elemen hingga akan menggunakan program PLAXIS 2D dengan model analisa *Plane Strain*, metode *plane strain* dipilih karena pondasi akan dianalisa untuk satu deret atau satu baris AS pondasi.
5. Kekuatan tanah diambil berdasarkan data sondir.

BAB V

HASIL ANALISA DAN PEMBAHASAN

5.1. Gambaran Umum

Struktur pondasi pada gedung biotek fakultas pertanian Universitas Islam Riau menggunakan pondasi sumuran berdiameter 90 cm, 110 cm, dan 135 cm. Penyelidikan tanah yang dipakai menggunakan data hasil uji CPT (sondir). Penelitian ini dilakukan untuk menentukan nilai kenaikan tegangan tanah yang terjadi akibat beban yang bekerja dan akan dibandingkan dengan kekuatan izin tanah berdasarkan data qc dari uji CPT (sondir).



Gambar 5. 1 Denah pondasi sumuran Gedung Biotek Fakultas Pertanian UIR

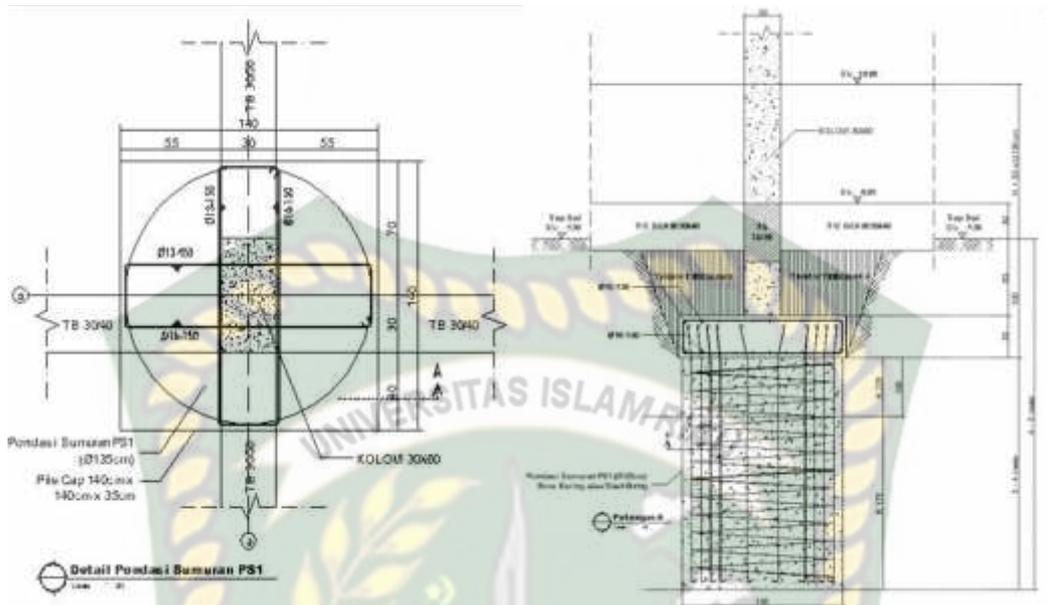
Detail pondasi AS D8 (PS1)

Kedalaman Pondasi = 5 m

Diameter sumuran = 1,35 m

Dalam sumuran = 4 m

Ukuran pile cap = 1,4 m x 1,4 m x 0,35 m



Gambar 5. 2 Detail Pondasi PS1

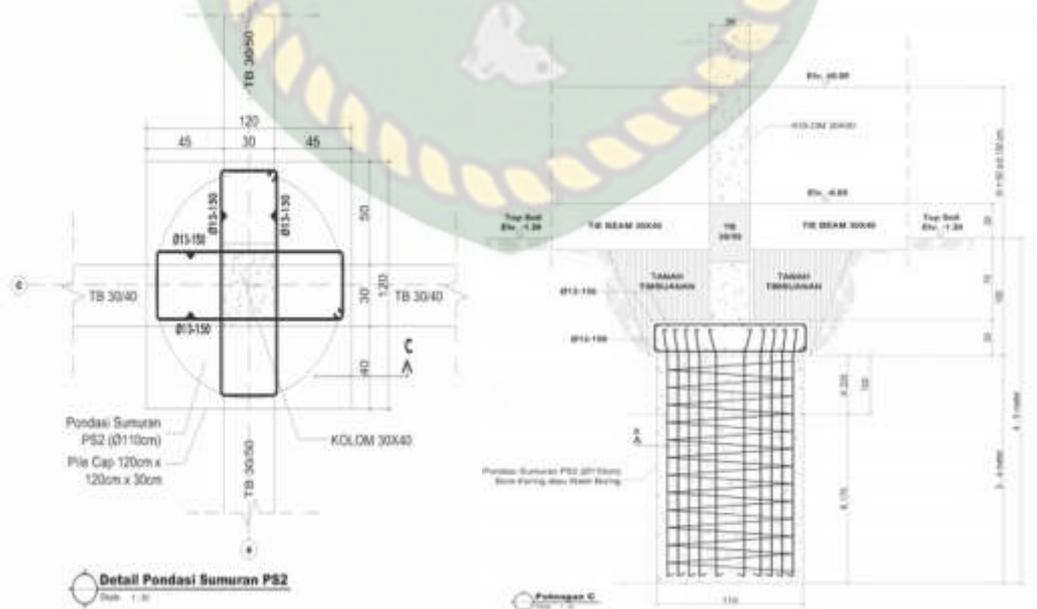
Detail pondasi AS D'4 (PS2)

Kedalaman Pondasi = 5 m

Diameter sumuran = 1,10 m

Dalam sumuran = 4 m

Ukuran pile cap = 1,4 m x 1,4 m x 0,35 m



Gambar 5. 3 Detail Pondasi PS2

Detail ketinggian tiap lantai gedung Biotek Fakultas Pertanian Universitas Islam Riau :

Lantai dasar	= + 0,00 m
Lantai 2	= +4,00 m
Lantai 3	= + 7,80 m
Lantai dag	= +11,60 m



Gambar 5. 4 Tampak depan gedung Biotek Fakultas Pertanian UIR

Untuk detail gambar gedung biotek Fakultas Pertanian Universitas Islam Riau dapat dilihat pada Lampiran B.

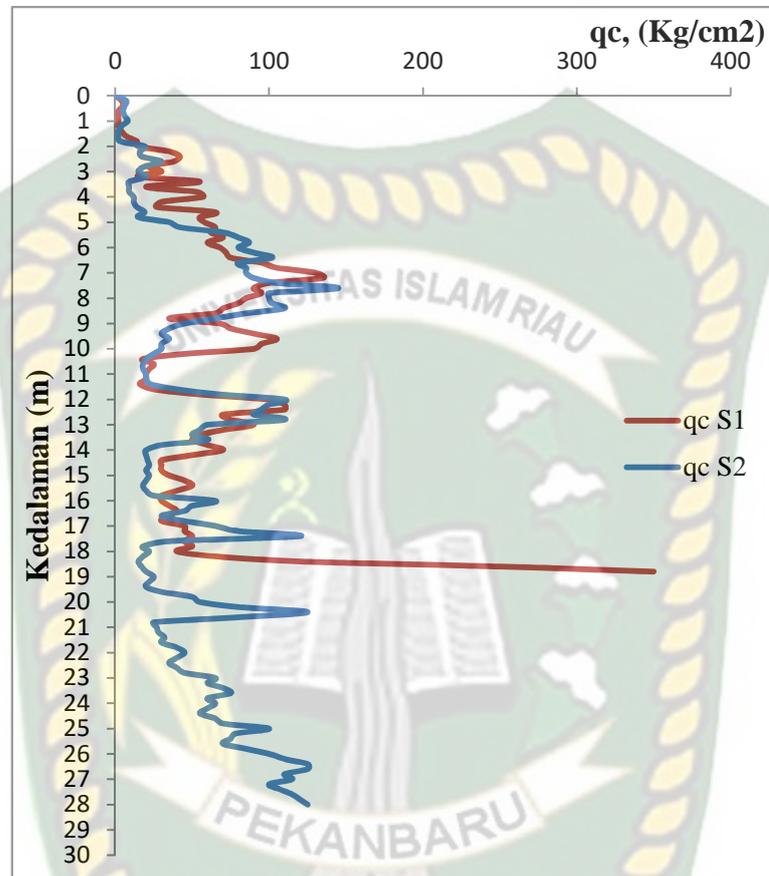
5.2. Hasil Pengolahan Data

Hasil pengolahan data dan perhitungan yang telah dilakukan pada penelitian ini meliputi data yang akan disajikan yaitu hasil klasifikasi jenis tanah, hasil analisa beban, hasil kenaikan tegangan pada tanah, hasil kekuatan izin tanah, dan hasil perbandingan kenaikan tegangan tanah dengan kekuatan izin tanah berdasarkan angka aman yang berbeda.

5.2.1 Hasil klasifikasi jenis tanah berdasarkan data CPT

Pengklasifikasian jenis tanah dilakukan dengan mengkorelasikan data hasil uji penetrasi konus (CPT) yang dapat mewakili jenis tanah pada lokasi gedung penelitian. Perkiraan jenis tanah dilakukan dengan memplot nilai tahanan konus

(q_c) dan rasio gesekan (f_r) kedalam grafik Robertson dan Campanella (1993) sehingga didapat hasil kasifikasi tanah pada kedalaman yang ditinjau.



Gambar 5. 5 Grafik tahanan konus (q_c)

Berdasarkan hasil analisa perkiraan jenis tanah pada lampiran A.1(halaman Lampiran A-1) maka hasil klasifikasi jenis tanah akan disajikan dalam bentuk tabel yang dapat dilihat pada Tabel 5.1 untuk data sondir S1 dan Tabel 5.2 untuk data sondir S2.

Tabel 5. 1 Perkiraan Jenis Tanah Pada titik S1

Kedalaman (m)	Perkiraan Jenis Tanah
0,0 - 1,6	Lempung
1,6 - 2,0	Lanau berlempung sampai lempung berlanau
2,0 - 2,2	Lanau berpasir sampai lanau berlempung
2,2 - 2,6	Pasir berlanau sampai lanau berpasir
2,6 - 3,0	Lanau berpasir sampai lanau berlempung

Tabel 5.1 (Lanjutan)

3,0 - 3,2	Lanau berlempung sampai lempung berlanau
3,2 - 3,4	Pasir berlanau sampai lanau berpasir
3,4 - 3,6	Lanau berlempung sampai lempung berlanau
3,6 - 4,0	Pasir sampai pasir berlanau
4,0 - 4,4	Lanau berpasir sampai lanau berlempung
4,4 - 6,4	Pasir sampai pasir berlanau
6,4 - 7,8	Pasir
7,8 - 8,6	Pasir sampai pasir berlanau
8,6 - 8,8	Lanau berlempung sampai lempung berlanau
8,8 - 9,2	Pasir sampai pasir berlanau
9,2 - 10,0	Pasir
10,0 - 10,2	Pasir berlanau sampai lanau berpasir
10,2 - 10,6	Lanau berpasir sampai lanau berlempung
10,6 - 11,6	Lanau berlempung sampai lempung berlanau
11,6 - 11,8	Pasir sampai pasir berlanau
11,8 - 12,2	Pasir
12,2 - 12,4	Pasir sampai pasir berlanau
12,4 - 13,2	Lanau berpasir sampai lanau berlempung
13,2 - 13,8	Lempung berlanau sampai lempung
13,8 - 15,2	Lanau berpasir sampai lanau berlempung
15,2 - 16,8	Lempung berlanau sampai lempung
16,8 - 18,0	Lanau berlempung sampai lempung berlanau
18,0 - 18,2	Pasir sampai pasir berlanau
18,2 - 18,8	Pasir

Tabel 5. 2 Perkiraan Jenis Tanah Pada titik S2

Kedalaman (m)	Perkiraan Jenis Tanah
0,0 - 1,8	Lempung
1,8 - 3,2	lanau berpasir - lanau berlempung
3,2 - 3,8	Lempung
3,8 - 4,8	lempung berlanau – lempung
4,8 – 7	pasir - pasir berlanau
7,0 - 8,4	Pasir
8,4 - 8,8	pasir - pasir berlanau
8,8 – 10	lanau berpasir - lanau berlempung
10,0 - 10,4	lempung berlanau – lempung

Tabel 5.2 (Lanjutan)

10,4 - 11,8	lanau berpasir - lanau berlempung
11,8 - 12,8	Pasir
12,8 - 13,8	lanau berlempung - lempung berlanau
13,8 - 15,8	Lempung
15,8 - 16,2	pasir berlanau - lanau berpasir
16,2 - 16,8	lanau berpasir - lanau berlempung
16,8 - 17,2	pasir berlanau - lanau berpasir
17,2 - 17,4	Pasir
17,4 - 19,0	lanau berlempung - lempung berlanau
19,0 - 19,6	lanau berpasir - lanau berlempung
19,6 - 20	pasir berlanau - lanau berpasir
20,0 - 20,2	pasir - pasir berlanau
20,2 - 20,4	Pasir
20,4 - 20,6	pasir - pasir berlanau
20,6 - 22,8	lanau berlempung - lempung berlanau
22,8 - 24,8	lanau berpasir - lanau berlempung
24,8 - 28	pasir berlanau - lanau berpasir

Dari hasil perkiraan jenis tanah berdasarkan data sondir (CPT) pada Gambar 5.5, Tabel 5.1 dan Tabel 5.2 diperoleh 7 jenis tanah yang berbeda yaitu, lempung, lempung berlanau-lempung, lanau lempung-lempung berlanau, lanau berpasir-lanau berlempung, pasir berlanau-lanau berpasir, pasir-pasir berlanau, pasir. Data uji sondir S1 digunakan sebagai pembandingan dari nilai kenaikan tegangan vertikal pada pondasi AS D'4 (pondasi PS2) sedangkan data sondir S2 digunakan untuk pembandingan dari nilai kenaikan tegangan vertikal pada pondasi AS D8 (pondasi PS1).

5.2.2. Hasil analisa beban yang bekerja

Analisa beban aksial, beban lateral dan momen yang disalurkan terhadap pondasi menggunakan bantuan program SAP 2000. Data gambar rencana gedung disketsakan pada program SAP 2000 kemudian perhitungan beban yang dianalisa adalah beban hidup (LL) dan beban mati (DL) dengan kombinasi 1 LL + 1 DL. Pemilihan kombinasi beban 1 LL + 1 DL dikarenakan pada penelitian ini hanya

akan memperhitungkan berat asli dari struktur dan berat beban hidup (beban tetap) yang berdasar pada PPURG,1987. Analisa beban yang bekerja dapat dilihat pada lampiran A.2 (halaman Lampiran A-11), sehingga didapat beban yang bekerja pada masing-masing AS gedung. Berikut akan disajikan nilai beban pada AS D8 dan AS D'4 (beban vertikal maksimum untuk PS1 dan PS2) yang dapat dilihat pada Tabel 5.3, untuk hasil beban pada AS lain dapat dilihat pada Tabel A.4 (halaman Lampiran A.16) dan Tabel A.5 (halaman Lampiran A-20).

Tabel 5. 3 Hasil Analisa Beban Pada AS Beban Yang Menerima Beban Aksial Maksimum (AS D8 untuk PS1 dan AS D'4 untuk PS2).

Nomor AS	Gaya	Keterangan	Arah Gaya	Beban Yang Bekerja
AS D8	Gaya Aksial	Beban Struktur Atas	Y	1009,04
		Beban Total		1162,85
	Gaya Lateral	Beban Struktur Atas	X	1,11
			Y	24,42
	Momen	Beban Struktur Atas	X	6,12
			Y	0,87
AS D'4	Gaya Aksial	Beban Struktur Atas	Y	699,91
		Beban Total		801,464
	Gaya Lateral	Beban Struktur Atas	X	0,08
			Y	14,575
	Momen	Beban Struktur Atas	X	0,06
			Y	0,013

Nilai berat struktur atas merupakan hasil dari output program SAP 2000, berat total merupakan berat struktur atas ditambah dengan berat pondasi, beban gaya lateral dan momen adalah hasil dari output SAP 2000.

5.2.3. Hasil analisa kenaikan tegangan vertikal

Beban akibat gedung akan didistribusikan ke tanah lapis dalam oleh pondasi, lalu tanah pada dasar pondasi akan mendistribusikan tekanan akibat gedung dan pondasi ke lapis tanah tanah yang lebih dalam sehingga tanah akan mengalami kenaikan tegangan akibat tekanan tersebut. Pada sub bab ini akan dilakukan pembahasan hasil dari nilai kenaikan tegangan vertikal pada setiap lapisan tanah di dasar pondasi dengan memperhitungkan beban vertikal dan horizontal sedangkan untuk beban momen akan diabaikan. Analisa akan dilakukan pada AS gedung yang menerima beban maksimum yaitu AS D8 untuk tipe pondasi PS1 dan AS D'4 untuk tipe pondasi PS2.



Gambar 5. 6 Skema Analisa kenaikan tegangan vertikal

Analisa kenaikan tegangan vertikal dilakukan dengan 3 tahap yaitu analisa akibat beban AS itu sendiri (sumuran tunggal), akibat pengaruh AS beban lain (sumuran lain), dan akibat beban horizontal. Analisa kenaikan tegangan akibat beban aksial (vertikal) menggunakan teori *boussinesq* dengan asumsi bahwa beban merupakan beban merata berbentuk lingkaran untuk sumuran tunggal dengan $z = 0$ pada dasar pondasi dengan kedalaman tanah 5 m. Kedalaman 5 m dipilih karena pada gambar rencana kedalaman pondasi berada pada kedalaman 4 sampai 5 meter dari muka tanah.

Analisa kenaikan tegangan vertikal sumuran tunggal akan dihitung dengan interval kedalaman $z = 0,2$ m dengan batas analisa pada nilai tegangan tanah

minimal sebesar 10 % dari total tekanan yang terjadi, pada analisa ini hitungan akan dilakukan sampai kedalaman tanah 11,4 m atau pada $z = 6,4$ m karena pada lapisan tersebut tanah dinilai memiliki nilai q_c yang rendah. Untuk lebih jelasnya tentang penerapan asumsi pada analisa ini maka dapat dilihat pada skema Gambar 5.7.



Gambar 5.7 Penerapan Asumsi Untuk Analisa Kenaikan Tegangan Vertikal Akibat Sumuran tunggal.

Contoh perhitungan kenaikan tegangan vertikal akibat sumuran tunggal AS D8

$$\text{Tekanan Beban Analisa (q)} = \frac{P}{A} = \frac{1}{1,4} \cdot 1140 = 812,81 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Kedalaman Analisa (z)} = 0,2 \text{ m}$$

$$\text{Jari-jari beban (r)} = 1,35/2 = 0,675 \text{ m}$$

Dari Persamaan (3.17) diperoleh :

$$I = \left(1 - \left(\frac{1}{[1+(r/z)^2]^{3/2}} \right) \right)$$

$$I = \left(1 - \left(\frac{1}{[1+(0,675/0,2)^2]^{3/2}} \right) \right) = 0,977$$

Dari Persamaan (3.18) diperoleh :

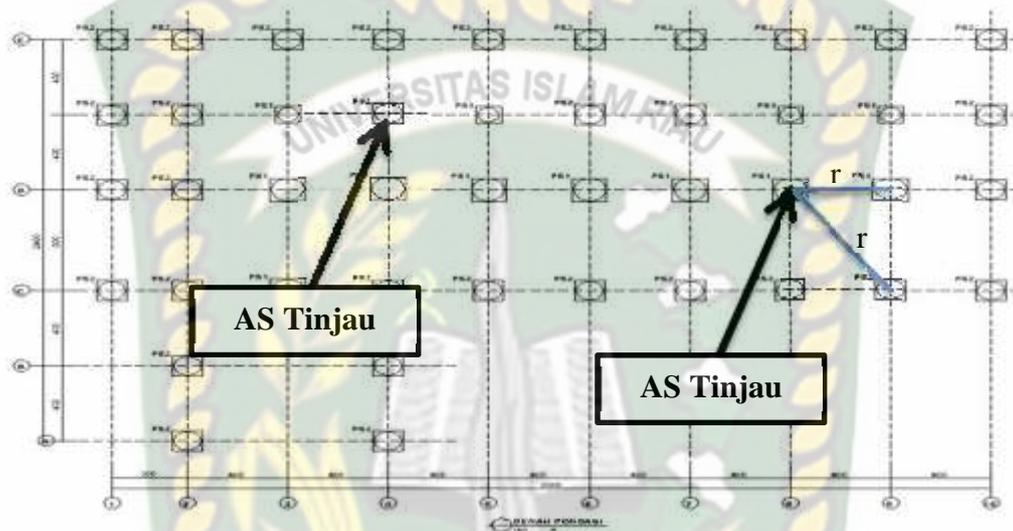
$$\Delta\sigma_z = q$$

$$\Delta\sigma_z = 812,81 \times 0,977 = 794,17 \text{ KN/m}^2$$

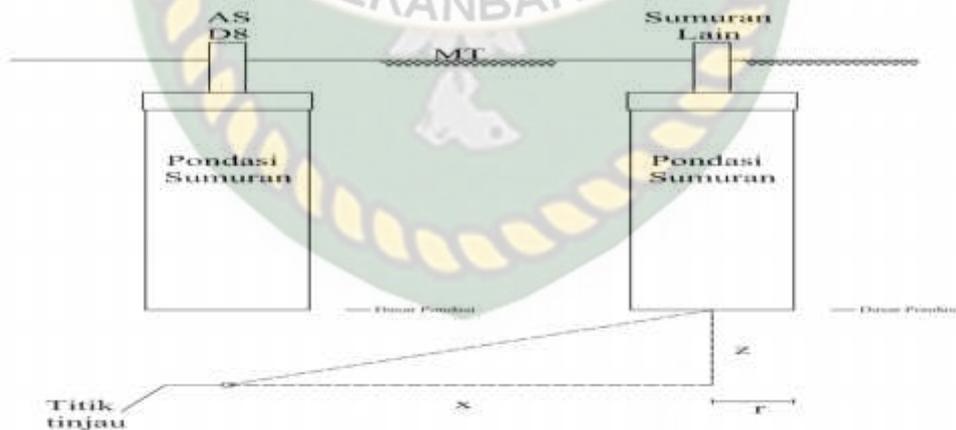
Untuk hitungan selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran A.3.1.1. (halaman Lampiran A-21)

Analisa tambahan kenaikan tegangan vertikal akibat sumuran lain dilakukan dengan anggapan bahwa titik beban pada AS lain akan memberikan pengaruh atau

tambahan kenaikan tegangan vertikal terhadap AS analisa (titik tinjau). Dengan anggapan demikian maka perlu dianalisa berapakah nilai tambahan tegangan vertikal tanah Pada AS tinjau akibat AS beban sumuran lain untuk skema anggapan bahwa AS lain memberikan tambahan tegangan pada titik AS tinjau dapat dilihat pada Gambar 5.8 dan Gambar 5.9.



Gambar 5. 8 Skema Jarak Terdekat AS tinjau Terhadap Sumuran Yang Akan Dianalisa

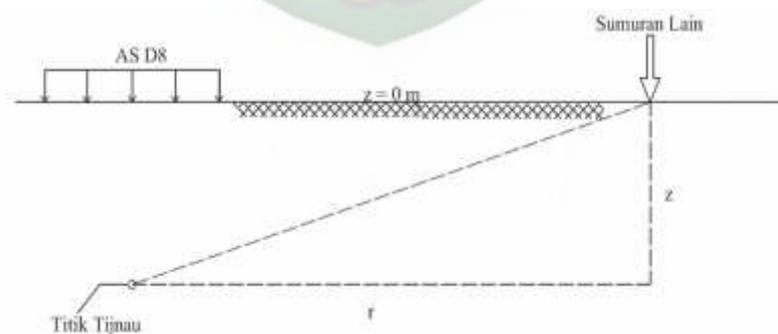


Gambar 5. 9 Skema Tambahan Kenaikan Tegangan Akibat Beban Sumuran Lain

Pada gambar 5.9 dapat dilihat bahwa jarak antara sumuran lain terhadap AS D8 harus diketahui, dalam hal ini jarak tersebut merupakan nilai terkecil atau jarak terdekat antara sumuran AS D8 dengan AS sumuran yang akan dianalisa.

Pada gambar 5.8 dapat dilihat jarak terdekat AS D9 terhadap AS D8 adalah sejauh jarak horizontal antara AS D9 ke AS D8 yaitu 4 m, sedangkan jarak AS C9 terhadap AS D8 dapat dicari dengan persamaan *Phytagoras* $x = \sqrt{a^2 + b^2}$ dimana a adalah jarak horizontal AS dan b adalah jarak vertikal AS maka jarak AS C9 ke AS D8 adalah $x = \sqrt{4^2 + 6^2} = 7,211 \text{ m}$. Untuk jarak AS lain terhadap AS D8 dapat dilihat pada Tabel A.8 (Lampiran A-25).

Setelah jarak horizontal garis beban dan titik tinjau telah diketahui langkah selanjutnya adalah menentukan nilai kenaikan tegangan vertikal tanah terhadap AS tinjau akibat beban sumuran lain. Analisa kenaikan tegangan vertikal tambahan akibat beban sumuran lain dapat dihitung dengan menggunakan formula Bousinesq dengan beban yang bekerja diasumsikan sebagai beban titik atau beban terpusat. Hal tersebut terjadi karena jika diasumsikan sebagai beban merata lingkaran maka penyelesaian dapat menggunakan grafik pada Gambar 3.5 pada grafik tersebut memerlukan nilai z/r dan x/r untuk menentukan nilai pengaruh beban (I) dalam kasus ini nilai x adalah nilai antar AS sumuran lain terhadap AS D8 dan pada grafik tersebut nilai terbesar yang dapat dianalisa untuk mencari nilai I adalah $x/r = 10$ sehingga dengan nilai $r = 0,675$ maka nilai x maksimum yang dapat digunakan adalah 6,75 m sedangkan pada analisa ini nilai x banyak yang melebihi 6,75 m maka untuk keseragaman analisa ditetapkan bahwa untuk analisa tambahan kenaikan tegangan vertikal akibat sumuran lain diasumsikan bahwa beban yang bekerja adalah beban terpusat atau beban titik. Untuk skema analisa dan penerapan asumsi dapat dilihat pada Gambar 5.10



Gambar 5. 10 Skema Analisa Dan Penerapan Asumsi Tambahan Kenaikan Tegangan Vertikal Akibat Beban Sumuran Lain.

Contoh perhitungan kenaikan tegangan vertikal akibat AS D9 terhadap AS D8

Jarak AS D9 ke AS D8 adalah ($r = x$) (Tabel A.8) = 4 m

Dari Tabel A.5 didapat beban yang bekerja sebesar = 1079,63 kN

Titik yang akan ditinjau pada kedalaman (z) = 0,2 m

Maka berdasarkan persamaan (3.10) didapatkan :

$$I = \frac{3}{2\pi} \left(\frac{1}{1+(r/z)^2} \right)^{5/2}$$

$$I = \frac{3}{2\pi} \left(\frac{1}{1+(4/0,2)^2} \right)^{5/2} = 1,48354 \times 10^{-7}$$

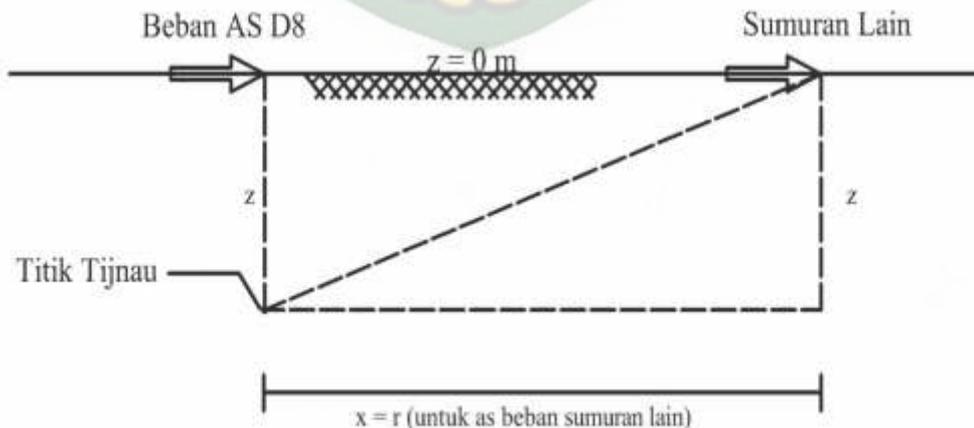
Dan dari persamaan (3.11)

$$\Delta\sigma_z = \frac{Q}{z^2} I$$

$$\Delta\sigma_z = \frac{1079,63}{0,2^2} \times 1,48354 \times 10^{-7} = 0,004 \text{ K /m}^2$$

Untuk perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada lampiran A.3.1.2 (halaman Lampiran A-24)

Kenaikan tegangan vertikal akibat gaya horizontal akan dianalisa dengan persamaan *Cerutti* dengan titik tinjau pada AS D8 dan AS D'4. Beban diasumsikan bekerja pada dasar pondasi $z = 0$ pada kedalaman tanah 5 m. Beban akan diasumsikan seperti berada pada permukaan tanah untuk lebih jelasnya sketsa penerapan asumsi untuk hitungan dapat dilihat pada Gambar 5.11.



Gambar 5. 11 Sketsa Kenaikan Tegangan Vertikal Akibat Beban Horizontal

Nilai jarak beban dan titik tinjau adalah jarak AS beban terhadap AD D8 yang dapat dilihat pada Tabel A.8 (halaman Lampiran A-25) sedangkan besarnya nilai gaya yang bekerja dapat dilihat pada Tabel A.4 (halaman Lampiran A-16).

Berdasarkan persamaan (3.13) $\Delta\sigma_z = \frac{3Q}{2\pi R^2} z^2$ telah dilakukan penyederhanaan persamaan oleh Puri (1998) sehingga persamaan menjadi $\Delta\sigma_z = \frac{Q}{z^2} K_b$ dimana K_b adalah nilai faktor pengaruh beban yang sama seperti persamaan Boussinesq

$$I = \frac{3}{2\pi} \left(\frac{1}{1+(r/z)^2} \right)^{5/2}$$

Contoh perhitungan analisa kenaikan tegangan vertikal akibat beban horizontal :

beban AS D8 terhadap titik tinjau (AS D8) pada $z = 0,2$

Dari Tabel A.4 gaya horizontal = 24,42 KN

Dari Tabel A.8 jarak beban = 0 m

Nilai faktor pengaruh beban (I/K_b) = 0,4775

Maka nilai kenaikan tegangannya adalah :

$$\Delta\sigma_z = \frac{24,42 \times 0}{0,2^3} 0,4775 = 0 \text{ k /m}^2$$

Beban AS D9 terhadap titik tinjau (AS D8) pada $z = 0,2$

Dari Tabel A.4 gaya horizontal = 13,2 KN

Dari Tabel A.8 jarak beban = 4 m

Nilai faktor pengaruh beban (I/K_b) = 1×10^{-7}

Maka nilai kenaikan tegangannya adalah :

$$\Delta\sigma_z = \frac{13,2 \times 4}{0,2^3} 1 \times 10^{-7} = 0,001 \text{ k /m}^2$$

Untuk perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran A.3.2 (halaman Lampiran A-43)

Setelah hasil analisa kenaikan tegangan vertikal akibat sumuran tunggal, sumuran lain, dan beban horizontal diperoleh maka hasil dari ketiga data tersebut dijumlah pada kedalaman yang sama sehingga diperoleh nilai kenaikan tegangan vertikal total pada kedalaman tersebut. Nilai kenaikan tegangan vertikal di bawah pusat pondasi AS D8 dan AS D'4 dapat dilihat pada Tabel 5.4 dan Tabel 5.5.

Tabel 5. 4 Nilai kenaikan tegangan vertikal di bawah pusat pondasi AS D8 (PS1(S2)).

Z (m)	$\Delta\sigma_z$ Akibat beban vertikal		$\Delta\sigma_z$ Akibat Beban Horizontal	$\Delta\sigma_z$ total (KN/m ²)
	Sumuran AS D8	sumuran lain		
0,2	794,171	0,0093	0,003	794,18
0,4	705,113	0,0732	0,012	705,2
0,6	574,462	0,2402	0,0263	574,73
0,8	449,926	0,5479	0,0452	450,52
1	349,986	1,0195	0,0678	351,07
1,2	274,658	1,6628	0,0929	276,41
1,4	218,751	2,4713	0,1195	221,34
1,6	177,064	3,4266	0,1467	180,64
1,8	145,581	4,5019	0,1734	150,26
2	121,431	5,6656	0,199	127,3
2,2	102,609	6,8846	0,2231	109,72
2,4	87,7136	8,1275	0,2451	96,086
2,6	75,7577	9,3657	0,265	85,388
2,8	66,0353	10,576	0,2825	76,893
3	58,0349	11,738	0,2978	70,071
3,2	51,3803	12,84	0,3108	64,531
3,4	45,7906	13,87	0,3217	59,982
3,6	41,0536	14,824	0,3306	56,208
3,8	37,0064	15,698	0,3378	53,042
4	33,5229	16,493	0,3433	50,359
4,2	30,5041	17,21	0,3473	48,062
4,4	27,8718	17,853	0,3501	46,075
4,6	25,5632	18,425	0,3516	44,34
4,8	23,5278	18,93	0,3522	42,811
5	21,7245	19,375	0,3519	41,451

Tabel 5.4 (Lanjutan)

5,2	20,1194	19,762	0,3508	40,232
5,4	18,6848	20,097	0,349	39,131
5,6	17,3974	20,384	0,3467	38,128
5,8	16,2379	20,628	0,3438	37,21
6	15,1901	20,832	0,3405	36,362
6,2	14,24	20,999	0,3369	35,576
6,4	13,3759	21,134	0,3329	34,843

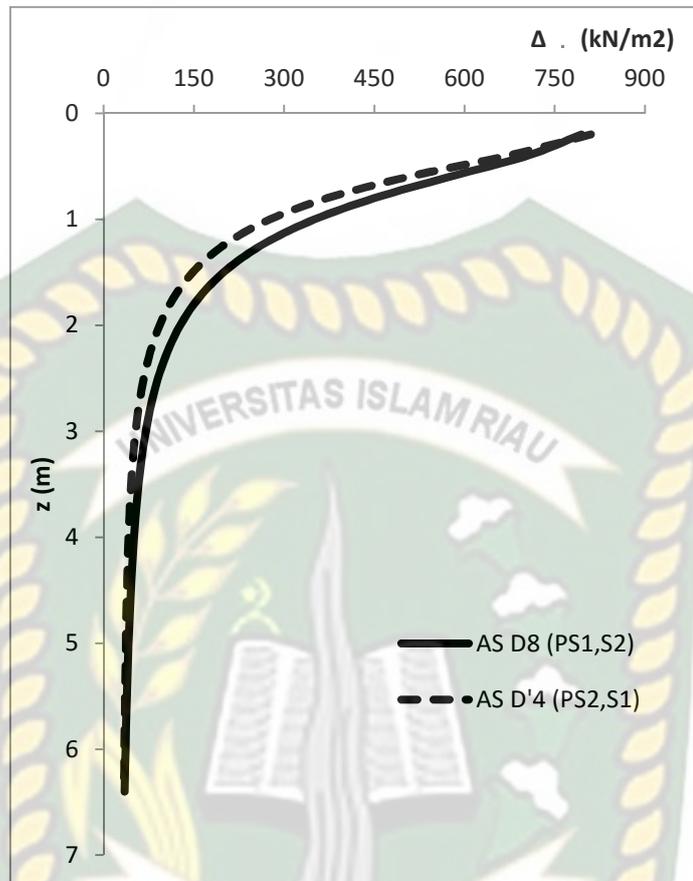
Tabel 5.5 Nilai kenaikan tegangan vertikal di bawah pusat pondasi AS D'4 (PS2,S1).

z (m)	$\Delta\sigma_z$ Akibat beban vertikal		$\Delta\sigma_z$ Akibat Beban Horizontal	$\Delta\sigma_z$ total (KN/m ²)
	Sumuran AS D8	sumuran lain		
0,2	810,1	0,008	0,003	810,11
0,4	672,09	0,066	0,012	672,17
0,6	505,79	0,216	0,0263	506,03
0,8	371,63	0,495	0,0452	372,17
1	276,15	0,928	0,0678	277,15
1,2	209,89	1,527	0,0929	211,51
1,4	163,43	2,29	0,1195	165,84
1,6	130,15	3,208	0,1467	133,51
1,8	105,74	4,262	0,1734	110,17
2	87,404	5,425	0,199	93,028
2,2	73,345	6,671	0,2231	80,24
2,4	62,359	7,971	0,2451	70,575
2,6	53,626	9,297	0,265	63,188
2,8	46,581	10,62	0,2825	57,488
3	40,821	11,93	0,2978	53,049
3,2	36,055	13,2	0,3108	49,563

Tabel 5.5 (Lanjutan)

3,4	32,069	14,41	0,3217	46,803
3,6	28,703	15,56	0,3306	44,597
3,8	25,836	16,64	0,3378	42,817
4	23,376	17,65	0,3433	41,365
4,2	21,248	18,57	0,3473	40,166
4,4	19,397	19,42	0,3501	39,163
4,6	17,776	20,18	0,3516	38,311
4,8	16,349	20,87	0,3522	37,576
5	15,086	21,49	0,3519	36,931
5,2	13,964	22,04	0,3508	36,355
5,4	12,962	22,52	0,349	35,834
5,6	12,063	22,94	0,3467	35,354
5,8	11,255	23,31	0,3438	34,906
6	10,525	23,62	0,3405	34,482
6,2	9,863	23,88	0,3369	34,078
6,4	9,2617	24,09	0,3329	33,688

Berdasarkan Tabel 5.3 dan 5.4 akan dibuat suatu grafik nilai kenaikan tegangan vertikal terhadap kedalaman titik tinjau yang dapat dilihat pada Gambar 5.12.



Gambar 5. 12 Hasil Analisa Hubungan Kenaikan Tegangan Vertikal Terhadap kedalaman titik tinjau dari beban yang bekerja.

Dari grafik Gambar 5.12 dapat dilihat bahwa nilai kenaikan tegangan vertikal terbesar terjadi pada dasar pondasi dan nilainya semakin mengecil beriringan dengan bertambahnya nilai kedalaman yang ditinjau, hal ini bisa terjadi karena semakin dalam titik tinjau maka semakin besar pula luas penyebaran tegangannya yang berdampak berkurangnya nilai tahanan yang diterima lapisan tanah.

5.2.5 Hasil Analisa Metode Elemen Hingga (MEH)

Analisa tegangan vertikal dengan metode elemen hingga yang telah dilakukan pada lampiran A.4 (halaman LampiranA-60). Analisa dilakukan dengan memodelkan tanah dengan mohr-coloumb dengan parameter tanah yang didapat dari hasil korelasi data sondir dengan lapisan tanah berdasarkan hasil perkiraan

jenis tanah. Nilai parameter tanah yang digunakan dalam analisa metode elemen hingga dapat dilihat pada Tabel 5.6.

Tabel 5. 6 Parameter tanah

Jenis Tanah	Model material	Tipe material	γ_{sat} (kN/m ³)	γ_{unsat} (kN/m ³)	E_s (kN/m ²)	ϕ	c	ψ	Permeabilitas (m/hari)	ν	R_{max}
Lempung	Mhor-coloumb	Undrain	15,25	14	2500	0	61	0	0,0000864	0,4	0,7
lempung berlanau - lempung	Mhor-coloumb	Undrain	16	15	4000	25	53	0	0,000864	0,3	0,75
lanau berlempung - lempung berlanau	Mhor-coloumb	Undrain	16	15	5000	27	50	0	0,00864	0,3	0,8
lanau berpasir - lanau berlempung	Mhor-coloumb	Undrain	16,5	16	8000	28	48	0	0,0864	0,35	0,85
pasir berlanau - lanau berpasir	Mhor-coloumb	Drain	19,75	13	15000	30	20	0	0,864	0,35	0,9
pasir - pasir berlanau	Mhor-coloumb	Drain	20	14	25000	40	15	10	4,32	0,35	0,9
Pasir	Mhor-coloumb	Drain	21	16	50000	45	0	15	8,64	0,4	0,9

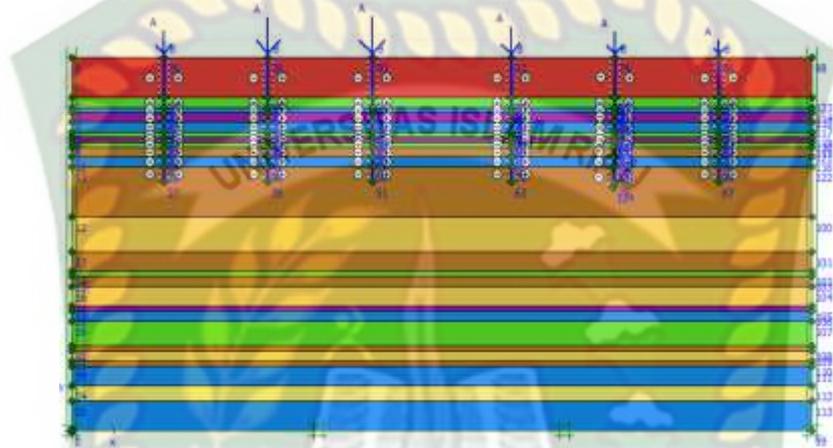
Pada analisa metode elemen hingga pondasi dianalisa dengan model plane strain. Dalam model plane strain Gambar 5.13 pondasi diasumsikan sebagai plate dengan panjang 1 m sehingga untuk model plane strain harus melakukan idealisasi bentuk pondasi dari yang semula lingkaran menjadi plate, analisa idealisasi bentuk pondasi adapat dilihat pada lampiran A.4.2 (halaman Lampiran A-67). Untuk input material set pondasi yang digunakan dalam analisa dapat dilihat pada Tabel 5.7.

Tabel 5. 7 Parameter Struktur Pondasi

<i>Material sets</i>	Model Analisa		
	<i>Plane Strain PS1</i>	<i>Plane Strain PS2</i>	<i>Plane Strain PS3</i>
<i>Set type</i>	<i>Plates</i>	<i>Plates</i>	<i>Plates</i>
<i>Material type</i>	<i>Elastic</i>	<i>Elastic</i>	<i>Elastic</i>
EA	$2,86 \times 10^7$ kN/m	$1,9 \times 10^7$ kN/m	$1,27 \times 10^7$ kN/m
EI	$4,87 \times 10^6$ kN m ² /m	$1,43 \times 10^6$ kN m ² /m	$4,29 \times 10^6$ kN m ² /m

Tabel 5.7 (Lanjutan)

D	1,43	0,95	0,363
ν	0,2	0,2	0,2
W	34,32 kN/m/m	2280 kN/m/m	15,264 kN/m/m

**Gambar 5.13** Pemodelan analisa plane strain

Setelah melakukan permodelan struktur tanah dan pondasi maka hasil kenaikan tegangan vertikal hasil analisa metode elemen hingga dapat dilihat dari hasil *output* program yang berupa gambar yang menunjukkan nilai tegangan yang terjadi pada lapisan tanah. dari data gambar hasil *output* plaxis maka akan direkapitulasi sehingga didapat nilai kenaikan tegangan per lapisan tanah atau per kedalaman titik tinjau yaitu dengan interval 0,2 m dari dasar pondasi. Data yang akan direkapitulasi adalah data hasil *output* tegangan vertikal total yang berada di bawah dasar pondasi. Hal ini bertujuan agar tahap analisa yang dilakukan sama dengan tahap analisa dari hitungan manual. Nilai yang akan dipilih adalah nilai terbesar dari kedalaman yang sama. Hasil kenaikan tegangan vertikal output plaxis dapat dilihat pada pada Tabel 5.8.

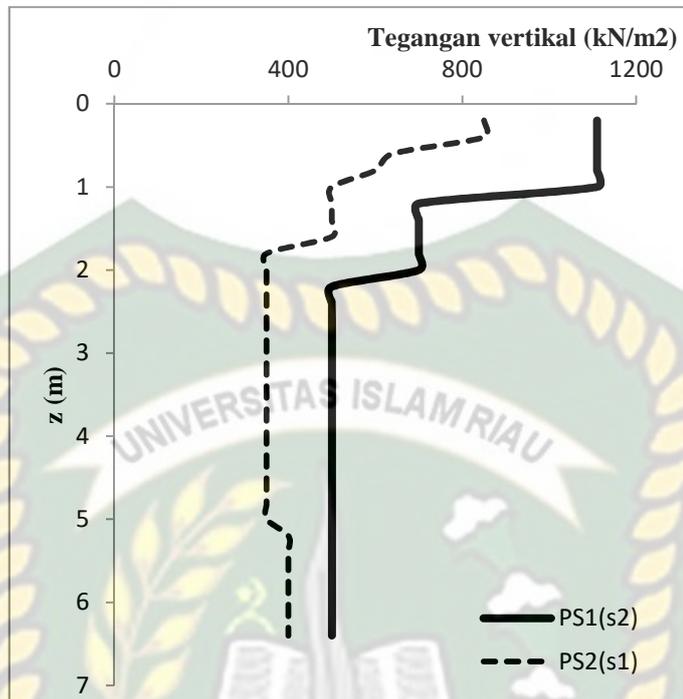
Tabel 5.8 Hasil rekapitulasi nilai tegangan pada tanah hasil ouput MEH.

z	Tegangan Vertikal AS D8 (PS1)		Tegangan Vertikal AS D'4 (PS2)	
	AS 8	AS D	AS 4	AS D'
0,2	1100	900	600	850

Tabel 5.8 (Lanjutan)

0,4	1100	900	600	850
0,6	1100	900	600	500
0,8	1100	900	600	500
1	1100	900	500	500
1,2	600	700	500	350
1,4	500	700	500	350
1,6	500	700	500	350
1,8	500	700	350	350
2	500	700	350	350
2,2	500	500	350	350
2,4	500	500	350	350
2,6	500	500	350	350
2,8	500	500	350	350
3	500	500	350	350
3,2	500	500	350	300
3,4	500	500	350	300
3,6	500	500	350	300
3,8	500	500	350	300
4	500	500	350	300
4,2	500	500	350	300
4,4	500	500	350	300
4,6	500	500	350	300
4,8	500	500	350	300
5	500	500	350	300
5,2	500	500	400	400
5,4	500	500	400	400
5,6	500	500	400	400
5,8	500	500	400	400
6	500	500	400	400
6,2	500	500	400	400
6,4	500	500	400	400

Berdasarkan Tabel 5.8 hasil rekapitulasi nilai tegangan pada tanah hasil output hitungan dengan metode elemen hingga maka akan dibuat grafik nilai tegangan yang terjadi pada tanah dengan nilai maksimum pada setiap kedalamannya yang berdasarkan data analisa titik tinjau. Grafik nilai tegangan yang terjadi pada tanah di bawah dasar pondasi dapat dilihat pada Gambar 5.14.



Gambar 5.14 Hasil Analisa Hubungan Kenaikan Tegangan Vertikal AS D8 dan AS D'4 Terhadap kedalaman titik tinjau hasil MEH.

Dari Gambar 5.14 dapat dilihat bahwa nilai kenaikan tegangan terbesar terjadi pada dasar pondasi dan mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya kedalaman, hal ini juga terjadi seperti hasil analisa dengan cara teoritis yang memiliki nilai terbesar adalah pada dasar pondasi juga hanya saja nilai dari tegangan yang terjadi berbeda.

Nilai kenaikan tegangan dengan metode elemen hingga berbeda dengan nilai kenaikan tegangan secara teoritis hal ini dapat terjadi dikarenakan pada analisa kenaikan tegangan secara teoritis dengan teori boussinesq menggunakan anggapan dalam analisisnya diantaranya adalah tanah berupa elastis, homogen, isotropis, dan semi tak terhingga, tanah tidak mempunyai berat, hubungan regangan mengikuti hukum hooke, distribusi akibat beban tidak bergantung pada jenis tanah, distribusi tegangan simetri terhadap sumbu vertikal, perubahan volume tanah diabaikan, dan tanah tidak mengalami tegangan sebelum beban Q . Sedangkan dalam analisa MEH tanah dimodelkan dengan berbagai jenis tanah yang diperoleh dari analisa klasifikasi tanah dan dengan menginputkan parameter tanahnya dengan korelasi terhadap teori terkait sehingga pada proses analisa yang

tidak dilakukan dalam hitungan secara teoritis di lakukan oleh software dengan metode elemen hingga. Dari perbedaan analisa itulah yang dapat memengaruhi perbedaan nilai hasil kenaikan tegangan yang bekerja pada tanah,

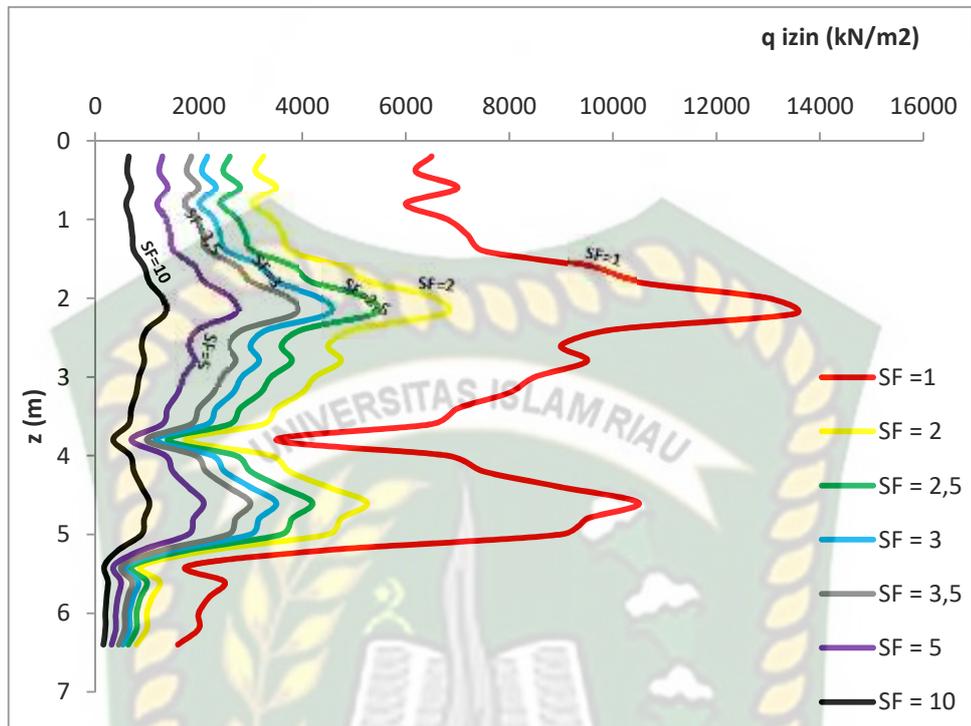
5.2.7. Hasil analisa kekuatan tanah

Besarnya nilai kekuatan tanah untuk menahan kenaikan tegangan vertikal diambil dari hasil uji sondir lapangan, nilai perlawanan yang digunakan adalah nilai perlawanan konus (q_c) dimulai pada dasar pondasi yaitu pada kedalaman 5 m dikarenakan pada analisa kenaikan tegangan vertikal dimulai $z = 0$ m pada dasar pondasi.

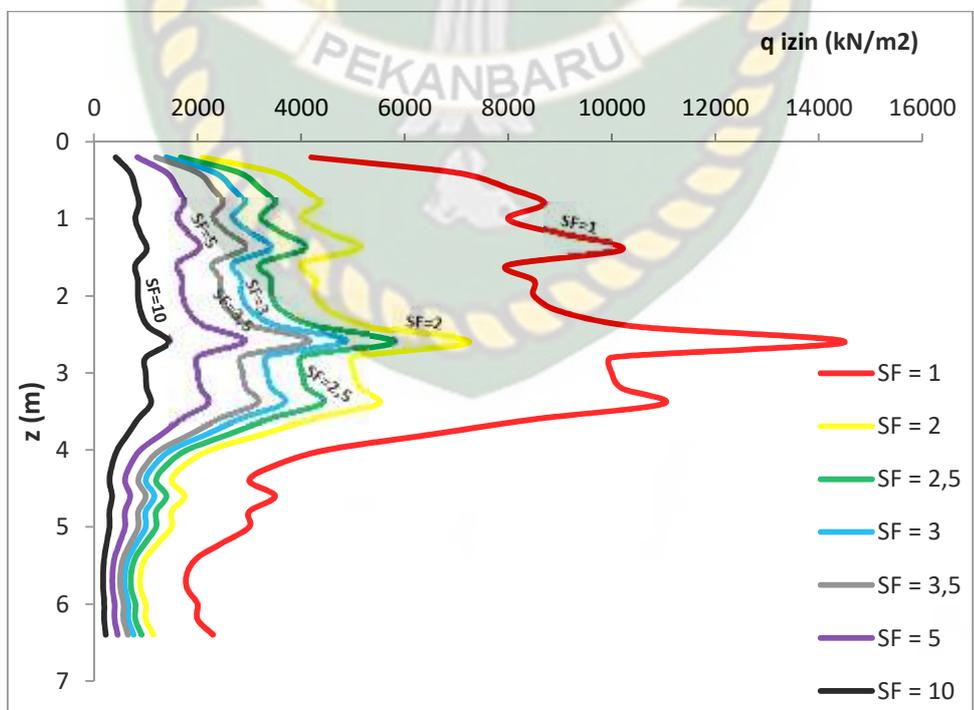
Berdasarkan nilai tahanan ujung tiang yaitu $Q_{b_{ult}} = q_c \times A_b$, dengan menetapkan luasan yaitu sebesar 1 m^2 maka nilai kekuatan *ultimit* tanah (q_{ult}) sama dengan nilai q_c nya, maka harus dicari nilai dari kekuatan tanah izin (q_{izin}) untuk dibandingkan dengan nilai kenaikan tegangan tanah. nilai kuat izin tanah didapat dari hasil bagi nilai kuat *ultimit* tanah (q_c) dengan suatu angka aman.

Nilai angka aman yang akan digunakan dalam penelitian ini akan diambil bervariasi yaitu mulai dari angka aman dua (2), dua koma lima (2,5), tiga (3), tiga koma lima (3,5), lima (5), dan sepuluh (10). Pemilihan angka aman yang bervariasi bertujuan untuk menentukan pada batas angka aman berapakah tanah masih mampu menahan kenaikan tegangan tanah akibat beban struktur.

Berdasarkan analisa yang telah dilakukan pada lampiran A.5 (halaman Lampiran A-76) maka diperoleh nilai kekuatan izin tanah untuk setiap lapisan tanah di bawah dasar pondasi. Hasil analisa akan disajikan dalam grafik dengan nilai q_{izin} per kedalaman tanah +0,2 m, hal ini dikarenakan akan dilakukannya perbandingan antara kenaikan tegangan vertikal dengan kekuatan tanah dari hasil analisa ini. Untuk lebih jelasnya nilai kekuatan tanah izin dapat dilihat pada Gambar 5.15 dan Gambar 5.16.



Gambar 5. 15 Nilai tahanan izin tanah data sondir S1 di bawah dasar pondasi (kedalaman 5 m sampai 11,4 m)



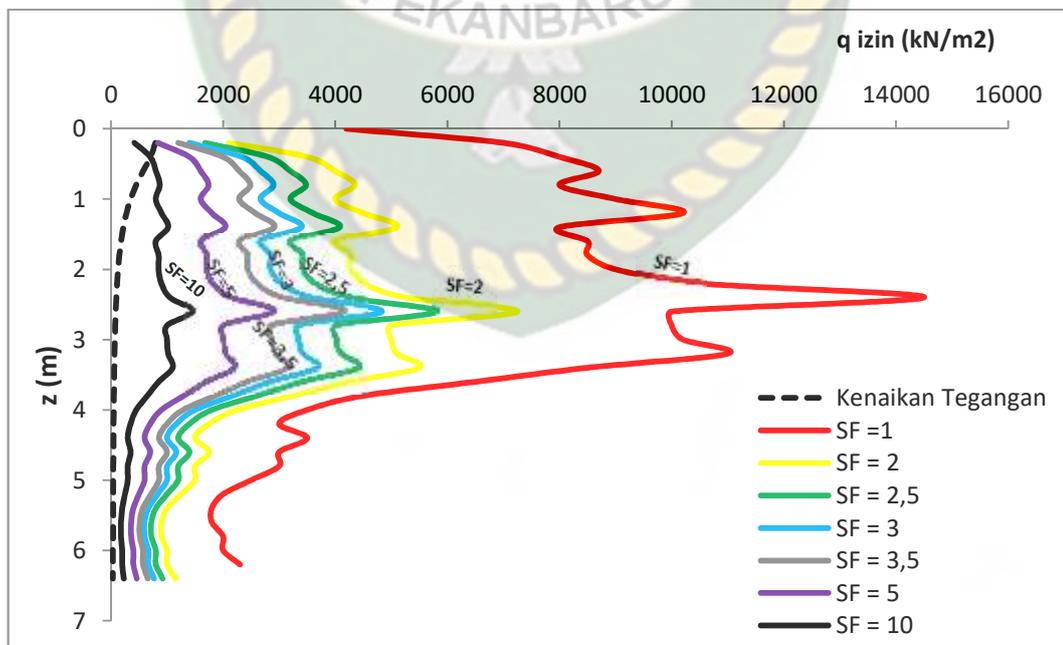
Gambar 5. 16 Nilai tahanan izin tanah data sondir S2 di bawah dasar pondasi (kedalaman 5 m sampai 11,4 m)

Dari Gambar 5.15 dan 5.16 dapat dilihat nilai kekuatan tanah izin di bawah dasar pondasi hingga kedalaman -11,4 m ($z = 6,4$), nilai kekuatan tanah yang menurun dipengaruhi oleh nilai tahanan konus (q_c) dan jenis tanahnya.

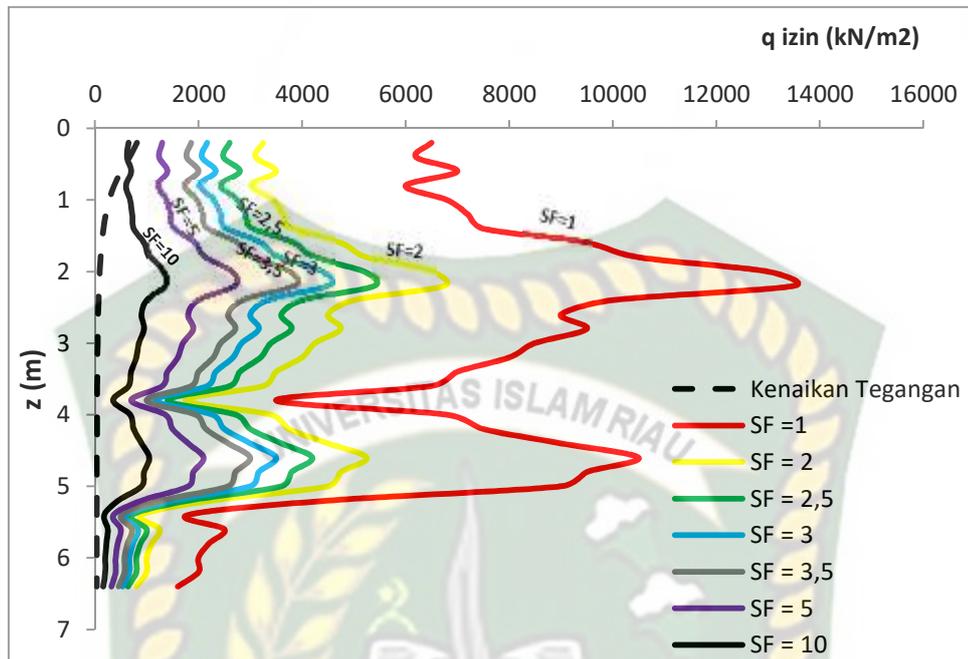
5.2.8. Perbandingan Nilai Tegangan Yang Terjadi Dan Kekuatan Izin Tanah

5.2.8.1. Perbandingan Kenaikan Tegangan Tahah Hasil Hitungan Teoritis Terhadap Nilai Tahanan Izin Tanah Dengan Berbagai Nilai SF

Nilai hasil analisa kenaikan tegangan secara teoritis (boussineseq dan cerruti) akan dibandingkan dengan kuat izin tanah dengan berbagai nilai angka aman, perbandingan ini dilakukan untuk mengetahui padah kuat izin tanah dengan menggunakan angka aman berapakah yang nilainya masih melebihi nilai kenaikan tegangan tanah ataupun sebaliknya. Nilai kuat izin yang melebihi nilai kenaikan tegangan tanah dapat menjadi salah satu faktor untuk dikatakan bahwa tanah mampu memikul kenaikan tegangan yang terjadi. Grafik perbandingan nilai kenaikan tegangan dengan kuat izin tanah secara teoritis dapat dilihat pada Gambar 5.17 dan Gambar 5.18.



Gambar 5. 17 Perbandingan kenaikan tegangan tanah secara teoritis terhadap nilai tahanan izin tanah dengan berbagai nilai SF pondasi PS1 (AS D8) dengan data sondir S2.



Gambar 5. 18 Perbandingan kenaikan tegangan tanah secara teoritis terhadap nilai tahanan izin tanah dengan berbagai nilai SF pondasi PS2 (AS D'4) dengan data sondir S1.

Dari Gambar 5.17 dan Gambar 5.18 dapat dilihat grafik perbandingan antara kenaikan tegangan tanah terhadap nilai tahanan izin tanah dengan berbagai nilai angka aman, dan didapat hasil nilai kenaikan tegangan tanah melampaui nilai tahanan izin tanah dengan nilai angka aman 10 untuk kedua jenis pondasi..

Langkah selanjutnya adalah menghitung nilai rasio adalah hasil bagi antara nilai tahanan izin tanah dengan nilai kenaikan tegangan tanah. Dari hasil pembagian tersebut kita dapat mengetahui apakah nilai tegangan tanah masih mampu ditahan oleh kekuatan izin tanah dengan indikator apabila nilai rasio lebih dari atau sama dengan satu maka tanah mampu menahan kenaikan tegangan tanah, apabila nilai rasio kurang dari satu maka tanah tidak mampu menahan kenaikan tegangan tanah. Adapun nilai perbandingan atau rasio tahanan izin tanah terhadap nilai kenaikan tegangan vertikal dapat dilihat pada Tabel 5.9 dan Tabel 5.10

Tabel 5. 9 Rasio tahanan izin tanah terhadap nilai kenaikan tegangan vertikal secara teoritis pondasi sumuran PS 1 (AS D8) terhadap data sondir S2.

Z (m)	Rasio						
	SF = 1	SF = 2	SF = 2,5	SF = 3	SF = 3,5	SF = 5	SF = 10
0,2	5,29	2,644	2,12	1,76	1,51	1,06	0,53
0,4	9,93	4,963	3,97	3,31	2,84	1,99	0,99
0,6	13,9	6,96	5,57	4,64	3,98	2,78	1,39
0,8	19,3	9,656	7,72	6,44	5,52	3,86	1,93
1	22,8	11,39	9,11	7,6	6,51	4,56	2,28
1,2	32,6	16,28	13	10,9	9,3	6,51	3,26
1,4	46,1	23,04	18,4	15,4	13,2	9,22	4,61
1,6	44,3	22,14	17,7	14,8	12,7	8,86	4,43
1,8	56,6	28,29	22,6	18,9	16,2	11,3	5,66
2	66,8	33,39	26,7	22,3	19,1	13,4	6,68
2,2	82	41,01	32,8	27,3	23,4	16,4	8,2
2,4	109	54,64	43,7	36,4	31,2	21,9	10,9
2,6	170	84,91	67,9	56,6	48,5	34	17
2,8	130	65,03	52	43,4	37,2	26	13
3	143	71,36	57,1	47,6	40,8	28,5	14,3
3,2	158	79,03	63,2	52,7	45,2	31,6	15,8
3,4	183	91,69	73,4	61,1	52,4	36,7	18,3
3,6	151	75,61	60,5	50,4	43,2	30,2	15,1
3,8	123	61,27	49	40,8	35	24,5	12,3
4	89,4	44,68	35,7	29,8	25,5	17,9	8,94
4,2	72,8	36,41	29,1	24,3	20,8	14,6	7,28
4,4	65,1	32,56	26	21,7	18,6	13	6,51
4,6	78,9	39,47	31,6	26,3	22,6	15,8	7,89
4,8	70,1	35,04	28	23,4	20	14	7,01
5	72,4	36,19	28,9	24,1	20,7	14,5	7,24
5,2	62,1	31,07	24,9	20,7	17,8	12,4	6,21
5,4	51,1	25,56	20,4	17	14,6	10,2	5,11
5,6	47,2	23,6	18,9	15,7	13,5	9,44	4,72
5,8	48,4	24,19	19,3	16,1	13,8	9,67	4,84
6	55	27,5	22	18,3	15,7	11	5,5
6,2	56,2	28,11	22,5	18,7	16,1	11,2	5,62
6,4	66	33,01	26,4	22	18,9	13,2	6,6

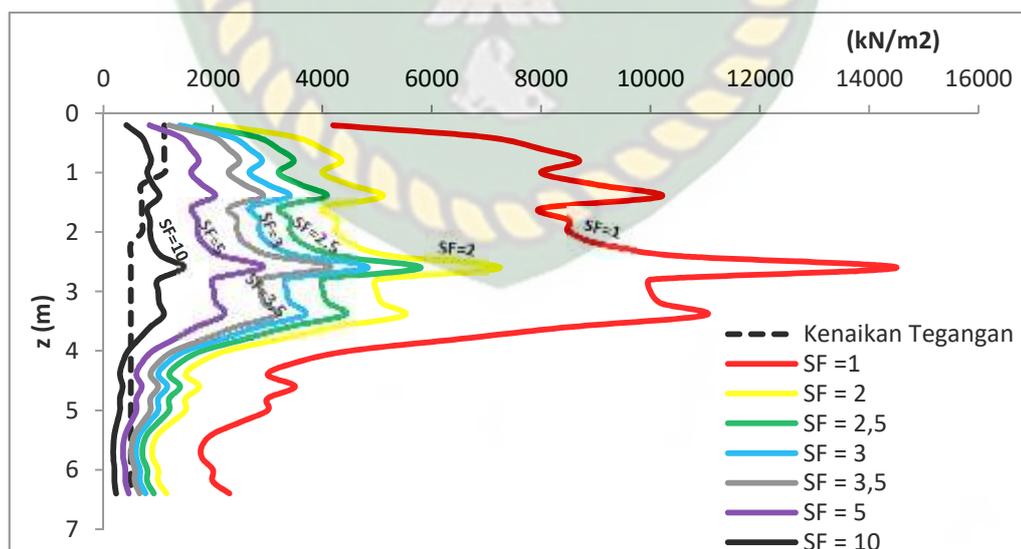
Tabel 5. 10 Rasio tahanan izin tanah terhadap nilai kenaikan tegangan vertikal secara teoritis pondasi sumuran PS 2 (AS D'4) terhadap data sondir S1.

z (m)	Rasio						
	SF = 1	SF = 2	SF = 2,5	SF = 3	SF = 3,5	SF = 5	SF = 10
0,2	8,02	4,012	3,21	2,67	2,29	1,6	0,8
0,4	9,22	4,612	3,69	3,07	2,64	1,84	0,92
0,6	13,8	6,917	5,53	4,61	3,95	2,77	1,38
0,8	16,1	8,061	6,45	5,37	4,61	3,22	1,61
1	24,5	12,27	9,81	8,18	7,01	4,91	2,45
1,2	34	17,02	13,6	11,3	9,73	6,81	3,4
1,4	45,2	22,61	18,1	15,1	12,9	9,04	4,52
1,6	71,2	35,58	28,5	23,7	20,3	14,2	7,12
1,8	95,3	47,65	38,1	31,8	27,2	19,1	9,53
2	140	69,87	55,9	46,6	39,9	27,9	14
2,2	168	84,12	67,3	56,1	48,1	33,6	16,8
2,4	142	70,85	56,7	47,2	40,5	28,3	14,2
2,6	142	71,22	57	47,5	40,7	28,5	14,2
2,8	165	82,63	66,1	55,1	47,2	33,1	16,5
3	160	80,11	64,1	53,4	45,8	32	16
3,2	161	80,71	64,6	53,8	46,1	32,3	16,1
3,4	150	74,78	59,8	49,9	42,7	29,9	15
3,6	146	72,88	58,3	48,6	41,6	29,2	14,6
3,8	81,7	40,87	32,7	27,2	23,4	16,3	8,17
4	164	82,2	65,8	54,8	47	32,9	16,4
4,2	187	93,36	74,7	62,2	53,3	37,3	18,7
4,4	230	114,9	91,9	76,6	65,7	46	23
4,6	274	137	110	91,4	78,3	54,8	27,4
4,8	253	126,4	101	84,3	72,2	50,6	25,3
5	244	121,9	97,5	81,2	69,6	48,7	24,4
5,2	124	61,89	49,5	41,3	35,4	24,8	12,4
5,4	50,2	25,12	20,1	16,7	14,4	10	5,02
5,6	70,7	35,36	28,3	23,6	20,2	14,1	7,07
5,8	63	31,51	25,2	21	18	12,6	6,3
6	58	29	23,2	19,3	16,6	11,6	5,8
6,2	58,7	29,34	23,5	19,6	16,8	11,7	5,87
6,4	47,5	23,75	19	15,8	13,6	9,5	4,75

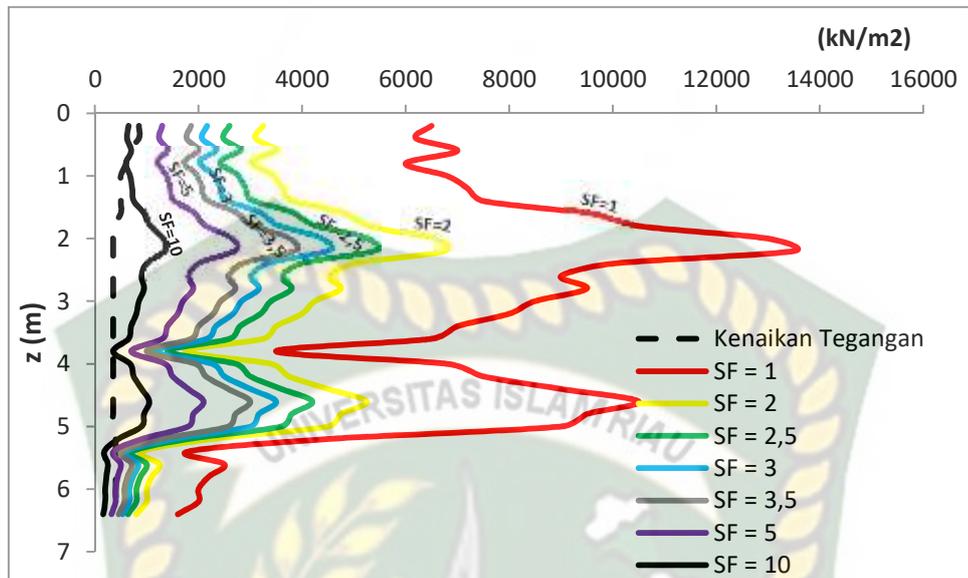
Dari Tabel 5.9 dan 5.10 dapat dilihat nilai rasio atau perbandingan nilai tahanan izin tanah terhadap nilai kenaikan tegangan tanah, nilai rasio kurang dari satu (<1) pada pondasi dengan kuat izin tanah yang menggunakan $SF = 10$ yaitu pada kedalaman sampai dengan 0,4 m (dasar pondasi), sehingga dapat dikatakan kuat izin tanah dengan $SF = 10$ tidak mampu menahan kenaikan tegangan tanah dan nilai tegangan tanah mampu ditahan oleh kuat izin tanah dengan $SF = 5$.

5.2.8.2. Perbandingan Kenaikan Tegangan Tahah Hasil Hitungan Metode Elemen Hingga Terhadap Nilai Tahanan Izin Tanah Dengan Berbagai Nilai SF

Sama seperti sebelumnya nilai hasil analisa kenaikan tegangan secara Metode Elemen Hingga juga akan dibandingkan dengan kuat izin tanah dengan berbagai nilai angka aman. Nilai hasil analisa MEH yang berbeda dengan hasil analisa secara teoritis juga berdampak pada hasil yang akan didapat dari perbandingan kenaikan tegangan MEH dengan kuat izin tanahnya. Grafik perbandingan nilai kenaikan tegangan secara MEH dengan kuat izin tanah dapat dilihat pada Gambar 5.19 dan Gambar 5.20.



Gambar 5. 19 Perbandingan kenaikan tegangan tanah metode elemen hingga terhadap nilai tahanan izin tanah dengan berbagai nilai SF pondasi PS1 (AS D8) dengan data sondir S2.



Gambar 5. 20 Perbandingan kenaikan tegangan tanah metode elemen hingga terhadap nilai tahanan izin tanah dengan berbagai nilai SF pondasi PS2 (AS D'4) dengan data sondir S1.

Dari Gambar 5.19 dan Gambar 5.20 dapat dilihat bahwa nilai dari kenaikan tegangan vertikal dengan metode elemen hingga (MEH) dengan bantuan program plaxis yang dibandingkan dengan nilai tahanan izin tanah dengan berbagai jenis nilai SF yang didapat hasil nilai kenaikan tegangan melebihi nilai tahanan izin tanah dengan angka aman (SF) yaitu 5 dan 10. Selanjutnya akan dicari nilai perbandingan atau rasio nilai tahanan izin tanah terhadap tegangan tanah pada setiap lapisan tanah. Nilai rasio perbandingan setiap lapisan tanah dapat dilihat pada Tabel 5.11 dan Tabel 5.12.

Tabel 5. 11 Rasio tahanan izin tanah terhadap nilai kenaikan tegangan vertikal metode elemen hingga (MEH) pondasi sumuran PS 1 (AS D8) terhadap data sondir S2.

z (m)	Rasio						
	SF = 1	SF = 2	SF = 2,5	SF = 3	SF = 3,5	SF = 5	SF = 10
0,2	3,784	1,892	1,514	1,261	1,081	0,76	0,378
0,4	6,306	3,153	2,523	2,102	1,802	1,26	0,631
0,6	7,207	3,604	2,883	2,402	2,059	1,44	0,721
0,8	7,838	3,919	3,135	2,613	2,239	1,57	0,784
1	7,207	3,604	2,883	2,402	2,059	1,44	0,721
1,2	12,86	6,429	5,143	4,286	3,673	2,57	1,286

Tabel 5.11 (Lanjutan)

1,4	14,57	7,286	5,829	4,857	4,163	2,91	1,457
1,6	11,43	5,714	4,571	3,81	3,265	2,29	1,143
1,8	12,14	6,071	4,857	4,048	3,469	2,43	1,214
2	12,14	6,071	4,857	4,048	3,469	2,43	1,214
2,2	18	9	7,2	6	5,143	3,6	1,8
2,4	21	10,5	8,4	7	6	4,2	2,1
2,6	29	14,5	11,6	9,667	8,286	5,8	2,9
2,8	20	10	8	6,667	5,714	4	2
3	20	10	8	6,667	5,714	4	2
3,2	20,4	10,2	8,16	6,8	5,829	4,08	2,04
3,4	22	11	8,8	7,333	6,286	4,4	2,2
3,6	17	8,5	6,8	5,667	4,857	3,4	1,7
3,8	13	6,5	5,2	4,333	3,714	2,6	1,3
4	9	4,5	3,6	3	2,571	1,8	0,9
4,2	7	3,5	2,8	2,333	2	1,4	0,7
4,4	6	3	2,4	2	1,714	1,2	0,6
4,6	7	3,5	2,8	2,333	2	1,4	0,7
4,8	6	3	2,4	2	1,714	1,2	0,6
5	6	3	2,4	2	1,714	1,2	0,6
5,2	5	2,5	2	1,667	1,429	1	0,5
5,4	4	2	1,6	1,333	1,143	0,8	0,4
5,6	3,6	1,8	1,44	1,2	1,029	0,72	0,36
5,8	3,6	1,8	1,44	1,2	1,029	0,72	0,36
6	4	2	1,6	1,333	1,143	0,8	0,4
6,2	4	2	1,6	1,333	1,143	0,8	0,4
6,4	4,6	2,3	1,84	1,533	1,314	0,92	0,46

Tabel 5. 12 Rasio tahanan izin tanah terhadap nilai kenaikan tegangan vertikal metode elemen hingga (MEH) pondasi sumuran PS 2 (AS D'4) terhadap data sondir S1.

z (m)	Rasio						
	SF = 1	SF = 2	SF = 2,5	SF = 3	SF = 3,5	SF = 5	SF = 10
0,2	7,647	3,824	3,059	2,549	2,185	1,529	0,765
0,4	7,294	3,647	2,918	2,431	2,084	1,459	0,729
0,6	10,94	5,469	4,375	3,646	3,125	2,188	1,094
0,8	10	5	4	3,333	2,857	2	1
1	13,6	6,8	5,44	4,533	3,886	2,72	1,36
1,2	14,4	7,2	5,76	4,8	4,114	2,88	1,44

Tabel 5.12 (Lanjutan)

1,4	15	7,5	6	5	4,286	3	1,5
1,6	19	9,5	7,6	6,333	5,429	3,8	1,9
1,8	30	15	12	10	8,571	6	3
2	37,14	18,57	14,86	12,38	10,61	7,429	3,714
2,2	38,57	19,29	15,43	12,86	11,02	7,714	3,857
2,4	28,57	14,29	11,43	9,524	8,163	5,714	2,857
2,6	25,71	12,86	10,29	8,571	7,347	5,143	2,571
2,8	27,14	13,57	10,86	9,048	7,755	5,429	2,714
3	24,29	12,14	9,714	8,095	6,939	4,857	2,429
3,2	22,86	11,43	9,143	7,619	6,531	4,571	2,286
3,4	20	10	8	6,667	5,714	4	2
3,6	18,57	9,286	7,429	6,19	5,306	3,714	1,857
3,8	10	5	4	3,333	2,857	2	1
4	19,43	9,714	7,771	6,476	5,551	3,886	1,943
4,2	21,43	10,71	8,571	7,143	6,122	4,286	2,143
4,4	25,71	12,86	10,29	8,571	7,347	5,143	2,571
4,6	30	15	12	10	8,571	6	3
4,8	27,14	13,57	10,86	9,048	7,755	5,429	2,714
5	25,71	12,86	10,29	8,571	7,347	5,143	2,571
5,2	11,25	5,625	4,5	3,75	3,214	2,25	1,125
5,4	4,5	2,25	1,8	1,5	1,286	0,9	0,45
5,6	6,25	3,125	2,5	2,083	1,786	1,25	0,625
5,8	5,5	2,75	2,2	1,833	1,571	1,1	0,55
6	5	2,5	2	1,667	1,429	1	0,5
6,2	5	2,5	2	1,667	1,429	1	0,5
6,4	4	2	1,6	1,333	1,143	0,8	0,4

Dari Tabel 5.11 dan 5.12 dapat dilihat nilai rasio atau perbandingan nilai tahanan izin tanah terhadap nilai kenaikan tegangan tanah nilai rasio kurang dari satu (<1) terjadi pada kuat dukung izin tanah yang menggunakan $SF = 5$ dan 10 sehingga dengan nilai SF tersebut tanah tidak mampu menahan kenaikan tegangan yang terjadi. Nilai rasio lebih dari satu (>1) terdapat pada nilai kuat dukung tanah izin dengan SF sampai dengan $3,4$ sehingga dapat dikatakan nilai SF tanah sampai dengan $3,5$.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Nilai kenaikan tegangan tanah terbesar terjadi pada dasar pondasi dan nilainya menurun seiring bertambahnya kedalaman tinjauan, ini dapat diartikan bahawa untuk analisa pondasi lokasi kritis yang perlu diwaspadai adalah dasar pondasi.
2. Nilai kuat izin tanah berbanding lurus dengan nilai tahanan konusnya, semakin tinggi nilai tahanan konus maka makin tinggi pula nilai kuat izin tanahnya.
3. Dari hasil analisa perbandingan antara nilai kuat izin tanah dengan nilai kenaikan yang terjadi maka diperoleh bahwa nilai kuat izin tanah dengan angka aman sama atau kecil dari 5 masih mampu menahan kenaikan tegangan yang terjadi dari analisa secara teoritis dan 3,5 untuk metode elemen hingga, dari hal tersebut dapat dikatakan bahwa nilai kuat dukung pondasi cukup besar dikarenakan nilai angka aman yang besar yaitu 3,5 sampai 5.

6.2. Saran

Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan yang telah dilakukan maka penulis memberikan saran sebagai berikut :

1. Untuk praktisi, kesimpulan poin ketiga dapat dijadikan acuan tahap awal jika akan merancang pondasi sumuran yang berada pada tanah yang mengalami penurunan nilai q_c yaitu dengan nilai SF 3,5 atau lebih.
2. Untuk mahasiswa yang akan melakukan penelitian tugas akhir, dapat melakukan penelitian serupa dengan ukuran pondasi yang berbeda dan kondisi tanah yang berbeda pula

3. Untuk mahasiswa yang akan melakukan penelitian serupa dapat menghitung nilai batas minimum nilai q_c dapat turun di bawah dasar pondasi dengan tinjauan beberapa ukuran pondasi dengan berbagai macam nilai beban struktur yang dapat diambil dari berbagai proyek sehingga didapat hasil dengan ukuran pondasi (x) dan beban sebesar (y) dan bertumpu pada tanah dengan q_c sebesar (z) maka nilai q_c diperolehkan turun pada kedalaman (a) dari dasar pondasi dengan nilai q_c yaitu $1/(b)$ dari nilai q_c pondasi bertumpu.
4. Untuk mahasiswa yang akan melakukan penelitian tugas akhir pada masa mendatang yang sama dengan penelitian ini dapat menggunakan program plaxis 3D atau aplikasi lain seperti Sigma/W.

DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, J. E., 1991, *Analisa dan Desain pondasi*, Edisi keempat Jilid 1, Erlangga, Jakarta.
- Darma, Surya, 2015, *Analisis Daya Dukung Pondasi Bore Pile Tunggal Diameter 100 cm pada Proyek Pembangunan Hotel Drandika Medan, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil Universitas Sumatera Utara, Medan.*
- Das, B. M. 1995. *Mekanika Tanah Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis*, Jilid I. Erlangga , Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum, 1987, *Pedoman Perencanaan Pembebanan Unruk Rumah Dan Gedung*, Jakarta.
- Elri, 2017, *Analisa Kuat Dukung Pondasi Bore Pile Tunggal Pada Pembangunan Perluasan Gedung Kantor Bea dan Cukai JL. Sudirman Pekanbaru*, Tugas Akhir, Universitas Islam Riau.
- Hardiyatmo, Hary Chridtady, 1996, *Mekanika Tanah I*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta
- Hardiyatmo, Hary Chridtady, 2002, *Mekanika Tanah II Edisi 3*, Gajah mada University Pers, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, Hary Chridtady, 2002, *Teknik Pondasi I, Edisi Kedua*, Beta Offet, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, Hary Chridtady, 2008, *Teknik Pondasi II, Jurusan Teknik Sipil Universitas Gajah Mada*, Yogyakarta.
- Nurdian, S, 2015, *Korelasi Parameter Kekuatan Geser Tanah Dengan Meggunakan Uji Geser Langsung Pada Tanah Lempung Subtitusi Pasir*, Universitas Lampung, Bandar Lampung.
- Pratama, Ramanda, 2017, *Tinjauan Kasitas Pondasi Bored Pile Menggunakan Formula Statis Dan Elemen Hingga 2D Pada Gedung E Fakultas Teknik Universitas Islam Riau*, Tugas Akhir, Universitas Islam Riau.
- Puri, Anas, 1999, *Distribusi Tegangan di Dalam Massa Tanah Akibat Beban Terpusat di Permukaan*, Jurnal Saintis, 2 (1), 46-51.

- Putra, Dicky Nanda, 2017, *Tinjauan Ulang Terhadap Pondasi Tiang Bor (Bore Pile) Pada Pembangunan Gedung Mahasiswa Universitas Islam Riau Dengan Metode Elemen Hingga 2D Aksisimetri*, Tugas Akhir, Universitas Islam Riau.
- Satria, Andika 2017, *Tinjauan Kapasitas Dukung Pondasi Bored Pile Menggunakan Analitis dan Metode Elemen Hingga Pada Gedung Fakultas Ilmu Komunikasi Universitas Islam Riau*, Tugas Akhir, Universitas Islam Riau.
- Sosrodarsono, Suyono, dan Nakazawa, Kazuto, 2000, *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*, Pradnya Paramitha, Jakarta.
- Wilhardi, Muhammad, 2015, *Analisis Daya Dukung Pondasi Bore Pile Diameter 0,8 m Menggunakan Metode Analitis dan Metode Elemen Hingga Pada Proyek Pembangunan Hotel Sapadia Medan*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil Universitas Sumatera Utara, Medan.