

TUGAS AKHIR

**ANALISA DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN TANAH
TERHADAP PONDASI *BORED PILE* PADA PROYEK
GEDUNG STUDENT CENTER UNIVERSITAS ATMA JAYA
YOGYAKARTA**

**Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan dalam Menyelesaikan
Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung**



Disusun Oleh :

**Yoga Tiara Sandy
NIM : 30201800187**

**Zaimul Adli Ramadhan
NIM : 30201800193**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
2022**

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN TANAH TERHADAP
PONDASI BORE PILE PADA PROYEK GEDUNG STUDENT CENTER
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA



Yoga Tiara Sandy
NIM : 30201800187



Zaimul Adli Ramadhan
NIM : 30201800193

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, Agustus 2022

Tim Penguji

1. **Prof. Ir. H. Pratikso, MST., Ph.D**
NIDN: 0627115501
2. **Dr. Hj. Hermin Poedjiastoeti, S.si., M. Si**
NIDN: 0631057002
3. **Lisa Fitriyana, ST., M.Eng**
NIDN: 0631128901

Tanda Tangan

Ketua Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Islam Sultan Agung

A/N

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.
NIDN: 0625059102

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No: 60 / A.2 / SA – T / VII / 2022

Pada hari ini tanggal 10-08-2022 berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Pendamping:

1. Nama : Prof. Ir. H. Pratikso, MST., Ph.D
Jabatan Akademik : Guru Besar
Jabatan : Dosen Pembimbing Utama
2. Nama : Dr. Hj. Hermin Poedjiastoeti, S.si., M.Si
Jabatan Akademik : Lektor Kepala
Jabatan : Dosen Pembimbing Pendamping

Dengan ini menyatakan bahwa mahasiswa yang tersebut di bawah ini telah menyelesaikan bimbingan Tugas Akhir:

Yoga Tiara Sandy
NIM : 30201800187

Zaimul Adli Ramadhan
NIM : 30201800193

Judul : Judul Laporan Tugas Akhir ANALISA DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN TANAH TERHADAP PONDASI BORED PILE PADA PROYEK GEDUNG STUDENT CENTER UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA
Dengan tahapan sebagai berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	23/02/2022	ACC
2	Seminar Proposal	07/04/2022	
3	Pengumpulan data	01/06/2022	
4	Analisis data	30/06/2022	
5	Penyusunan laporan	21/02/2022	ACC
6	Selesai laporan	05/08/2022	

Demikian Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir / Skripsi ini dibuat untuk diketahui dan dipergunakan seperlunya oleh pihak-pihak yang berkepentingan

Dosen Pembimbing Utama

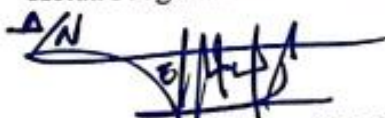
Prof. Ir. H. Pratikso, MST., Ph.D

Dosen Pembimbing Pendamping

Dr. Hj. Hermin Poedjiastoeti, S.si

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

NAMA	: Yoga Tiara Sandy	NAMA	: Zaimul Adli Ramadhan
NIM	: 30201800187	NIM	: 30201800193

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :

ANALISA DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN TANAH TERHADAP PONDASI BORED PILE PADA PROYEK GEDUNG STUDENT CENTER UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA benar bebas dari plagiat, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Semarang, Agustus 2022
Yang membuat pernyataan,

Mahasiswa I

Mahasiswa II



Yoga Tiara Sandy
NIM : 30201800187



Zaimul Adli Ramadhan
NIM : 30201800193



PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

NAMA : Yoga Tiara Sandy NAMA : Zaimul Adli Ramadhan
NIM : 30201800187 NIM : 30201800193
JUDUL TUGAS AKHIR : ANALISA DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN
TANAH TERHADAP PONDASI BORED PILE PADA PROYEK GEDUNG
STUDENT CENTER UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir ini merupakan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan - bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijazah pada Universitas Islam Sultan Agung Semarang atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Demikian pernyataan ini saya buat.

Semarang, Agustus 2022
Yang membuat pernyataan,

Mahasiswa I

Mahasiswa II



Yoga Tiara Sandy
NIM : 30201800187



Zaimul Adli Ramadhan
NIM : 30201800193

MOTTO

كُتِبَ بِهٖ وَلَوْ أَمَنَ أَهْلُ الْكُنُتِ خَيْرَ أُمَّةٍ أُخْرِجَتْ لِلنَّاسِ تَأْمُرُونَ بِالْمَعْرُوفِ وَتَنْهَوْنَ عَنِ الْمُنْكَرِ وَتُؤْمِنُونَ بِاللَّهِ
وَكَثُرَ هُمُ الْفَاسِقُونَ لَكَانَ خَيْرًا لَّهُمْ مِنْهُمْ الْمُؤْمِنُونَ

“Kamu adalah umat yang terbaik yang dilahirkan untuk manusia, menyuruh kepada yang ma'ruf, dan mencegah dari yang munkar, dan beriman kepada Allah. Sekiranya Ahli Kitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka, di antara mereka ada yang beriman, dan kebanyakan mereka adalah orang-orang yang fasik”. **(Surat Ali Imran ayat 110).**

وَلَوْ أَنَّ أَهْلَ الْبُقْعَةِ آمَنُوا وَاتَّقَوْا لَفَتَحْنَا عَلَيْهِم بَرَكَاتٍ مِنَ السَّمَاءِ وَالْأَرْضِ وَلَٰكِنْ
بِمَا كَانُوا يَكْسِبُونَ كَذَّبُوا فَأَخَذْنَاهُمُ

“Jikalau sekiranya penduduk negeri-negeri beriman dan bertakwa, pastilah Kami akan melimpahkan kepada mereka berkah dari langit dan bumi, tetapi mereka mendustakan (ayat-ayat Kami) itu, maka Kami siksa mereka disebabkan perbuatannya”. **(Surat Al-A'raf ayat 96).**

الْوَلُورَ وَطَلَبَ الْعِلْمَ قَرِيبَةً عَلَى كُلِّ مُسْلِمٍ وَوَضِعُ الْعِلْمِ عِنْدَ غَيْرِ أَهْلِهِ كَمَقْلَدِ الْخَنَازِيرِ الْجَوْهَ
وَالذَّهَبَ

"Mencari ilmu adalah kewajiban setiap muslim, dan memberikan ilmu kepada orang yang bukan ahlinya seperti orang yang mengalungi babi dengan permata, mutiara atau emas. " **(HR. Ibnu Majah).**

بِهِ طَرِيقًا إِلَى الْجَنَّةِ وَمَنْ سَلَكَ طَرِيقًا يَلْتَمِسُ فِيهِ عِلْمًا سَهَّلَ اللَّهُ لَهُ
“Barang siapa yang menempuh jalan untuk mencari ilmu, maka Allah akan mudahkan baginya jalan menuju surga." **(HR. Muslim).**

Teman sejati adalah dia yang selalu memberi nasehat ketika melihat kesalahanmu dan dia yang mau membelamu di saat kamu tidak ada. **(Ali bin Abi Thalib)**

Ya Allah, saat aku kehilangan harapan dan rencana, tolong ingatkan aku bahwa cinta-Mu jauh lebih besar daripada kekecewaanku, dan rencana yang Engkau siapkan untuk hidupku jauh lebih baik daripada daripada impianku. **(Ali bin Abi Thalib).**

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, kehadiran Allah SWT atas segala-Nya, sehingga penulis bisa menyelesaikan Laporan Tugas Akhir dan dipersembahkan untuk :

1. Kedua orang tua saya, Bapak Muchlisin Wiwik Mugiyono dan Ibu Mulyaningsih, yang selalu memberikan dukungan, cinta, do'a, dan studi untuk menjadi seseorang yang sukses serta mulia di dunia dan akhirat.
2. Kakakku tercinta Dwi Hariyanto sekeluarga dan Fajar Puput Wibawa sekeluarga terimakasih atas doa dan dukunganya sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini hingga selesai.
3. Dea Adriantia Sari terimakasih atas doa dan semangatnya sehingga dalam penyusunan tugas akhir ini berjalan lancar hingga selesai.
4. Zaimul Adli Ramadhan selaku teman yang sabar dan sungguh-sungguh dalam penyelesaian Laporan Tugas Akhir ini.
5. Rekan Fakultas Teknik UNISSULA periode 2017 & 2018 , yang membantu dan mendukung dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.
6. Semua pihak yang tidak disebutkan dalam membantu membuat penyusunan Laporan Tugas Akhir ini.

Yoga Tiara Sandy
NIM : 30201800187

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, kehadiran Allah SWT atas segala-Nya, sehingga penulis bisa menyelesaikan Laporan Tugas Akhir dan dipersembahkan untuk :

1. Kedua orang tua saya, Bapak Ansori dan Ibu Miftachul Munawaroh, yang selalu memberikan dukungan, cinta, do'a, dan studi untuk menjadi seseorang yang sukses serta mulia di dunia dan akhirat.
2. Kakakku tercinta Fauzi Akbar Himawan dan adekku tersayang Ihza Miftahul Huda terimakasih atas doa dan dukunganya sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Arofi'atin Norita Pramono terimakasih atas doa dan bantuanya sehinnga semangat dalam penyusunan tugas akhir ini sampai tuntas.
4. Yoga Tiara Sandy selaku teman yang sabar dan sungguh-sunnguh dalam penyelesaian Laporan Tugas Akhir ini.
5. Rekan Fakultas Teknik UNISSULA periode 2017 & 2018 , yang membantu dan mendukung dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.
6. Semua pihak yang tidak disebutkan dalam membantu membuat penyusunan Laporan Tugas Akhir ini.

Zaimul Adli Ramadhan
NIM : 30201800193

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmatNya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Analisa Daya Dukung dan Penurunan Tanah Terhadap Pondasi Bored Pile pada Gedung Student Center Atma Jaya Yogyakarta .” Guna memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung.

Penulis menyadari kelemahan serta keterbatasan yang ada sehingga dalam menyelesaikan skripsi ini memperoleh bantuan dari berbagai pihak, dalam kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Bapak Ir. H. Rachmat Mudiyono, MT., Ph.D, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung.
2. Bapak Muhamad Rusli Ahyar S.T., M.Eng selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil UNISSULA yang telah memberikan kelancaran pelayanan dalam urusan Akademik.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Pratikso MST, Ph.D selaku Dosen Pembimbing Utama yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan skripsi ini.
4. Ibu Dr. Hj. Hermin Poedjiastoeti, S.si., M.si selaku Dosen Pembimbing Pendamping yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan skripsi ini.
5. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Sipil UNISSULA yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan baik isi maupun susunannya. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat tidak hanya bagi penulis juga bagi para pembaca.

Semarang, Agustus 2022

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	iv
PERNYATAAN KEASLIAN.....	v
MOTTO.....	vi
PERSEMBAHAN	vii
PERSEMBAHAN	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR NOTASI.....	xvi
ABSTRAK.....	xix
ABSTRACT.....	xx
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan masalah.....	3
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Tujuan	3
1.5. Sistematika Penulisan.....	4
BAB II STUDI PUSTAKA	5
2.1. Pengertian Tanah	5
2.2. Parameter	6
2.2.1. Klasifikasi Tanah dari Data Sondir	7
2.2.2. Klasifikasi Tanah Berdasarkan <i>Standart Penetration Test</i> (N-SPT). ..	8
2.3. Penurunan Tanah	12
2.4. Kapasitas Dukung Pondasi.....	18
2.4.1. Kapasitas Dukung Pondasi <i>Bored Pile</i>	19
2.4.2. Daya Dukung berdasarkan Mayerhof	19

2.4.3.	Daya Dukung Pondasi <i>Bore Pile</i> berdasarkan Data N-SPT	17
2.4.4.	Perhitungan Daya Dukung pondasi (Reese & Wright)	17
2.5.	Perhitungan Pondasi Tiang.....	218
2.5.1.	Analisis Daya Dukung Pondasi	218
2.6.	Kapasitas Kelompok dan Efisiensi	23
2.6.1.	Kapasitas Lateral Ultimit Tiang dengan Metode <i>Reese & Wright</i>	21
2.6.2.	Tiang Dalam Tanah Kohesif.....	25
2.6.3.	Tiang Dalam Tanah Granuler	26
2.6.4.	Penurunan Tiang Tunggal.....	27
2.7.	Penurunan Tiang Kelompok.....	29
2.8.	Tiang Bor (<i>Bore Pile</i>).....	36
2.8.1.	Perhitungan Daya Dukung Vertikal Pondasi Satu Tiang (<i>Single Pile</i>) menurut Meyerhof (1956)	36
2.8.2.	Perhitungan Daya Dukung Pondasi Kelompok Tiang (<i>Group Pile</i>) menurut <i>Converse-Labarre</i>	37
2.9.	Analisis Pemberian Beban dengan Menggunakan Program Software SAP 2000 v.14.....	38
2.10.	Analisis menggunakan Program Software Plaxis 8.6	39
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		37
3.1.	Pendekatan	37
3.2.	Lokasi Penelitian	37
3.3.	Keperluan Data.....	38
3.4.	Pengumpulan Data.....	38
3.5.	Teknik Pengolahan Data.....	38
3.6.	Analisis Data.....	39
3.6.1.	Analisis Beban Maksimum Pondasi <i>Bore Pile</i>	39
3.6.2.	Analisis Daya Dukung Tanah yang akan Terjadi	41
3.6.3.	Analisis Besar Daya Dukung yang diperoleh pada Pondasi	41
	<i>Bore Pile</i>	
3.6.4.	Analisis Besar Penurunan tanah yang akan Terjadi menggunakan Metode Perhitungan Manual <i>Settlement</i>	41
3.7.	Menganalisa Perhitungan Penurunan Pada Tanah.....	42

3.7.1.	Analisis Besar Penurunan tanah yang akan Terjadi menggunakan Metode Perhitungan <i>Software</i> Plaxis 8.6.....	42
3.7.2.	Menganalisis Penurunan dan daya dukung Tanah Menggunakan Perhitungan manual.....	43
3.7.3.	Kebutuhan Jumlah Pondasi <i>Bore Pile</i>	55
3.8.	Permodelan Pondasi <i>Bore Pile</i>	46
3.8.1.	Perhitungan Daya Dukung Vertikal Pondasi Satu Tiang (<i>Single Pile</i>) menurut Meyerhof (1956)	46
3.8.2.	Perhitungan Daya Dukung Pondasi Kelompok Tiang (<i>Group Pile</i>) menurut <i>Converse-Labarre</i>	46
3.10.	Bagan Alir.....	56
BAB IV ANALISA DAN PERHITUNGAN		58
4.1.	Tinjauan Umum	57
4.2.	Tahap Pengerjaan.....	58
4.3.	Hasil Daya Dukung dan Penurunan.....	93
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		95
5.1.	Kesimpulan	95
5.2.	Saran	96
DAFTAR PUSTAKA		97
LAMPIRAN.....		

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Klasifikasi tanah dari data sondir.....	7
Tabel 2.2. Hubungan antara kepadatan, berat jenis tanah kering, nilai SPT, Q_c , dan ϕ	9
Tabel 2.3. Hubungan antara nilai N-SPT dengan berat jenis tanah jenuh (sat) ..	9
Tabel 2.4. Hubungan antara nilai tipikal berat volume kering.....	9
Tabel 2.5. Nilai permeabilitas (k) dalam satuan (m/s).....	10
Tabel 2.6. Rantai nilai koefisien permeabilitas.....	10
Tabel 2.7. Hubungan antara sudut geser dalam dengan jenis tanah.....	11
Tabel 2.8. Hubungan antara sudut geser dalam, tingkat plastisitas, dan jenis tanah	11
Tabel 2.9. Hubungan antara n-spt, kohesi sudut geser tanah	12
Tabel 2.10. Nilai – nilai n_h untuk tanah granuler ($c=0$).....	21
Tabel 2.11. Nilai – nilai n_h untuk tanah kohesif	22
Tabel 4.1. Beban hidup	58
Tabel 4.2. Kategori Resiko.....	59
Tabel 4.3. Faktor keutamaan gempa	59
Tabel 4.4. Kategori desain seismik berdasarkan nilai S_{DS}	59
Tabel 4.5. Kategori desain seismik berdasarkan nilai S_{D1}	60
Tabel 4.6. Hasil beban Struktur Atas	62
Tabel 4.7. Parameter tanah.....	63
Tabel 4.8. Hasil daya dukung pondasi metode Mayerhof.....	64
Tabel 4.9. Hasil daya dukung pondasi metode Reese & Wright	66
Tabel 4.10. Derajat konsolidasi.....	70
Tabel 4.11. Resume daya dukung berdasarkan metode mayerhof dan reese & wright	93
Tabel 4.12. Perhitungan penurunan primer.....	93

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Uji Sondir pada titik SB 1	2
Gambar 2.1. Grafik Hubungan Tekanan Conus dengan perlawanan Geser	8
Gambar 2.2. Tahapan Penurunan Tanah (<i>Ground Settlement</i>)	15
Gambar 2.3. Banyak Baris (n) dan banyak Tiang Per-Baris (m)	20
Gambar 2.4. Grafik Tahapan lateral Ultimit Tiang Pada Tanah Kohesif	23
Gambar 2.5. Grafik Tahapan Lateral Ultimit tiang pada Tanah Granuler	24
Gambar 2.6. Faktor penurunan I_o (Poulos dan Davis).....	25
Gambar 2.7. Koreksi Kedalaman, R_h (Poulos dan Davis).....	25
Gambar 2.8. Koreksi Kekakuan lapisan pendukung, R_b (Poulos Dan Davis)..	26
Gambar 2.9. Berbagai jenis distribusi tahanan selimut di sepanjang tiang.....	28
Gambar 2.10. Proses pemancangan Tiang Bor	30
Gambar 2.11. Contoh permasalahan regangan bidang dan axi-simetri	34
Gambar 2.12. Definisi E_0 dan E_{50}	35
Gambar 3.1. Program Software SAP 2000 v.14	40
Gambar 3.2. Bagan Alir	56
Gambar 4.1. Desain struktur atas <i>software</i> SAP 2000 14	57
Gambar 4.2. Denah joint yang digunakan dalam perhitungan.....	62
Gambar 4.3. Tahanan ultimit	73
Gambar 4.4. Kotak dialog toolbar.....	75
Gambar 4.5. kotak dialog general settings – tab dimensions	76
Gambar 4.6. Pemodelan kontur tanah	76
Gambar 4.7. General mohr - coulomb	77
Gambar 4.8. Parameters mohr coulomb.....	77
Gambar 4.9. Intervaces mohr - coulomb.....	78
Gambar 4.10. Data material pondasi.....	78
Gambar 4.11. Pemodelan	79
Gambar 4.12. Input pembebanan	79

Gambar 4.13. Susunan jaringan elemen.....	80
Gambar 4.14. Ketinggian muka air tanah	80
Gambar 4.15. Muka air tanah.....	81
Gambar 4.16. Output soil stressess	81
Gambar 4.17. Tekanan air pori	82
Gambar 4.18. Prosedur K0.....	82
Gambar 4.19. Tekanan efektif tanah	83
Gambar 4.20. Deformasi yang terjadi	83
Gambar 4.21. Kotak dialog toolbar.....	83
Gambar 4.22. kotak dialog general settings – tab dimensions.....	85
Gambar 4.23. Pemodelan kontur tanah.....	85
Gambar 4.24. General mohr - coulomb	86
Gambar 4.25. Parameters mohr coulomb.....	86
Gambar 4.26. Intervaces mohr - coulomb.....	87
Gambar 4.27. Data material pondasi.....	87
Gambar 4.28. Pemodelan	88
Gambar 4.29. Input pembebanan	88
Gambar 4.30. Susunan jaringan elemen.....	89
Gambar 4.31. Ketinggian muka air tanah	89
Gambar 4.32. Muka air tanah.....	90
Gambar 4.33. Output soil stressess	90
Gambar 4.34. Tekanan air pori	91
Gambar 4.35. Prosedur K0.....	91
Gambar 4.36. Tekanan efektif tanah.....	92
Gambar 4.37. Deformasi yang terjadi	92

DAFTAR NOTASI

Q_p	= Daya Dukung Ujung Tiang (kN)
A_p	= Luas Penampang (m^2)
C_u	= Kohesi Tanah
α	= Faktor Adhesi Empiris
P	= Keliling Tiang (m)
L_i	= Tebal Lapisan Tanah (m)
Q_p	= Daya Dukung Ujung Tiang (kN)
Q_s	= Daya Dukung Slimut Tiang (kN)
Q_u	= Daya Dukung Ultimat Tiang (kN)
C_u	= Kohesi Tanah (kN/m^2)
η	= Efisiensi Kelompok Tiang (%)
m	= Jumlah Tiang Arah Vertical
n	= Jumlah Kolom Arah Vertical
θ	= Arc $tg d/s$
s	= Jarak As Tiang (m)
d	= Diameter Tiang (m)
n'	= Jumlah Tiang
Q_g	= Kapasitas Izin Kelompok Tiang (kN)
N_p	= Jumlah Tiang
V	= Beban Strukturnya (kN)
Q_{tiang}	= Daya Dukung Izin Tiang Tunggal (kN)
E_p	= Modulus Elastis Tiang (kN/m^2)
I	= Momen Inersia (m^4)

nh	= Koefisien Modulus Variasi (kN/m^3)
Kh	= Modulus Reaksi Subgrade (kN/m^3)
Hu	= Daya Dukung Lateral Tiang (kN)
My	= Momen Max Yang Dapat Ditahan Tiang (kN.m)
γ	= Berat Volume Tanah (kN/m^3)
e	= Jarak Beban Horizontal ke Permukaan Tanah (m)
Kp	= Koefisien Tekanan Tanah Pasif
f	= Jarak Kedalaman Titik Dimana Gaya Geser = 0 (m)
Ip	= Momen Inersia Tiang (m^4)
H	
= Beban Lateral (kN)	
L	
= Panjang Tiang (m)	
S	= Total Penurunan (mm)
S1	= Penurunan Batang Tiang (mm)
S2	= Penurunan Tiang Akibat Beban Diujung Tiang (mm)
S3	= Penurunan Tiang Akibat Beban Selimut (mm)
Qwp	= Beban yang Ujung Tiang (kN)
Qws	= Beban Yang Selimut Taing (kN)
Ab	= Luas PEnampang Tiang (m^2)



ξ = 0,5 (Distribusi Tahanan Sepanjang Tiang)

C_p = Koefisien Empiris

S_g = Penurunan Kelompok Tiang (mm)

S_t = Penurunan Tiang Tunggal (mm)

b' = Lebar Kelompok Tiang (mm)

B = Diameter Fondasi (mm)

T = Waktu Penurunan

T_v = Factor Waktu (Derajat Konsolidasi Rata-Rata)

H^2 = Seluruh panjang Lintas Fondasi (m)

C_v = Derajat Konsolidasi ($0.0045 \text{ m}^2/\text{dtk}$)

B_w = Lebar Fondasi (m)

A_g = Luas Penampang Beton (mm^2)

A_{st} = Luas Tulangan (mm^2)

D_{st} = Diameter Tulangan (mm)



ANALISA DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN TANAH TERHADAP PONDASI BORED PILE PADA PROYEK GEDUNG STUDENT CENTER UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA

ABSTRAK

Yoga Tiara Sandy ¹⁾, **Zaimul Adli ramadhan** ¹⁾, **Pratikso** ²⁾, **Hermin Poedjiastoeti** ²⁾

Gedung student center Universitas Atma Jaya Yogyakarta, yang terletak di jalan Babarsari No 44, gedung ini mempunyai 4 lantai menggunakan diameter pondasi *bore pile* 60 cm dengan kedalaman 28 m, memiliki kedalaman tanah keras dikedalaman -28.00m sampai dengan -40.00m, sedangkan tanah lunak berada dikedalaman -0.00m sampai dengan -15.00m, untuk itu dilakukan analisis daya dukung dan penurunan tanah untuk mengetahui daya dukung dan penurunan tanah di lokasi tersebut. Analisis daya dukung dan penurunan tanah menggunakan data uji boring dan SPT (standart penetration test). Pembangunan student center Universitas Atma Jaya Yogyakarta ini terdiri dari 4 lantai.

Metode yang digunakan untuk menghitung daya dukung yaitu metode Mayerhof dan metode Reese & Wright. Pada analisis penurunan menggunakan perhitungan manual *settlement* dan *software* Plaxis v.8.6.

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan dengan pembebanan menggunakan *software* SAP2000 didapatkan beban maksimum sebesar 593,298 ton, dengan merencanakan pondasi *bored pile* diameter 60 cm, dengan kedalaman 28 m dan didapat N-SPT sebesar 47. Hasil perhitungan daya dukung tiang tunggal dan kelompok menggunakan metode Mayerhof sebesar 217,824 ton, dan metode Reese & Wright sebesar 231,36 ton. Besar penurunan yang terjadi sebesar 1,3 cm untuk tiang tunggal dan 3,35 cm untuk tiang kelompok. Penurunan berdasarkan *software* Plaxis v.8.6 pada tiang tunggal sebesar 1,38 cm dan penurunan tiang kelompok sebesar 2,096 cm, dengan batas penurunan izin adalah 6 cm, penurunan tersebut terjadi selama 16 tahun. Kesimpulan ini berdasarkan pada evaluasi yang terjadi pada pondasi *bored pile* yang direncanakan kuat menahan beban struktur atas.

Kata Kunci: *gedung student center; bore pile; settlement; daya dukung; penurunan tanah.*

ANALYSIS OF SOIL SUPPORTING AND DELIVERY OF THE BORED PILE FOUNDATION IN THE STUDENT CENTER BUILDING PROJECT, ATMA JAYA UNIVERSITY YOGYAKARTA

ABSTRACT

Yoga Tiara Sandy ¹⁾, **Zaimul Adli Ramadhan** ¹⁾, **Pratikso** ²⁾, **Hermin Poedjiastoeti** ²⁾

The student center building of Atma Jaya University Yogyakarta, which is located on Jalan Babarsari No. 44, this building has 4 floors using a bore pile foundation diameter of 60 cm with a depth of 28 m, has a hard soil depth of -28.00m to -40.00m, while the ground soft at a depth of -0.00m to -15.00m, for that carried out analysis of the carrying capacity and soil subsidence to determine the bearing capacity and land subsidence at that location. Analysis of bearing capacity and soil settlement using boring test data and SPT (standard penetration test). The construction of the Atma Jaya University Yogyakarta student center consists of 4 floors.

The method used to calculate the carrying capacity is the Mayerhof method and the Reese & Wright method. In the settlement analysis using manual calculation of settlement and Plaxis v.8.6 software.

Based on the analysis that has been carried out with loading using SAP2000 software, the maksimum load is 593,289 tons, by planning the pile foundation drilled 60 cm in diameter, with a depth of 28 m and obtained N-SPT of 47. The results of the calculation of the carrying capacity of single piles and groups using the Mayerhof method of 217,824 tons and the Reese & Wright method of 231.36 tons. The magnitude of the decrease that occurred was 1.3 cm for single piles and 3.35 cm for group piles based on the vesic method. The decrease based on Plaxis v.8.6 software for single piles was 1.38 cm and group piles decreased by 2,096 cm, with a clearance reduction of 6 cm, the decrease occurred for 16 years. This conclusion is based on the evaluation that occurred in the drill pile foundation which is designed to withstand the load of the superstructure.

Keywords: *student center building; bore pile; settlement; bearing capacity; soil subsidence.*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tanah merupakan unsur dasar dari sebuah struktur atau konstruksi, konstruksi tersebut meliputi bangunan gedung, konstruksi jalan, maupun konstruksi yang lainnya. Menurut Bowles (1986), tanah merupakan bahan konstruksi tersedia di lapangan yang sangat ekonomis dan mudah didapatkan. Selain itu, tanah mempunyai sifat ekonomis dan mudah didapatkan akan tetapi tanah juga harus diuji kualitasnya sebelum digunakan sebagai bahan konstruksi untuk menghindari kegagalan konstruksi.

Permasalahan yang sering timbul ketika mendirikan konstruksi diatas tanah adalah sifat – sifat tanah yang buruk seperti kekuatan geser yang terlalu kuat, plastisitas tanah yang tinggi dan beberapa sifat tanah lainnya. Besarnya pengaruh tanah yang terjadi pada perencanaan konstruksi perlu diperhitungkan secara matang.

Tanah yang mengalami penurunan pada konstruksi teknik sipil diakibatkan dari proses konsolidasi tanah pendukung, penurunan tersebut merupakan salah satu aspek utama dalam bidang geoteknik terutama pada lapisan tanah kohesif lunak. Proses konsolidasi tanah merupakan suatu proses disipasi air pori terhadap fungsi waktu. Menurut Terzhagi (1925), dengan menganggap nilai koefisien konsolidasi (C_v) yang konstan dan pengaliran yang terjadi satu arah (arah vertical) selama proses konsolidasi berlangsung. (sampaikan permasalahan tidak ada)

Dari data tanah yang diperoleh yaitu pengujian Sondir (CPT) yang dilakukan pada pembangunan Gedung Student Center Universitas Atma Jaya Yogyakarta yaitu terdapat 5 titik, SB1, SB2, SB3, SB4, SB5. Hasil dari data tersebut menunjukkan bahwa tanah keras di lokasi tersebut berada dikedalaman -36.00m sampai dengan -40.00m, sedangkan tanah lunak dilokasi tersebut berada dikedalaman tanah -0.00m sampai dengan

-20.00m. untuk lebih jelasnya tabel pengujian Boring dapat dilihat dibawah ini.

Tabel 1. Daya dukung ijin tanah, *static cone resistance* SB1

Kedalam dari permukaan tanah setempat (m)	Static cone resistance (q_{c-mean}) (kg/cm ²)	Friction Ratio (%)	Daya dukung ijin rata-rata (MPa)	Perkiraan Jenis tanah (berdasarkan FR)	Kepadatan
-1.00	79.00	0.570	0.263	Pasir	Sedang
-2.00	82.00	0.732	0.273	Pasir	Sedang
-3.00	51.00	1.176	0.170	Pasir	Sedang
-4.00	72.00	0.625	0.240	Pasir	Sedang
-5.00	125.00	0.480	0.417	Pasir	Sedang
-6.00	138.00	0.326	0.460	Pasir	Sedang
-7.00	38.00	1.579	0.127	Pasir Lanau	Lunak
-8.00	67.00	0.896	0.223	Pasir	Sedang
-9.00	114.00	0.395	0.285	Pasir	Sedang
-10.00	91.00	0.659	0.228	Pasir	Sedang
-11.00	124.00	0.363	0.310	Pasir	Sedang
-12.00	73.00	0.616	0.183	Pasir	Sedang
-13.00	94.00	0.479	0.235	Pasir	Sedang
-14.00	105.00	0.571	0.263	Pasir	Sedang
-15.00	91.00	0.495	0.228	Pasir	Sedang
-16.00	446.00	0.135	1.115	Kerikil Pasir	Padat / Keras

Note: Dengan angka aman (safety factor) = 3,00.
1MPa = 10 kg/cm².

Gambar 1.1. Uji Sondir pada titik SB1

(Sumber : Laboratorium Mekanika Tanah Prodi Teknik Sipil UAJY, 2014)

Dari permasalahan di atas di perlukan adanya perhitungan yang menghasilkan stabilitas tanah dan penurunan tanah, supaya dapat mengetahui apakah besar penurunan tanah tersebut memiliki segi aman, dan kuat. Analisis ini mengacu pada tanah yang ada pada Gedung Student Center Universitas Atma Jaya Yogyakarta. Untuk Analisis penurunan tanah peneliti menggunakan perhitungan secara manual dan menggunakan software yaitu SAP 2000 dan Plaxis versi 8.6.

1.2 Rumusan masalah

Perencanaan pada bangunan Gedung Student Center Universitas Atma Jaya Yogyakarta pada intinya membahas persoalan analisis penurunan tanah pada bangunan tersebut, sebagai berikut :

1. Berapa jumlah beban maksimum yang akan diterima oleh pondasi bore pile.
2. Berapa besar daya dukung yang diperoleh pada pondasi bore pile.
3. Berapa besar penurunan tanah yang akan terjadi, dengan menggunakan metode perhitungan manual *settlement*.

4. Berapa besar penurunan tanah yang akan terjadi, dengan menggunakan perhitungan *software* Plaxis 8.6.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penulisan tugas akhir yaitu :

1. Data tanah yang akan digunakan adalah data sondir yang diambil sampelnya dari lokasi bangunan Gedung Student Center Universitas Atma Jaya Yogyakarta dengan kedalaman tanah lunak 2- 7 meter.
2. Struktur atas bangunan Gedung Student Center Universitas Atma Jaya Yogyakarta dihitung dengan menggunakan SAP 2000 14.
3. Permodelan dengan menggunakan *bore pile*
4. Analisis daya dukung tanah pada bangunan Gedung Student Center Universitas Atma Jaya Yogyakarta dengan cara hitungan manual yaitu Mayerhof, Reese & Wright dan Vesic.
5. Analisis penurunan tanah bangunan Gedung Student Center Universitas Atma Jaya Yogyakarta akan menggunakan permodelan dari *software* Plaxis 8.6.

1.4 Tujuan

Tujuan penulisan tugas akhir adalah :

1. Menghitung jumlah beban maksimum dengan menggunakan *software* SAP 2000 14.
2. Menghitung besarnya daya dukung pada pondasi *bore pile* dengan metode Mayerhof, Reese & Wright, dan Converse Labarre.
3. Menghitung besarnya penurunan tanah menggunakan perhitungan manual *settlement*.
4. Menghitung besarnya penurunan tanah menggunakan perhitungan *software* Plaxis 8.6

1.5 Sistematika Penulisan

Penyusunan pada tugas akhir ini akan dibagi menjadi 5 bab, dengan sistematika pekerjaan sebagai berikut :

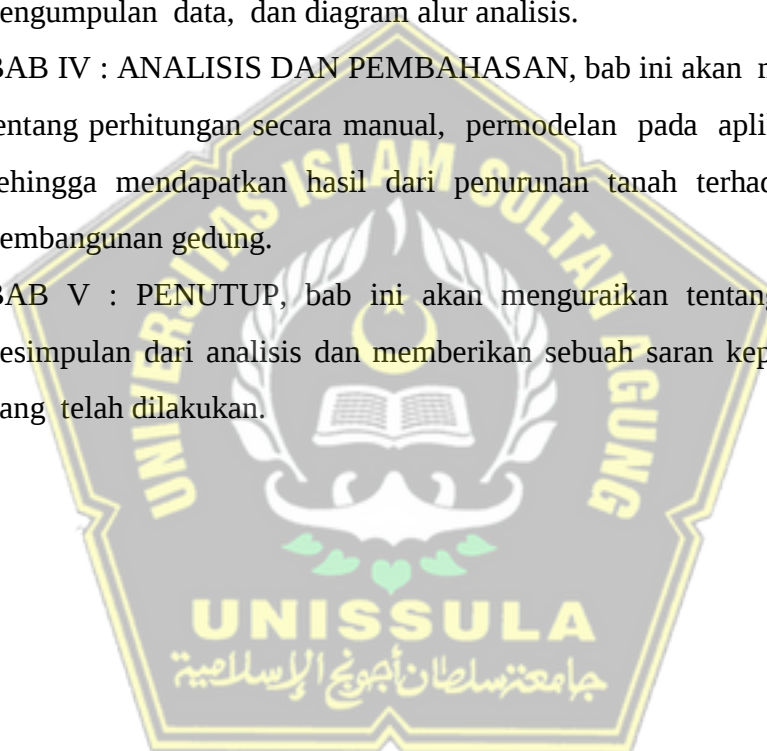
BAB I : PENDAHULUAN, bab ini akan menguraikan tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II : STUDI PUSTAKA, bab ini akan menguraikan tentang penjelasan karakteristik tanah, karakteristik tanah lunak, parameter tanah, dan tahapan pemodelan *software* Plaxis 8.6.

BAB III : METODOLOGI PENULISAN, bab ini akan menguraikan tentang jenis penelitian yang akan dilakukan serta menganalisis penurunan tanah tersebut, jenis data, sumber data, teknik dalam pengumpulan data, dan diagram alur analisis.

BAB IV : ANALISIS DAN PEMBAHASAN, bab ini akan menguraikan tentang perhitungan secara manual, permodelan pada aplikasi Plaxis, sehingga mendapatkan hasil dari penurunan tanah terhadap struktur pembangunan gedung.

BAB V : PENUTUP, bab ini akan menguraikan tentang hasil dan kesimpulan dari analisis dan memberikan sebuah saran kepada analisis yang telah dilakukan.



BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1 Pengertian Tanah

Tanah menurut Sarief (1986) merupakan suatu benda alami yang terdapat dalam permukaan bumi dan tersusun dari bahan-bahan mineral sebagai hasil pelapukan batuan serta bahan organik lain “pelapukan sisa tumbuhan dan hewan” yang merupakan pertumbuhan tanaan dengan sifat-sifat tertentu yang terjadi akibat gabungan dari faktor-faktor alami, iklim, bahan induk, bentuk wilayah dan lamanya waktu pembentukan.

Menurut Das (1985) tanah lempung (*clay*) adalah suatu bagian dari tanah yang terdiri dari partikel mikroskopis dan submikroskopis (tidak dapat dilihat dengan jelas apabila hanya dengan mikroskopis biasa) yang berbentuk dari lempengan-lempengan pipih dan merupakan partikel-partikel dari mika, mineral-mineral lempung (*clay minerals*), dan mineral-mineral yang sangat halus lain. Lempung membentuk gumpalan keras saat kering dan lengket apabila basah terkena air serta memiliki sifat elastis yang sangat kuat. Lempung juga menyusut dalam keadaan kering dan memuai saat basah. Karena perilaku inilah beberapa jenis tanah dapat membentuk kerutan-kerutan atau pecah-pecah apabila dala kondisi kering.

Menurut Budiyanto (2014) tanah pasir *poorly graded* merupakan lahan pasir didominasi oleh pasir dengan kandungan lebih dari 70% yang memiliki porositas rendah atau kurang dari 40. Sebagian besar ruang pori berukuran besar sehingga mempunyai aerasi yang baik, daya hantar cepat, namun kemampuan menyimpan air dan zat hara rendah.

Tanah lunak menurut Rachlan (1986) dan Bina Marga (1999) adalah tanah yang umumnya terdiri dari tanah lempung termasuk material pondasi yang sangat jelek karena kadar airnya yang tinggi, permeabilitas rendah dan sangat compressible dan tanah yang secara visual dapat ditembus dengan

ibu jari minimum sedalam ± 25 mm, atau mempunyai kuat geser 40 kpa berdasarkan uji geser baling lapangan.

Tanah lunak menurut Pedoman Konstruksi dan Bangunan (2005) dan dua orang peneliti yaitu: Soetjiono (2008) dan Pasaribu (2008) tanah lunak merupakan tanah bersifat lemah yang secara alamiah terbentuk dari proses pengendapan sebagai lapisan aluvial, biasanya terdapat di dataran aluvial, rawa dan danau; dan ditinjau secara mekanisme kejadian adalah tanah deposit yang sangat kompresif dan kuat gesernya rendah, kuat geser undrained lapangan kurang dari 40 kPa dan kompresibilitas tinggi.

2.2 Tanah Lunak

2.2.1. Deskripsi Tanah Lunak

Tanah lunak atau juga bisa disebut juga tanah kohesif yaitu tanah yang tersusun dari butiran berdimensi sangat kecil. Tanah lunak mempunyai kuat tekan geser rendah, kompresibilitas tinggi, dan daya dukung rendah serta memiliki koefisien permeabilitas yang kecil. Perlunya pengusutan dan penanganan agar waktu pelaksanaan tidak terjadi permasalahan ketidakstabilan penurunan jangka panjang yang akan berdampak pada kerusakan konstruksi lainnya. Ada dua macam tanah lunak, yaitu tanahlempung dan tanah gambut.

Menurut Terzaghi (1967) tanah adalah lempung kohesi yaitu tanah lunak yang mempunyai daya dukung lebih kecil dari 4 ($N\text{-value} < 4$). Berdasarkan pengujian di lapangan secara fisik menggunakan jari tepak tangan tanah lunak dapat di remas dengan mudah.

Menurut Sukirman (1992), tanah terbagi menjadi 3 kelompok yaitu tanah berbutir kasar $< 50\%$ lolos saringan No. 200, lalu tanah berbutir halus $> 50\%$ lolos saringan No. 200, dan tanah organik yang dapat dikenal dari warna, bau dan sisa tumbuh-tumbuhan yang terkandung didalamnya.

Tabel 2.1 Tipe Tanah Lunak Berdasarkan Kadar Organik

Tipe Tanah	Kadar Organik %
Lempung	<25
LempungOrganik	25-75
Gambut	>75

(Sumber : Departement Pemukiman dan Prasarana Wilayah, 2002).

A. Tanah Lempung Lunak

Menurut Grim (1953) tanah lempung merupakan tanah yang memiliki beberapa partikel mineral tertentu yang menghasilkan sifat plastis pada tanah bila dicampur dengan air. Partikel tanah berukuran lebih kecil dari 2 mikron , atau <5 mikron menurut sistem klasifikasi yang lain .

Umumnya partikel – partikel mineral lempung mempunyai ukuran koloid ($<1 \mu$) dan 2μ adalah batas atas ukuran partikel mineral lempung. Untuk menentukan jenis lempung perlu diketahui kandungan dalamnya karena tidak hanya cukup dilihat dari ukuran butiran saja. ASTM D-653 mempunyai batasan secara fisik ukuran lempung yaitu partikel berukuran antara 0,002 mm – 0,005 mm.

Dalam rekayasa geoteknik terdapat dua jenis penggolongan tanah lempung lunak yang definisinya berdasarkan kuat geser, terdapat pada Tabel 2.2 dibawah ini.

Tabel 2.2. Definisi Kuat Geser Lempung Lunak

Konsentrasi	Kuat Geser
Lunak	12,5-25
Sangat Lunak	<12,5

(Sumber : Departement Pemukiman dan Prasarana Wilayah,2002)

2.2.2. Karakteristik Tanah Lunak

Sifat yang ada dalam tanah lempung pada keadaan kering akan bersifat keras dan ketika basah akan bersifat lunak, plastis, kohesi, mengembang, dan menyusut dengan cepat, sehingga volume nya bertambah besar, tanah sangat berpengaruh dengan air. Tanah lempung juga mempunyai karakter kuat geser yang rendah, menyusut saat kering dan mengembang saat basah, volumenya dapat berubah ketika bertambah waktu, dan merupakan material kedap air.

2.2.3. Masalah yang terjadi pada Tanah Lunak

Masalah pada tanah lunak yang sering terjadi yaitu penurunan tanah yang tinggi. Ketika terjadi gempa disuatu daerah, bangunan diatas struktur pasir akan menjadi tidak stabil dan bergeser ke arah horizontal.

Tanah lunak memiliki kompresibilitas sangat tinggi dengan adanya kekuatan geser yang kecil. Maka, penimbunan yang ada diatas tanah akan terjadi kegagalan sebuah pergeseran dan penurunan. Pemberian beban terhadap tanah yang akan berakibat pada penurunan yang diikuti proses konsolidasi. Proses konsolidasi ini terjadi selama beringgu minggu dan bertahun tahun, sesuai pada tebal lapisan tanah lunak tersebut dan kemampuan pada tanah lunak yang tekanan air porinya selama diberi beban.

2.2.4. Penanganan terhadap Tanah Lunak

Tanah lunak biasa digunakan sebagai penopang struktur yang perlu dilakukan adalah perbaikan dan perkuatan pada tanah yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas tanah tersebut, parameter kuat geser digunakan untuk menambah daya dukung struktur diatasnya, sehingga dapat menahan daya beban pada struktur. Usaha lain untuk memperkuat dan memperbaiki bisa menggunakan beberapa cara anatra lain :

- a. Menaikkan modulus
- b. Mengurangi kompresibilitas

- c. Stabilisasi pada volume
- d. Kualitas pada material
- e. Mengurangi kerentanan pada likuifaksi
- f. Pengecilan untuk pengaruh lingkungan
- g. Memperbesar daya dukung dan kuat geser

2.3 Parameter Tanah

2.3.1. Klasifikasi Tanah dari Data Sondir

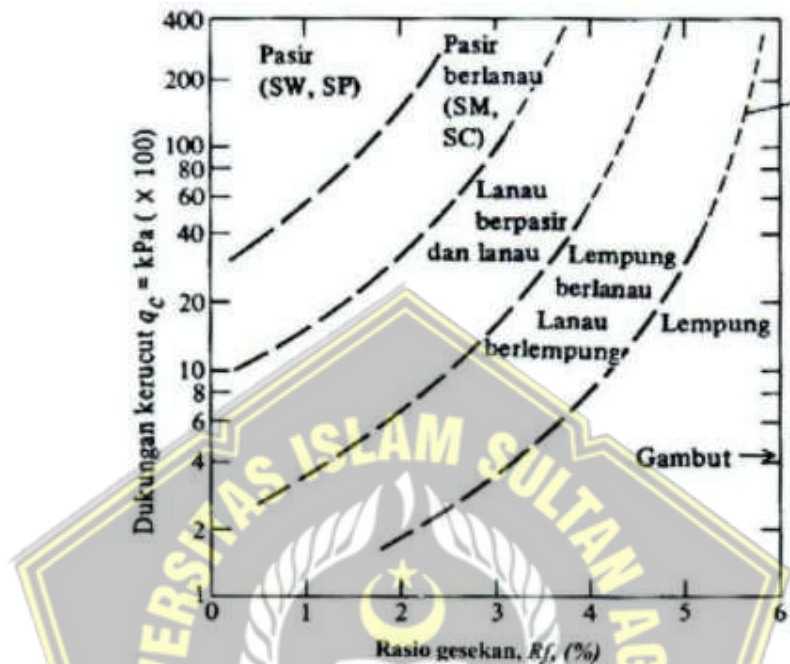
Pada hasil uji yang ada di lapangan, manometer digunakan pada interval kedalaman per 30 cm sampai dengan kedalaman akhir yaitu konus (Q_c), bacaan pertama tentang perlawanan geser ($Q_c + F_s$) yang akan di gunakan bisa dilihat pada Tabel 2.3 di bawah ini.

Tabel 2.3. Klasifikasi Tanah dari Data Sondir

Hasil Sondir		Klasifikasi
Q_c	F_s	
1,5	1,50-2,00	Humus, lempung sangat lunak
6,0-10,0	0,2	Pasir kelanauan lepas, pasir sangat lepas
	0,20-0,60	Lempung lembek, lempung kelanauan lembek
10,0-30,0	0,10	kerikil Lepas
	0,10-0,40	Pasir Lepas
	0,40-0,80	Lempung atau lempungf kelanauan
	0,80,-2,00	Lempung agak kenyal
30-60	1,5	Pasir kelanauan, pasir agak padat
	1,0-3,0	Lempung atau lempung kelanauan kenyal
60-150	1,0	kerikil kepasiran lepas
	1,0-3,0	pasir padat, pasir kelanauan atau lempung padat dan lempung kelanauan
	3,0	Lempung kekerikilan kenyal
150-300	1,0-2,0	Pasir padat, pasir kekerikilan, dan pasir kasar

(Sumber : Das, 1998)

Dalam menentukan jenis tanah dapat juga menggunakan grafik hubungan antara tekanan conus (q_c) dan perlawanan geser (f_r) seperti pada Gambar 2.1 dibawah ini:



Gambar 2.1. Grafik Hubungan Tekanan Conus dengan Perlawanan Geser

(Sumber : Mayerhof, 1965)

2.3.2. Klasifikasi Tanah Berdasarkan *Standart Penetration Test* (N-SPT)

Standar analisis 'Cara uji penetrasi lapangan menggunakan SPT' di Indonesia adalah SNI 4153-2008, yang termasuk revisi dari (SNI 03-4153- 1996), yang memiliki acuan yaitu pada ASTM D 1586-84 "*Standard penetration test and split barrel sampling of soils*".

Kekuatan pada tanah telah melalui uji penetrasi. Tahanan pada penetrasi (NSPT) yaitu termasuk banyaknya pukulan (30 cm terakhir) yang diperlukan untuk memasukkan *Split tube sampler* dengan memakai *hammer* dijatuhkan pada ketinggian 75 cm dan dengan berat 63.5 kg.

Hubungan antar kepadatan tanah, berat jenis tanah jenuh, berat jenis tanah lunak, dan nilai N-SPT, q_c , dan ϕ adalah sama, dengan begitu

bisa dapat dilihat pada Tabel 2.4, Tabel 2.5, dan Tabel 2.6 sebagai berikut :

Tabel 2.4. Hubungan antara Kepadatan, Berat Jenis Tanah Kering, Nilai SPT, q_c , dan ϕ

Kepadatan	Berat Jenis Tanah Kering (d)	Nilai N SPT	Tekana Conus q_c (kg/cm ²)	Sudut
<i>Very loose</i> (sangat lepas)	< 0,2	< 4	< 20	< 30
<i>Loose</i> (lepas)	0,2 – 0,4	4 – 10	20 – 40	30 – 35
<i>Medium Dense</i> (agak padat)	0,4 – 0,6	10 – 30	40 – 120	35 – 40
<i>Dense</i> (padat)	0,6 – 0,8	30 – 50	120 – 200	40 – 45
<i>Very Dense</i> (sangat padat)	0,8 – 1,0	> 50	> 200	> 45

(Sumber : Mayerhof)

Tabel 2.5. Hubungan antara Nilai N-SPT dengan Berat Jenis Tanah Jenuh(sat)

N-SPT (blows/ft)	Konsentrasi	q_{ku} (Unconfined Compressive Strength) ton/ft ²	sat (kN/m ³)
< 2	Very soft	< 0,25	16 – 19
2– 4	Soft	0,25 – 0,50	16 – 19
4– 8	Medium	0,5 – 1,00	17 – 20
8 – 15	Stiff	1,00 – 2,00	19 – 22
15– 30	Very stiff	2,00 – 4,00	19 – 22
> 30	Hard	>4,00	19 – 22

(Sumber : Terzaghi and Peck Tahun 1948)

Tabel 2.6. Hubungan antara Nilai Tipikal Berat Volume Kering

Jenis Tanah	γ_{sat} (kN / m ³)	γ_{dry} (kN / m ³)
Kerikil	20 – 22	15 – 17
Pasir	18 – 20	13 – 16
Lanau	18 – 20	14 – 18
Lempung	16 – 22	14 – 21

(Sumber : John Wiley and Sons, 2000)

A. Permeabilitas (*Permeability*)

Permeabilitas adalah cepatnya air masuk kepada tanah, Pada kondisi Penetapan permeabilitas tanah yaitu dalam hal vertical ataupun dalam keadaan horizontal karena pentingnya peranan pada pengolahan tanah dan air tersebut.

Penelitian yang telah dilakukan oleh Wesley (1977) yaitu tentang koefisien permeabilitas terhadap semua jenis tanah.

Tabel 2.7. Nilai Permeabilitas (k) dalam satuan (m/s)

Peneliti	Karakteristik	Nilai K (cm/dt)
Bowles (1991)	Lanau Kelempungan	$10^{-4} - 10^{-9}$
Das (1995)	Kerikil sedang sampai kasar	$>10^{-1}$
	Pasir halus sampai kasar	$10^{-1} - 10^{-3}$
	Pasir halus, pasir berlanau	$10^{-3} - 10^{-5}$
	Lanau, lanau berlempung, lempung berlanau	$10^{-4} - 10^{-6}$
	Lempung gemuk	$<10^{-7}$

(Sumber : Wesley, 1972)

Koefisien permeabilitas adalah cepat atau lambatnya air rembesan ke dalam tanah, yaitu baik melalui pori makro atau pori mikro baik menuju arah horizontal atau vertical.

Tabel 2.8. Rantai nilai koefisien permeabilitas

	Karakteristik	Nilai k (cm/dt)
Kerikil dan pasir tak terkonsolidasi	Kerikil bergradasi baik	$10^{-1} - 10^{-2}$
	Pasir bergradasi baik atau pasir dan kerikil	$>10^{-1}$
	Pasir sangat halus, lanau	$10^{-3} - 10^{-6}$
Lempung dan tanah organik tak terkonsolidasi	Gambut	$10^{-2} - 10^{-3}$
	Lempung	$10^{-4} - 10^{-6}$
	Lempung gemuk	$10^{-7} - 10^{-10}$

(Sumber : Wesley, 1972)

Sudut geser dalam jenis tanah merupakan sudut yang dibentuk dari hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser di dalam material tanah atau batuan, sedangkan sudut geser dalam adalah sudut rekahan yang dibentuk jika suatu material dikenai tegangan atau gaya terhadapnya yang melebihi tegangan gesernya. Semakin besar suatu sudut geser dalam sebuah material maka akan lebih tahan menerima tegangan luar yang dikenakan terhadapnya seperti pada Tabel 2.9. dibawah ini:

Tabel 2.9. Hubungan antara Sudut Geser Dalam dengan Jenis Tanah

Jenis Tanah	Sudut Geser Dalam
Kerikil kepasiran	35-40
Kerikil kerakal	35-40
Pasir padat	35-40
Pasir lepas	30
Lempung kelanauan	25-30
Lempung kelanauan	20-25

(Sumber : Das, 1998)

Karakteristik dari jenis tanah yang berbeda akan memiliki tingkatan plastisitas yang berbeda seperti pada Tabel 2.10. dibawahini:

Tabel 2.10. Hubungan Antara Sudut Geser Dalam , Tingkat Plastisitas, dan Jenis Tanah

Jenis tanah	Tingkat plastisitas	Φ
Lanau	Rendah	35-37
Lanau ber lempung	Sedang	31-35
Lempung	Tinggi	<31

(Sumber : Bjerrum, 1960)

B. Kohesi

Kohesi merupakan gaya tarik menarik antara partikel batuan, dinyatakan satuan berat persatuan luas. Kekuatan geser semakin besar menjadikan besarnya nilai kohesi sebuah batuan. Nilai kohesi (c) didapat dari hasil pengujian dilaboratorium adalah pengujian kuat geser langsung (*direct shear strength test*) dan pengujian triaksial (*triaxial test*). Secara empiris nilai kohesi dapat diketahui dengan mengetahui nilai tegangan konus (Qc) di data sondir.

$$e = / 20 \dots \dots \dots (2.1)$$

Hubungan kohesi, N-SPT serta sudut geser dalam dilihat pada Tabel 2.11 berikut :

Tabel 2.11. Hubungan antara N-SPT, Kohesi, Sudut Geser Tanah

Cohesive Soil					
<i>N-SPT</i>	<4	6 - 15	6 - 15	6 - 30	31 - 50
<i>State</i>	<i>Very Soft</i>	<i>Soft</i>	<i>Medium</i>	<i>Stiff</i>	<i>Hard</i>
<i>Cohesion (Cu)</i>	0 – 10	25 – 45	25 - 45	45 - 45	> 100
<i>Univ Weight (?)</i>	14 – 18	16 – 18	16 - 18	16 - 20	20 – 23

(Sumber : William dkk, 1962)

2.4 Penurunan Tanah

Penurunan tanah disebabkan karena pemberian beban diatas tanah yang mengakibatkan tegangan pada lapisan tanah dibawah beban tersebut. Adanya pembebanan tersebut mengakibatkan keluarnya air pori disertai berkurangnya volume tanah sehingga dapat terjadi deformasi partikel pada tanah tersebut.

Dibidang geoteknik, tanah dibagi menjadi dua jenis, pertama yaitu tanah berbutir (pasir/sand) dimana air pori dapat mudah mengalir dan muncul dari struktur tanah, sehingga tanah berbutir (pasir/sand) mempunyai permeabilitas yang tinggi, kemudian yang kedua adalah tanah kohesif (clay) yang memerlukan waktu cukup lama untuk air porinya dapat mengalir muncul seluruhnya, hal itu disebabkan tanah kohesif (clay) memiliki permeabilitas rendah dalam ilmu Geoteknik dikenal tiga jenis penurunan tanah, yaitu:

1. Penurunan Seketika (*Immediate Settlement – Si*)

Penurunan seketika/penurunan segera yang terjadi karena tanah diberi beban di atasnya, hal tersebut menjadikan tanah di bawahnya mendapatkan beban kenaikan tegangan sehingga tanah terkompresi ke arah vertikal yang diikuti dengan pergerakan tanah ke arah lateral (*lateral expansion*), maka dapat terjadi penurunan elevasi tanah dasar (*settlement*). Penurunan seketika bersifat elastis.

Berikut persamaan dalam penurunan segera:

$$Si = \Delta\sigma B \frac{1-\mu_s}{E_s} Ip \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

Si = Penurunan segera

$\Delta\sigma$ = Beban timbunan

E_s = Modulus elastisitas tanah

μ_s = Poisson's ration

B = Lebar atau diameter timbunan

I_p = non – dimensional influence factor

Schleicher (1926) mendefinisikan faktor I_p ini dalam persamaan :

$$I_p = \frac{1}{\pi} [m_1 \ln \left(\frac{1 + \sqrt{m_1^2 + 1}}{m_1} \right) + \ln(m_1 + \sqrt{m_1^2 + 1})] \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana $m_1 = L/B$ (panjang/lebar beban yang bekerja)



2. Penurunan Konsolidasi / Primer (*Primary Consolidation* – *Sc*)

Penurunan konsolidasi merupakan penurunan yang terjadi selama masa konsolidasi. Lamanya penurunan konsolidasi tergantung kondisi lapisan tanah tersebut. Penurunan konsolidasi kebanyakan terjadi pada tanah yang berbutir halus. Tahap – tahap penurunan konsolidasi sebagai berikut:

a. Pemampatan Awal (*Initial Compression*)

Udara keluar dari rongga yang ada pada dalam tanah disebabkan oleh beban di atasnya. Penurunan berlangsung saat ada pembangunan yang berada di atas tanah sampai pembangunan atau konstruksi selesai.

b. Konsolidasi Primer (*Primary Consolidation*)

Konsolidasi primer terjadi setelah bangunan di atas tanah sudah selesai. Penurunan disebabkan karena aliran pori meninggalkan sebuah rongga-rongga pori pada dalam tanah akibat dari beban di atasnya. Di tanah lempung jenuh air, penambahan total tegangan akan diteruskan ke air pori dan butiran tanah. Hal tersebut berarti menambahkan tegangan total ($\Delta\sigma$) terbagi ke tegangan efektif dan tegangan air pori. Dari prinsip tegangan efektif, dapat diambil korelasi:

$$\Delta\sigma = \Delta\sigma' + \Delta u \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana :

$\Delta\sigma'$ = penambahan tegangan efektif

Δu = penambahan tegangan air pori

Tanah lempung memiliki sifat permeabilitas yang rendah dan air tidak mudah mampat dibandingkan butiran tanah, maka pada saat $t = 0$ seluruh penambahan tegangan ($\Delta\sigma$) ditahan oleh air ($\Delta u = \Delta\sigma$) penambahan tegangan butiran tanah ($\Delta\sigma' = 0$). Sesaat setelah lapisan lempung di berikan tambahan tegangan $\Delta\sigma$, air akan mengalir keluar disebabkan adanya sebuah tekanan air didalam

pori. Dalam tahap tersebut, setiap di kedalaman lapisan lempung tekanan air pori mengalami sebuah penurunan secara perlahan, dan akan mengalami sebuah penambahan tegangan dipikul oleh butiran tanah. Maka ketika $0 < t < \infty$ $\Delta\sigma = \Delta\sigma' + \Delta u$ ($\Delta\sigma' > 0$ dan $\Delta u < \Delta\sigma$).

Nilai $\Delta\sigma'$ dan Δu di setiap kedalaman berbeda, tersebut dipengaruhi dari jarak minimum harus dilewati air pori guna untuk mengalir keluar kelapisan pasir yang ditempatkan di atas dan di bawah lapisan lempung. Kelebihan air pori hilang seluruhnya dari lapisan lempung ketika $t = \infty$, jadi $\Delta u = 0$. Pada kondisi ini tegangan total ($\Delta\sigma$), ditahan oleh butiran tanah (tegangan efektif $\Delta\sigma'$), sehingga $\Delta\sigma = \Delta\sigma'$.

3. Konsolidasi Sekunder (*Secondary Consolidation*)

Konsolidasi sekunder mempunyai sebutan penurunan rangkak (*creep*), terjadi sesudah konsolidasi primer telah selesai. Pemampatan terjadi setelah keluarnya air dan udara di pori tanah. Pemampatan akan terjadi dikarenakan relokasi butiran yang bersifat plastis di tanah. Waktu yang akan dibutuhkan pada proses pemampatan ini sangat lama karena tekanan air pori berlebih telah terdisipasi, begitu juga tegangan efektif pada tahap ini sudah berlangsung konstan.

$$S = S_i + S_c + S_s \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana :

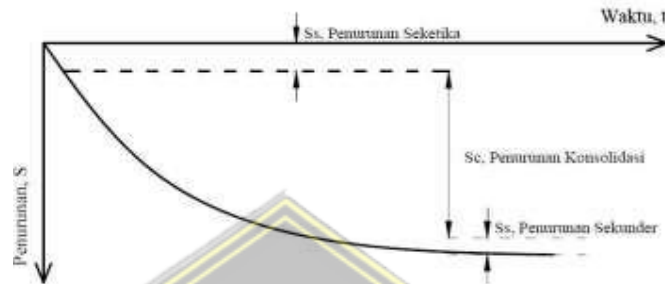
S = Penurunan total

S_i = Penurunan segera

S_c = Penurunan konsolidasi primer

S_s = Penurunan konsolidasi sekunder

Ketika penurunan konsolidasi selesai, maka terjadi penurunan konsolidasi sekunder, yaitu ketika tegangan air pori berlebih sama dengan ($u = 0$). Tahapan penurunan tanah dapat dilihat pada Gambar 2.2 dibawah ini :



Gambar 2.2. Tahapan Penurunan Tanah (*Ground Settlement*)

Pada umumnya dari ketiga jenis penurunan tanah tersebut hanya salah satu jenis yang dominan pada suatu jenis tanah tertentu, karena jenis penurunan yang lainnya ada kalanya terlalu kecil sehingga dapat diabaikan (Das, 1988).

2.5 Kapasitas Dukung Pondasi

Analisis kapasitas dukung tanah mempelajari tentang kemampuan tanah mendukung beban struktur-struktur diatasnya. Kapasitas dukung merupakan tahanan geser tanah digunakan untuk melawan penurunan yang diakibatkan dari pembebanan adalah tahanan geser yang bisa dikerahkan oleh tanah disepanjang bidang-bidang gesernya. Stabilitas yang harus terpenuhi dalam jangka panjang yang harus diperhatikan yaitu saat perletakan dasar pondasi. Pondasi harus diletakkan di kedalaman yang cukup untuk dapat menanggulangi erosi permukaan, gerusan, kembang susut tanah dan gangguan tanah didaerah sekitar pondasi. Persamaan-persamaan yang akan dibuat dikaitkan dengan jenis tanah, siat tanah dan bentuk bidang geser yang terjadi pada saat keruntuhan.

2.5.1. Perhitungan Kapasitas Dukung menurut Bowles (1968)

Bowles menyarankan kapasitas dukung ijin neto untuk penurunan 2,54 cm dinaikkan kurang lebih 50% dan sekaligus memberikan faktor kedalaman pondasi sebagai berikut :

$$q_a = 12,5 \times N \times \left(\frac{B+0,3}{B} \right)^2 \times k_d$$

Keterangan :

$k_d = (1 + 0,33D/B)$ = faktor kedalaman pondasi, dengan nilai maksimum $k_d = 1,33$

B = lebar Pondasi (m)

D = kedalaman pondasi (m)

N = nilai SPT diambil pada 0,5B diatas dasar pondasi dan 2B dibawah dasar pondasi.

2.5.2. Perhitungan Kapasitas Dukung dari Hasil Sondir menurut Meyerhof(1956)

Menurut Meyerhof, kapasitas dukung ijin yang didasarkan penurunan 2,54 cm. Untuk pondasi bujur sangkar dengan $B \geq 1,20$ m sebagai berikut :

$$q_{all} = \frac{q_c}{33} \times \left(\frac{B+0,30}{B} \right) K_d \dots \dots \dots (2.7)$$

Dimana :

q_{all} = daya dukung ijin pondasi (kg/cm^2)

q_c = tahanan ujung sondir (kg/cm^2)

$k_d = (1 + 0,33D/B)$ = faktor kedalaman pondasi, dengan nilai maksimum $K_d = 1,33$

B = Lebar Pondasi (m)

2.5.3. Kapasitas Dukung Pondasi *Bore Pile*

Kapasitas dukung pondasi *bore pile* adalah jumlah dari tahanan gesek dinding dan tahanan dasar, sama seperti pondasi tiang. Pondasi *bore* mendukung daya beban aksial diatasnya dengan mengandalkan:

1. Tahanan gesek dinding,
2. Tahanan dukung ujung bila tanah dasar berupa pasir padat, pasir

berkerikil atau batu, atau

3. Kombinasi dari keduanya.

Dengan pertimbangan keamanan perancang telah mengabaikan pengaruh tahanan gesek perhitungan kapasitas dukung. Metode perhitungan daya dukung pondasi yang digunakan adalah metode *Mayerhof* dan data *N-SPT*.

2.5.4. Daya Dukung Berdasarkan Mayerhof

Didalam perencanaan pondasi pancang, data tanah sangatlah diperlukan dalam merencanakan kapasitas dukung (*bearing capacity*) dari pondasi pancang sebelum dilakukan pembangunan dimulai. Kapasitas dukung ultimate dilakukan secara langsung setiap lapisan tiap kedalaman dengan rumus sebagai berikut :

$$Q_{ult} = (q_c \times A_p) + (JHL \times \text{keliling})$$

Kapasitas dukung ijin tiang (ton)

$$Q_{all} = \left(\frac{q_c \times A_p}{3} \right) + \left(\frac{JHL \times k}{5} \right) \dots \dots \dots (2.8)$$

Dimana :

Q_{ult} = Daya dukung ultimit (kg)

q_c = Tahanan konus pada ujung tiang (kg/cm^2)

A_p = Luas penampang ujung tiang (cm^2)

JHL = Tahanan geser total sepanjang tiang (kg/cm^2)

K = keliling tiang (cm)

2.5.5. Daya Dukung Pondasi *Bore Pile* berdasarkan Data N-SPT

Perhitungan untuk kapasitas dukung pondasi *bore pile* setiap lapisan tanah menggunakan data $N - SPT$ dengan metode *Mayerhof* untuk tanah non kohesif sebagai berikut :

$$Q_p = 40 \times N - SPT \times (L_b/D) \times A_p \dots \dots \dots (2.9)$$

Untuk Tahanan Gesek Pondasi *Bore Pile* dirumuskan sebagai berikut:

$$Q_s = 2 \times N - SPT \times p \times L_i \dots \dots \dots (2.10)$$

Sehingga Daya Dukung Ultimate Bore pile dirumuskan sebagai berikut:

$$Q_{ult} = Q_p + Q_s \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana:

N-SPT : Nilai N-SPT pada kedalaman yang ditentukan

Q_p : Kapasitas ujung tiang

Q_s : Tahanan gesek tiang

A_p : Luas penampang tiang

L : Kedalaman per lapisan

D : Lebar pondasi

p : Keliling pondasi

2.6 Perhitungan Pondasi Tiang

2.6.1. Analisis Daya Dukung Pondasi

Perhitungan untuk kapasitas dukung pondasi *bore pile* setiap lapisan tanah kohesif atau tanah non kohesif sebagai berikut :

1. Daya Dukung Ujung Pondasi Pada Tanah Non Kohesif

Perhitungan untuk daya dukung ujung tiang pondasi pada tanah non kohesif dirumuskan sebagai berikut :

$$Q_p = 40 \times N - SPT_{av} \times \frac{L_b}{D} \times A_p \dots\dots\dots (2.12)$$

$$> 400 \times N-SPT \times A_p$$

Keterangan :

Q_p = Daya dukung ujung tiang pada tanah non kohesif (ton)

A_p = Luas penampang (m^2)

L_b = Kedalaman tiang (m)

D = Diameter tiang (m)

Perhitungan untuk daya dukung pondasi selimut pada tanah nonkohesif dirumuskan sebagai berikut :

$$Q_5 = 2 \times N - SPT \times p \times Li \dots\dots\dots(2.13)$$

Keterangan :

Li = Kedalaman tiang(m)

P = Keliling tiang (m)

Qs = Daya dukung selimut untuk tanah non kohesif (ton)

Ap = Luas penampang (m)

2. Daya dukung ujung pada tanah kohesif

Perhitungan untuk daya dukung ujung pada tanah kohesif dirumuskan sebagai berikut :

$$Q_p = 9 \times c_u \times A_p \dots\dots\dots(2.14)$$

Keterangan :

Qp = Daya dukung ujung tiang (ton)

Ap = Luas penampang (m²)

Cu = Kohesi Undrained (kN/m²)

3. Daya dukung selimut pada tanah kohesif

Perhitungan untuk daya dukung selimut pada tanah kohesif dirumuskan sebagai berikut :

$$Q_5 = \alpha \times c_u \times p \times Li \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana :

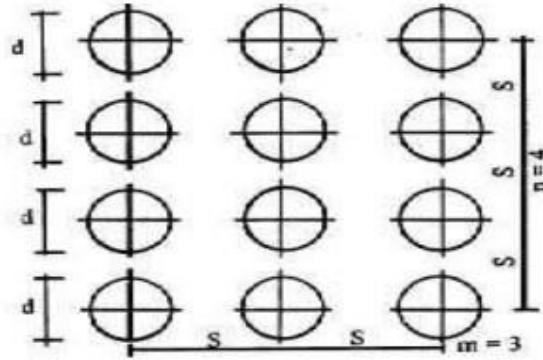
α = Koefisien Adhesi antara tanah dan tiang

c_u = Kohesi Undrained (kN/m²)

p = Keliling tiang (m)

Li = Panjang lapisan tanah (m)

2.7 Kapasitas Kelompok dan Efisiensi



Gambar 2.3. Banyak Baris (n) dan Banyak Tiang Per-Baris (m)

(Sumber : Sardjono HS, 1988)

a. *Converse-Labarre Formula*

$$E_g = 1 - \theta \frac{(n'-1).m + (m-1).n'}{90.m.n'} \dots\dots\dots(2.16)$$

Keterangan :

E_g = Efisiensi kelompok tiang (*pile group*).

m = Jumlah baris tiang dalam *pile group*.

n' = Jumlah tiang dalam satu baris.

θ = Arc tg D/S , dalam derajat.

S = Jarak pusat ke pusat antar tiang

D = Diameter tiang.

Atau menggunakan metode *Los Angeles Group* dengan persamaan berikut ini :

$$E_g = 1 - \frac{D}{s.m.n'} [m(n-1) + n(m-1) + \sqrt{2}(m-1)(n-1) \dots\dots\dots(2.17)$$

Keterangan :

m = banyaknya tiang per-baris

d = Diamter tiang

n = banyaknya baris

s = Jarak pusat ke pusat tiang (lihat gambar 2.9)

p = keliling tiang

Untuk kapasitas ultimit dari pile group dengan mempertimbangkan faktor efisiensi tiang dinyatakan dengan persamaan seperti dibawah ini :

$$Q_g = E_g . n . Q_a \dots\dots\dots(2.18)$$

Keterangan :

Q_g = Besarnya beban yang disalurkan untuk tiang kelompok (kg)

E_g = Nilai efisiensi kelompok tiang (%)

n = Jumlah tiang dalam group

Q_a = Besarnya beban yang disalurkan untuk tiang tunggal (kg)

2.7.1. Kapasitas Lateral Ultimit Tiang dengan Metode Reese & Wright

Pondasi tiang dirancang dengan memperhitungkan beban lateral atau horizontal, seperti beban angin. Gaya lateral yang harus didukung pondasi tiang tergantung pada rangka bangunan yang mengirim gaya lateral tersebut ke kolom bagian bawah. Apabila tiang dipasang secara vertikal dan dirancang untuk mendukung gaya horizontal yang cukup besar, Maka bagian atas tanah pendukung harus bisa menahan gaya tersebut sehingga tiang – tiang tidak akan mengalami gerakan lateral yang berlebihan.

Tabel 2.12. Nilai – nilai n_h untuk Tanah Granuler ($c = 0$)

Kerapatan Relativ (D_r)	Tak Padat	Sedang	Padat
Interval nilai A	100 - 300	300 - 1000	1000 - 2000
Nilai A dipakai	200	600	1500
N_h pasir terendam air (kN/m ³)			
Terzaghi	1386	4850	11779
Reese dkk	5300	16300	34000

(Sumber : *Brooms*, 1964)

Tabel 2.13. Nilai – nilai n_h untuk Tanah Kohesif

Consistency	SPT-N	Q_u (kPa)
Very soft	< 2	< 25
Soft	2 - 4	25 - 50
Medium	4 - 8	50 - 100
Stiff	8 - 15	100 - 200
Very stiff	15 - 30	200 - 400
Hard	> 30	> 400

(Sumber : Terzaghi & Peck, 1967)

2.7.2. Tiang Dalam Tanah Kohesif

Tiang Ujung Jepit

Pada tiang ujung jepit, *Brooms* menganggap bahwa momen yang terjadi pada tubuh tiang yang tertanam di dalam tanah sama dengan momen yang terjadi di ujung atas tiang yang terjepit oleh *pile cap*.

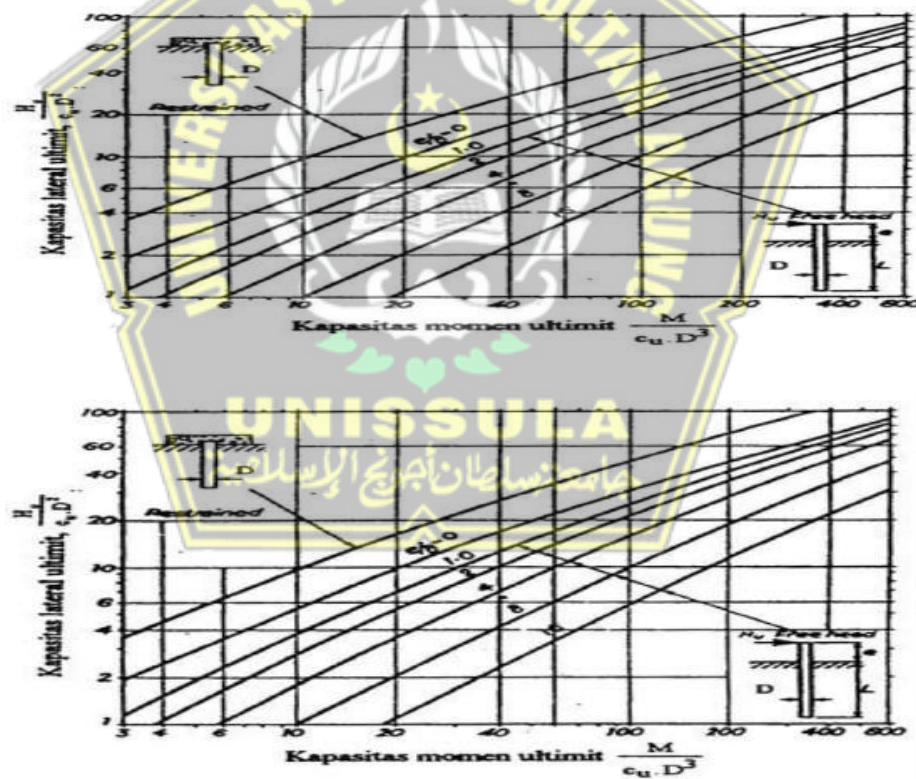
Untuk tiang panjang, tahanan ultimit tiang terhadap beban lateral dapat dihitung dengan persamaan :

$$H_u = \frac{2M_v}{1,5d+0,5f} \quad (2.19)$$

,sedangkan untuk tiang pendek, H_u dapat dicari dengan persamaan :

$$H_u = 9cud (-1,5d)$$

$$M_{maks} = H_u (0,5L+0,75d)$$



Gambar 2.4. Grafik Tahanan Lateral Ultimit Tiang Pada Tanah Kohesif

(a) Tiang Pendek, (b) Tiang Panjang

(Sumber : *Brooms*, 1964)

2.7.3. Tiang Dalam Tanah Granuler

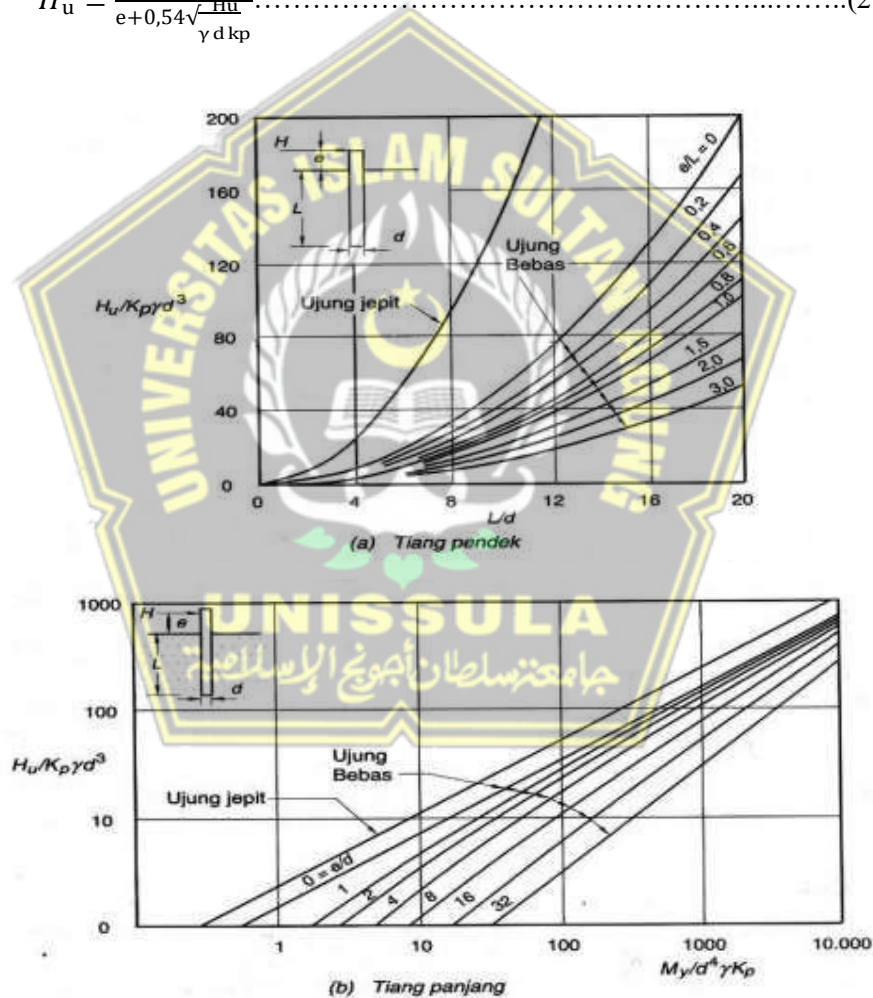
Tiang Ujung Jepit

Untuk tiang ujung jepit yang kaku (tiang pendek), keruntuhan tiang akan berupa translasi, beban lateral ultimit dinyatakan oleh :

$$H_u = 1,5 \gamma d L^2 K_p \dots\dots\dots(2.20)$$

,sedangkan untuk tiang ujung jepit yang tidak kaku (tiang panjang), dimana momen maksimum mencapai M_y di dua lokasi ($M_u+ = M_u-$) maka H_u dapat diperoleh dari persamaan :

$$H_u = \frac{2M_y}{e + 0,54\sqrt{\frac{H_u}{\gamma d k_p}}} \dots\dots\dots(2.21)$$



Gambar 2.5. Grafik Tahanan Lateral Ultimit Tiang pada Tanah Granuler
(Sumber : *Brooms*, 1964)

2.7.4. Penurunan Tiang Tunggal

A. Untuk tiang apung atau friksi

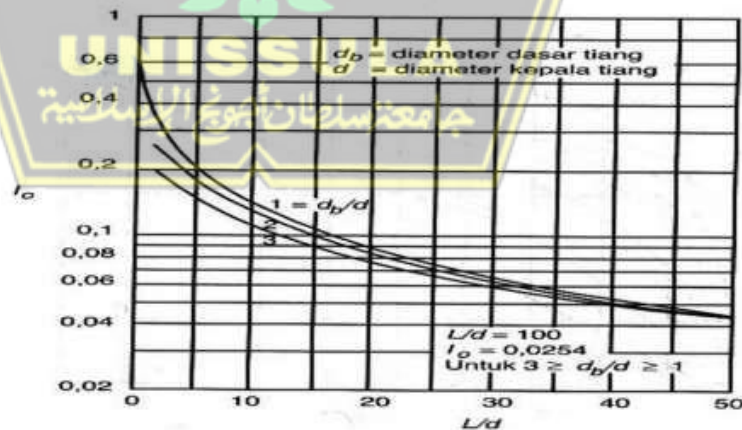
$$S = \frac{Q \cdot I}{E_s \cdot D} \dots\dots\dots(2.22)$$

Keterangan : I = I_o, R_k, R_h, R_μ

$$S = \frac{Q \cdot I}{E_s \cdot D} \dots\dots\dots(2.22)$$

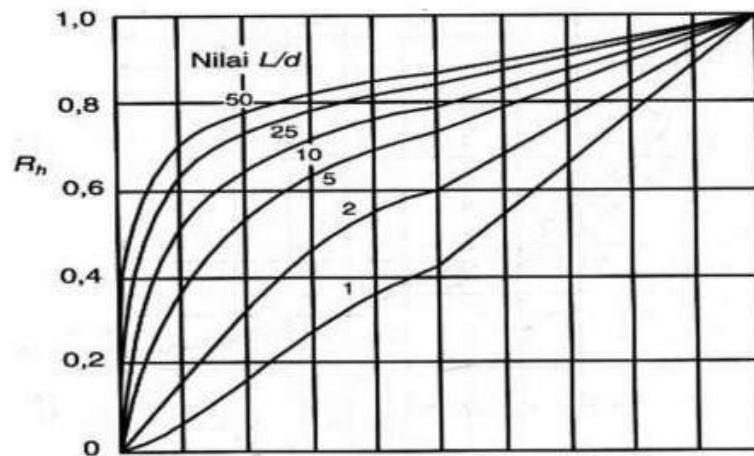
Keterangan :

- I = I_o, R_k, R_b, R_μ.
- S = Besar penurunan yang terjadi pada tiang tunggal.
- Q = Beban yang ditahan pada pondasi.
- I_o = Faktor penurunan untuk tiang yang tidak mudah mampat.
- R_k = Faktor koreksi kemudah mampatan tiang.
- R_h = Faktor koreksi untuk tebal lapisan yang terletak pada tanah keras.
- R_μ = Faktor koreksi angka Poisson μ.
- R_b = Faktor koreksi untuk kekakuan lapisan pendukung.
- h = Kedalaman total lapisan tanah dari ujung tiang ke mukatanah.
- D = Diameter tiang.



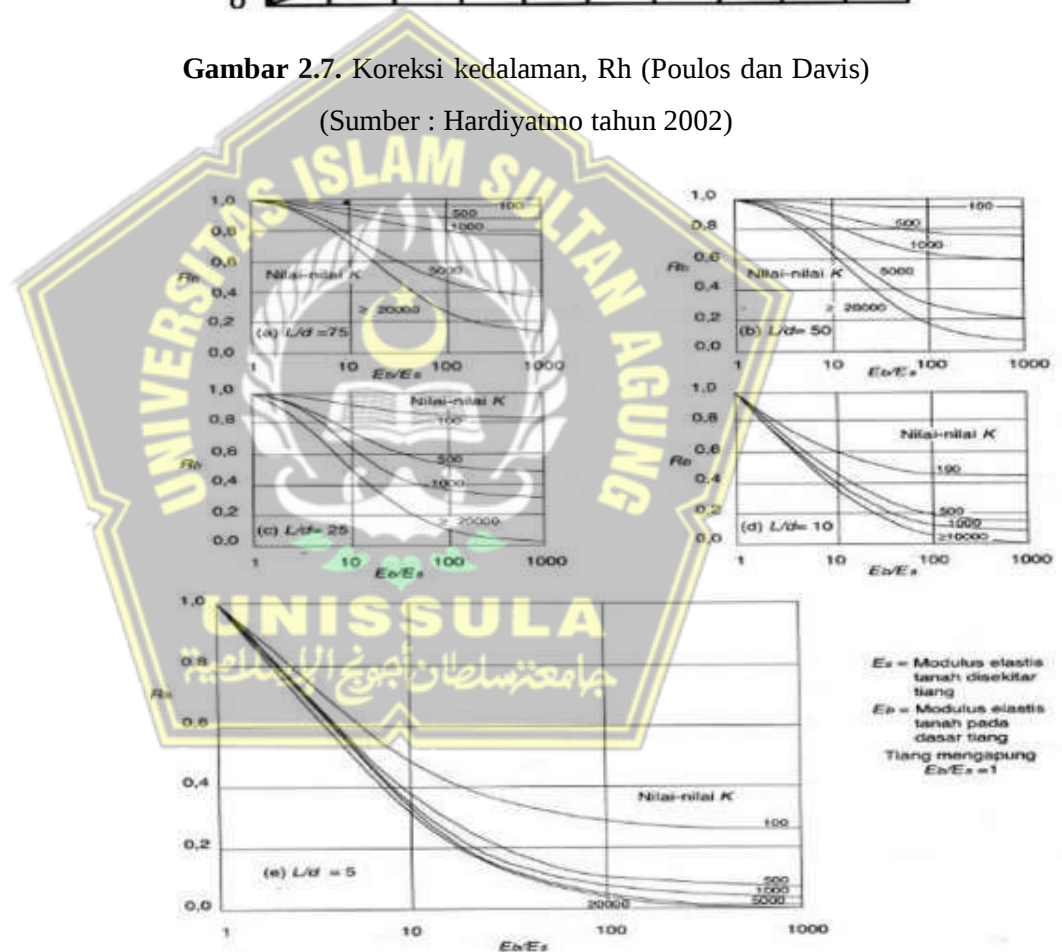
Gambar 2.6. Faktor penurunan I_o (Poulos dan Davis)

(Sumber : Hardiyatmo, 2002)



Gambar 2.7. Koreksi kedalaman, R_h (Poulos dan Davis)

(Sumber : Hardiyatmo tahun 2002)



Gambar 2.8. Koreksi kekakuan lapisan pendukung, R_b (Poulos dan Davis)

(Sumber : Hardiyatmo, 2002)

K merupakan suatu ukuran kompresibilitas relatif dari tiang dan tanah yang dinyatakan oleh persamaan:

$$K = \frac{E_p \cdot R_a}{E_s} \dots\dots\dots (2.23)$$

Atau

$$R_A = \frac{A_p}{1/4\pi \cdot d^2} \dots\dots\dots (2.23)$$

Keterangan :

- K = Faktor kekakuan tiang.
- E_p = Modulus elastisitas dari bahan tiang.
- E_s = Modulus elastisitas tanah disekitar tiang.
- E_b = Modulus elastisitas tanah didasar tiang.

2.8 Penurunan Tiang Kelompok

Untuk penurunan pondasi kelompok tiang dihitung dengan Metode Vesic (1977) dimana rumus yang digunakan sebagai berikut :

$$S_g = S \sqrt{\frac{B_g}{D}} \dots\dots\dots (2.24)$$

Keterangan :

- S_g = Penurunan kelompok tiang (m).
- S = Penurunan tiang tunggal (m).
- B_g = lebar kelompok tiang (m).
- D = diameter tiang (m).

2.8.1. Perhitungan Penurunan Segera Pondasi Telapak dengan data SPT

Berdasarkan data dari lapangan Schultze dan Sherif (1973), Meyerhof (1974) mempunyai pendapat hubungan empiris penurunan pondasi dangkal sebagai berikut :

$$S_i = \frac{q\sqrt{B}}{N} \dots\dots\dots (2.25)$$

Keterangan :

- S_i = Penurunan (cm)

- q = Tekanan pondasi netto (kg/cm^2)
 B = Lebar pondasi (cm)
 N = Nilai SPT

2.8.2. Penurunan Pondasi Tiang *Bore Pile*

Penurunan pada pondasi tiang pancang yang diakibatkan oleh beban vertikal Q_w sebagai berikut:

$$S_e = S_{e(1)} + S_{e(2)} + S_{e(3)} \dots\dots\dots (2.26)$$

Keterangan :

$S_{e(1)}$ = Penurunan elastis tiang

$S_{e(2)}$ = Penurunan tiang yang disebabkan oleh beban diujung tiang

$S_{e(3)}$ = Penurunan tiang yang disebabkan oleh beban disepanjang selimut tiang

Jika bahan tiang diasumsikan elastis, deformasi selimut tiang dapat dianalisis, sesuai dengan prinsip-prinsip dasar mekanika bahan, sebagai berikut :

$$S_{e(1)} = \frac{(Q_{wp} + fQ_{ws})}{A_p E_p} \dots\dots\dots (2.27)$$

Keterangan :

Q_{wp} = beban yang ditanggung ujung tiang di bawah kondisi beban kerja

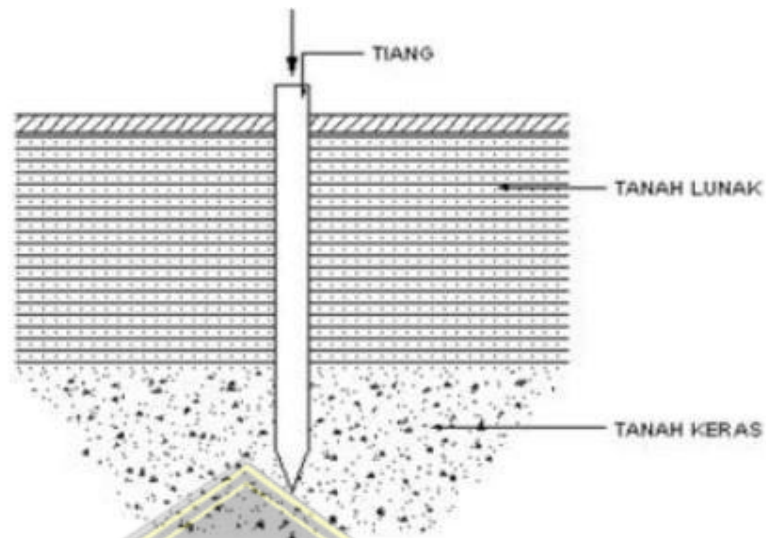
Q_{ws} = beban yang ditanggung tahanan gesekan (selimut) di bawah kondisi beban kerja

A_p = Luas penampang tiang

L = Panjang tiang

E_p = Modulus elastisitas bahan tiang

Besarnya nilai ξ memiliki variasi antara 0.5 dan 0.67 dan akan tergantung dari distribusi tahanan selimut f sepanjang selimut tiang. jika distribusi dari f seragam atau parabola, maka $\xi = 0.5$. namun, distribusisegitiga dari f , besarnya ξ adalah sekitar 0.67 (Vesic,1977).



Gambar 2.9. Berbagai jenis distribusi tahanan selimut di sepanjang tiang
(Sumber : Hardiyatmo, 2010)

Menurut Vesic (1977) metode semi-empiris untuk memperoleh besarnya penurunan $S_{e(2)}$ persamaannya adalah :

$$S_{e(2)} = \frac{Q_{wp} \cdot C_p}{D q_p} \quad (2.28)$$

Keterangan :

q_p = Tahanan *Ultimate* ujung tiang

C_p = Koefisien empiris

Vesic (1977) juga mengusulkan hubungan empiris sederhana untuk memperoleh $S_{e(3)}$:

$$S_{e(3)} = \frac{Q_{wp} \cdot C_s}{L_{qp}} \dots \dots \dots (2.29)$$

Dalam persamaan ini, C_s = empiris konstan = $(0,93 + 0,16\sqrt{L}/DC_p)$

2.9 Penulangan pada Pondasi Telapak

2.9.1. Penentuan Tebal Pondasi

Perencanaan penampang terhadap sudut geser harus berdasarkan pada $\phi V_c > V_u$(2.30)

Keterangan :

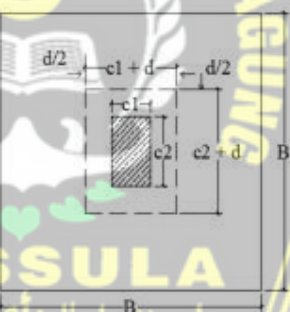
V_c = Kuat geser nominal

V_u = Gaya geser terfaktor pada penampang

Berikut adalah langkah – langkahnya :

a. Cek tebal pondasi terhadap geser dua arah

Menurut Nawy (1995) nilai V_c diambil nilai terkecil yang dihasilkan dari persamaan berikut yaitu :



$$\phi V_c = 0,6 \left(2 + \frac{4}{\beta_o} \right) \sqrt{f_c} \cdot b_o \cdot d/12 \dots \dots \dots (2.31)$$

$$\phi V_c = 0,6 \left(\frac{\alpha_s d}{\beta_o} + 2 \right) \sqrt{f_c} \cdot b_o \cdot d/12 \dots \dots \dots (2.32)$$

$$\phi V_c = 0,6 \cdot 4 \sqrt{f_c} \cdot b_o \cdot d/12 \dots \dots \dots (2.33)$$

Dimana :

$$\beta_o = c1/c2 \dots \dots \dots (2.34)$$

B_o = Keliling bidang geser kritis

F_c = mutu beton

Untuk persamaan V_u

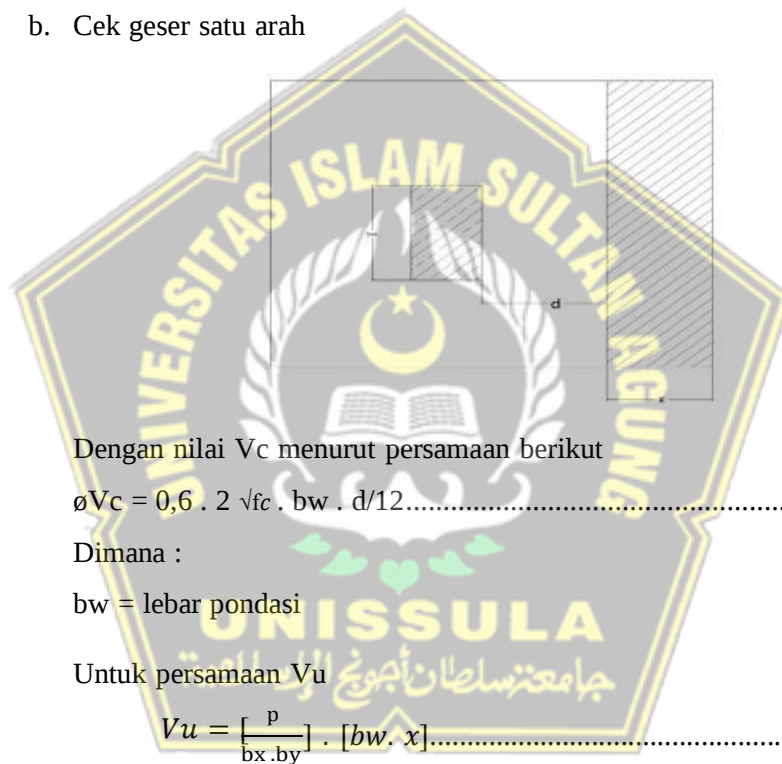
$$V_u = \left[\frac{p}{b_x \cdot b_y} \right] \cdot [b_x \cdot b_y - \{(c_1 + d)\}]$$

Dimana :

P = besar beban

d = tebal pondasi – selimut – 1 diameter tulangan

b. Cek geser satu arah



Dengan nilai V_c menurut persamaan berikut

$$\phi V_c = 0,6 \cdot 2 \sqrt{f_c} \cdot b_w \cdot d / 12 \dots \dots \dots (2.35)$$

Dimana :

b_w = lebar pondasi

Untuk persamaan V_u

$$V_u = \left[\frac{p}{b_x \cdot b_y} \right] \cdot [b_w \cdot x] \dots \dots \dots (2.36)$$

Dimana :

x = panjang bidang geser kritis

2.9.2. Penulangan

- c. Menghitung rasio tulangan

$$Mu = \frac{1}{2} \left[\frac{P}{b \cdot d} \right] \cdot [b \cdot d \{ x + d \}^2]$$

Menghitung luas tulangan yang digunakan

$$A_s = \frac{Mu}{\phi \cdot f_y \cdot (0,875 \cdot d)} \dots \dots \dots (2.37)$$

Dimana :

f_y = tegangan leleh baja

- d. Menghitung Jarak Tulangan

$$S = \frac{A \cdot 100}{A_s} \dots \dots \dots (2.38)$$

Dimana :

A = Luas tulangan yang diperlukan

2.10. Penulangan Pondasi Tiang *Bore Pile*

2.10.1. Perhitungan Tulangan Utama

Penulangan pondasi *Tiang bore pile* sama dengan pada penulangan kolom, hanya saja pada penampang menggunakan bentuk penampang yang bulat. Rumus untuk kuat beban aksial maksimum pada kolom menggunakan penulangan spiral perhitungannya menggunakan rumus :

$$\phi P_n (\text{maks}) = 0,85 \phi (0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + (f_y \times A_{st})) \dots \dots \dots (2.39)$$

Persamaan SKN SNI 03-2847-2002

P_n = Kuat beban aksial nominal

ϕ = Faktor reduksi kekuatan pengikat spiral (0,7)

f'_c = Kuat tekan beton

f_y = Tegangan leleh tulangan

A_g = Luas kotor penampang kolom

A_{st} = Luas total penampang tulangan memanjang

Kondisi dari pembebanan tanpa eksentrisitas merupakan keadaan yang khusus, kuat beban aksial nominal atau teoritis dapat diungkapkan sebagai berikut :

$$P_o = 0.85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st} \dots\dots\dots (2.40)$$

Dimana :

P_o = Kuat beban aksial nominal atau teoritis tanpa eksentrisitas

f'_c = Kuat tekan beton

f_y = Tegangan leleh tulangan

A_g = Luas kotor penampang kolom

A_{st} = Luas total penampang tulangan memanjang

Pada kolom penampang yang bulat antara lain saat menghitung sebuah gaya tahanan nominal P_n pada eksentrisitas tertentu, menggunakan keseimbangan momen dan gaya-gaya yang sama pada penampang kolom persegi empat. Untuk pendekatan menggunakan metode luas penampang persegi ekuivalen. Penampang bulat ditransformasikan menjadi kolom segi empat ekuivalen. Ekuivalensi dilakukan dengan ketentuan sebagai berikut :

1. Ketebalan pada penampang ke arah lenturan yaitu diambil nilai $0,8h$ dimana h yaitu diameter luar kolom bulat.
2. Lebar kolom segi-empat ekuivalen b , adalah : $b = A_g / 0.8h$
3. Luas tulangan total A_{st} ekuivalen, menentukannya menggunakan cara menempatkan seluruh bagian tulangan total kepada kedua lapis sejajar bergerak $1/3$ ($2D_s$) yaitu dalam arah lentur, dimana D_s adalah diameter lingkaran tulangan terluar dari pusat ke pusat.

Kapasitas dari penampang pada kolom yang menerima beban kombinasi beban aksial dan momen lentur bisa digambarkan kedalam bentuk dalam diagram interaksi. Seperti yang telah dikemukakan pendahuluan, diagram interaksi berfungsi sebagai alat bantu analisis,

sedangkan untuk proses perencanaan kolom dengan beban eksentris diagram tersebut digunakan untuk pendekatan coba-coba. Penampang pada kolom pendek yang menerima beban aksial eksentrisitas yang besar, adalah pada $P_n < P_b$ awal keruntuhan di beri tanda dengan luluhnya baja tarik. Dapat disimpulkan berarti $f_s = f_y$, sedangkan tegangan tulangan baja tekan masih terdapat dua kemungkinan sudah mencapai leleh atau belum.

2.11. Tiang Bor (*Bore Pile*)

Tiang ini digunakan pada tanah yang kaku dan stabil, sehingga saat proses pengeboran, tanah akan tetap stabil. Setelah proses pengeboran tanah, lalu lubang tanah diisi dengan tulangan dan dicor dengan beton. Namun proses pengecoran akan menjadi sulit apabila terdapat air tanah, sehingga mutu beton sulit dikontrol.



Gambar 2.10. Proses Pemancangan Tiang Bor

2.11.1. Perhitungan Daya Dukung Vertikal Pondasi Satu Tiang (*Single Pile*) menurut Meyerhof (1956)

Menurut Meyerhof (1956), Penurunan elastis pada pondasi satu tiang dapat dirumuskan sebagai berikut :

Daya dukung ujung :

$$Q_p = 40 \times N\text{-SPT} \times A_p \dots\dots\dots (2.42)$$

Daya dukung selimut :

$$Q_s = 0,2 \times N\text{-SPT} \times p \times L_i \dots\dots\dots (2.43)$$

Keterangan :

N-SPT = Nilai SPT tiap lapisan

P = Keliling (m)

Li = Tebal lapisan (m)

Ap = Luas penampang (m)

D = Diameter pondasi

2.11.2. Perhitungan Daya Dukung Pondasi Kelompok Tiang (*Group Pile*) menurut *Converse-Labarre*

Perhitungan kapasitas dukung pondasi kelompok tiang berdasarkan pada data perhitungan pondasi satu tiang diatas menggunakan rumus dari *Converse-Labarre* sebagai berikut :

- a. Menentukan jumlah tiang pancang (n)

$$n = \frac{P}{Q_a} \dots \dots \dots (2.44)$$

Dimana :

P = Beban bangunan pada joint

Qa = Qallowable

- b. Menentukan Jarak Tiang

$$2,5 D < s < 3 D \dots \dots \dots (2.45)$$

Dimana : $\text{جامعته سلطان أبوبنح الإسلامية}$

D = Diameter tiang (cm)

s/nd/d = Jarak pusat kepusat tiang (cm)

- c. Perhitungan Daya Dukung

$$\eta = \left[\frac{(n_1-1).n_2 + (n_2-1).n_1}{90 \times n_1 \times n_2} \right] \times \theta ; \text{dimana : } \theta = \tan^{-1} \left(\frac{D}{d} \right) \dots \dots \dots (2.46)$$

Dimana :

η = Efisiensi kelompok tiang

n₁ = Jumlah baris tiang

n₂ = Jumlah tiang dalam satu baris

2.12 Perhitungan Penurunan Pondasi

2.12.1. Penurunan Elastis Pada Pondasi Tiang Tunggal (*Single Pile*)

Vesic (1977) mengusulkan metode semi-empiris, dan empiris untuk perhitungan penurunan elastis pada tiang tunggal dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$S_e = S_{e(1)} + S_{e(2)} + S_{e(3)} \dots\dots\dots (2.47)$$

Dimana :

$$S_{e(1)} = \frac{(Q_{wp} + fQ_{ws})}{A_p E_p} \dots\dots\dots (2.48)$$

$$S_{e(2)} = \frac{Q_{wp} \cdot C_p}{D q_p} \dots\dots\dots (2.49)$$

$$S_{e(3)} = \frac{Q_{wp} \cdot C_s}{L q_p} \dots\dots\dots (2.50)$$

Keterangan :

S_e = Total penurunan tiang pancang (m)

$S_{e(1)}$ = Penurunan elastis tiang pancang (m)

$S_{e(2)}$ = Penurunan tiang pancang dikarenakan beban pada ujung tiang (m)

$S_{e(3)}$ = Penurunan tiang pancang dikarenakan beban yang ditransmisikan sepanjang kulit tiang (m)

Q_p = Kapasitas dukung Ujung diijinkan (ton)

Q_s = Kapasitas dukung selimut diijinkan (ton)

ξ = 0,5 ~ 0,67

L = Panjang tiang pancang (m)

A_p = Luas penampang tiang (m²)

E_p = modulus elastisitas bahan tiang (ton/m²)

C_p = koefisien empiris

2.12.2. Penurunan Elastis Pada Pondasi Tiang Group (*Groupe Pile*)

Menurut Vesic (1977), Penurunan elastis pada pondasi tiang kelompok dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$S_g = S_e \sqrt{\frac{B_g}{D}} \quad (2.51)$$

Dimana :

S_g = Penurunan pondasi pada tiang kelompok (m)

B_g = Lebar kelompok tiang (m)

D = Diameter tiang (m)

2.13. Penentuan Tebal Pile Cap

a. Kontrol Tegangan Geser 2 Arah

Perhitungan gaya tekan keatas

$$V_u = \{(b_x \times b_y) - [(b + dx) \times (h + dx)]\} \times ((\sigma_{maks} + \sigma_{min})/2) \quad (2.63)$$

Dimana :

dx = tinggi efektif pile dengan rumus $dx = h - \text{selimut beton} - \frac{1}{2}D$

M_x = nilai momen yang bekerja

Q = kontrol tegangan pada tanah

b. Gaya geser yang ditahan beton

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \times \frac{\lambda \times (f_c^{0.5}) \times b_o \times d}{6} \quad (2.52)$$

$$V_c = \left(\frac{\alpha_{s,d}}{b_o} + 2\right) \times \lambda \times (f_c^{0.5}) \times b_o \times d \quad (2.53)$$

$$V_c = 0,33 \times \lambda \times (f_c^{0.5}) \times b_o \times d \quad (2.54)$$

Dari nilai V_c tersebut diambil nilai yang paling kecil lalu dibandingkan dengan nilai gaya geser ijin dengan rumus V_c dan nilai = 0,75 untuk nilai kuat runtuh geser.

2.14. Analisis Pemberian Beban dengan Menggunakan Program *Software* SAP 2000 14.

Analisis beban pada bangunan Proyek Pembangunan Gedung Student Center Universitas Atma Jaya Yogyakarta. Cara menghitungnya menggunakan program *software* SAP 2000 14, digunakan untuk mengetahui berapa besarnya beban pada tiap kolom yang di dapat serta besarnya sebuah reaksi setiap kolom, hasil dari pembebanan pada program *software* SAP 2000 14 digunakan sebagai acuan untuk mengetahui kapasitas daya dukung pondasi.

Program SAP 2000 14 merupakan sebuah program berasal dari University of California at Berkeley, USA sekitar tahun 1970, dari setiap tahun ketahun SAP mengalami sebuah perkembangan yang cukup berarti, dari sebuah SAP yang hanya under DOS sampai sekarang sudah sampai kepada SAP yang under pada window, sehingga demi untuk melayani sebuah keperluan komersial dari program *software* SAP 2000 14 tersebut pada tahun 1975 dibentuk sebuah perusahaan Komputer yang diberi nama CSI (Computer and structure, Inc). Pemimpin perusahaann ini adalah Ashraf Habibullah dan sampai saat ini masih tetap eksis dan berkembang.

Program *software* SAP 2000 14 yang sekarang mempunyai beberapa kelebihan, antara lain yaitu dalam perancangan sebuah struktur baja dan beton, pada perancangan struktur baja didalam *software* SAP 2000 14 dapat merancang sebuah elemen struktur menggunakan profil baja yang optimal dan ekonomis, sehingga dalam penggunaannya tidak lagi menentukan elemen awal dengan profil pilihannya, tetapi hanya cukup di beri data sebuah profil dari database yang ada pada program *software* SAP 2000 14. Penggunaan ini hanya berlaku sebagai sebuah perancangan struktur baja, sedangkan untuk perancangan struktur beton penulis tetap harus menentukan elemen awal sebagai asumsi awal perancangan yang

kemudian nanti diperoleh luas tulangan totalnya.

Untuk sebuah metode pembebanan bangunan *software* SAP 2000 14 menggunakan acuan pada pedoman perencanaan sebuah pembebanan pada bangunan rumah dan gedung (SNI 1727-1989), dan cara perhitungan sebuah struktur beton pada pembangunan gedung (SNI 2847 - 2013).

Beban mati adalah berat semua dari sebuah konstruksi yang sudah terpasang antara lain yaitu dinding, lantai, atap, plafond, tangga dan komponen arsitektur dan struktur lain. Pemodelan sebuah *software* SAP 2000 14 berat sebuah material sudah otomatis dihitung oleh program *software* SAP 2000 14.

Beban hidup adalah bekerja pada lantai bangunan tergantung pada fungsi ruang yang telah digunakan. Besar dari sebuah beban hidup lantai bangunan menurut SNI 1727-2013 tentang beban minimum sebagai perencanaan bangunan gedung dan struktur lain sebesar 2,50 kN/m² untuk bangunan apartemen dan asrama.

2.15. Menggunakan Analisis Program *Software Plaxis 8.6*

Software plaxis 8.6 digunakan untuk mengetahui seberapa besar penurunan tanah pondasi yang ada pada proyek pembangunan Gedung Student Center Universitas Atma Jaya Yogyakarta. Pada perencanaan penggunaan pondasi *bore pile*, digunakan sebagai pembanding hasil perhitungan dengan manual.

Software plaxis 8.6 adalah sebuah program yang menggunakan prinsip metode elemen sehingga digunakan khusus untuk analisis geoteknik. Beberapa masalah geoteknik bisa dianalisis menggunakan program *plaxis* tersebut, meliputi turap (*sheet pile*), *anchor*, bendungan, pondasi, terowongan, stabilitas lereng dan lainnya. Proses kalkulasi dilakukan berdasar kepada prosedur numerik yang baku. *Software plaxis 8.6* sendiri dibagi menjadi empat dan setiap program memiliki tugas masing masing, yaitu :

1. *Plaxis input*

Adalah program plaxis yang digunakan sebagai pembuat pemodelan geometri dan parameter tanah dengan tampilan dua dimensi.

2. *Plaxis calculation*

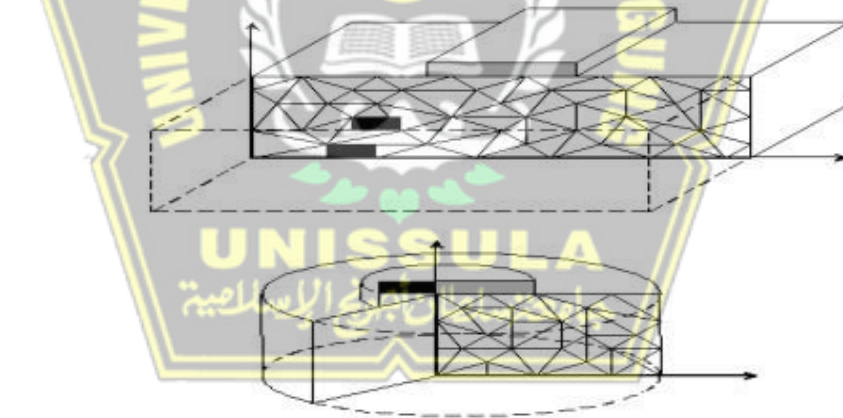
Adalah program plaxis yang digunakan untuk melakukan perhitungan setelah proses input data.

3. *Plaxis output*

Adalah berisi tentang sebuah hasil dari perhitungan setelah proses input dan calculation berbentuk tabel dan grafik.

4. *Plaxis curve*

Adalah program plaxis yang digunakan untuk menggambarkan kurva hubungan antara beban atau waktu terhadap *displacement*, diagram tegangan dari lokasi yang sebelumnya dipilih pada *calculation program*.



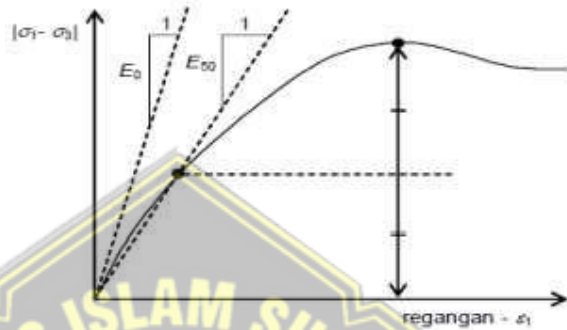
Gambar 2.11. Contoh permasalahan regangan bidang dan *axi-simetri*

(Sumber : manual *Plaxis 8.6*)

Ada juga data yang akan dimasukkan dalam program *plaxis 8.6* dan rumus-rumus yang digunakan adalah sebagai berikut :

a. Modulus elastisitas

Plaxis memakai *modulus young* untuk modulus kekasaran dasar pada model *elastic* dan model *Mohr-Coulumb*. Mekanika tanah *slope* kemiringannya awal biasa di tunjukkan dengan E_0 dan *modulus scant* dengan kekuatan 50% dinyatakan kedalam E_{50} .



Gambar 2.12. Definisi E_0 dan E_{50}

(Sumber : manual *Plaxis 8.6*)

Memperoleh nilai E_0 dengan mengambil sebuah perbandingan antara hubungan tegangan regangan awal yang telah terjadi. Jadi, E_{50} didapat menggunakan dua perbandingan nilai tegangan maksimum dengan nilai regangan yang terjadi pada saat ini. Tanah lempung yang terlalu *over* konsolidasi dan beberapa bantuan yang cukup pada *realistic* digunakan untuk E_0 , sedangkan jenis pada tanah pasir dan pada tanah lempung yang dikonsolidasi normal lebih seringnya menggunakan E_{50} .

b. *Poisson's ratio*

Poisson's ratio pada material *elastis* bisa didifinisikan sebagai :

$$V = \frac{-\epsilon_h}{-\epsilon_v}$$

Angka *poisson's ratio* dalam analisis kondisi *undrained* untuk tanah diambil 0,3 – 0,5.

c. Parameter c dan ϕ

Parameter c (kohesi) adalah parameter sebuah kekuatan pada tanah yang punya dimensi dan c (kohesi) adalah sebuah sudut geser dalam tanah dengan satuan derajat. Parameter ini di dapatkan dengan cara melakukan pengujian sebuah *direct sheer* dalam ujilaboratorium.

d. Parameter pemodelan pondasi *bore pile*

Pada *plaxis 8.6* ini masih menggunakan pemodelan dua dimensi yaitu untuk pondasi tiang pancang dimodelkan dengan dua dimensi terlebih dahulu. Sifat-sifat material yang harus ditentukan antara lain :

$$E = 4700\sqrt{F'c}$$

$$A = \frac{\text{Luas 1 Tiang}}{\text{Jarak Antar Pile Cap}}$$

$$t = \frac{A}{1}$$

$$I = \frac{1}{12} \cdot 1 \cdot t$$

$$EI = E \cdot I$$

$$EA = E \cdot A$$

$$W = \text{Berat Jenis Beton} - \text{Berat Jenis Tanah}$$

$$PA = \frac{\text{Jumlah Beban As A}}{\text{Panjang As A}}$$

Dimana :

E = Modulus Elastisitas Bore Pile

A = Luas Penampang Bore pile

I = Momen Inersia

PA = Beban Terpusat A

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Pendekatan

Pada laporan tugas akhir ini perlu menggunakan program PLAXIS dan SAP 2000 14 untuk membuat pemodelan menggunakan metode perkuatan dan membandingkan perhitungan program software dengan perhitungan manual *settlement*. Parameter yang digunakan adalah parameter data yang didapat dari hasil uji sondir tanah. Dengan bantuan program PLAXIS dan SAP 2000 14, diperoleh hasil daya dukung dari tanah terhadap pondasi yang digunakan dan hasil pembebanannya.

3.2. Lokasi Penelitian

Pembangunan student center Universitas Atma Jaya
Yogyakarta yang memiliki data-data umum proyek sebagai berikut :

Nama Proyek	: Pembangunan Student Center Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
Lokasi Proyek	: Jalan Babarsari No.44, Yogyakarta
Pemilik Proyek	: Universitas Atma Jaya Yogyakarta
Tinggi Lantai	: 4 m
Type Bangunan	: Gedung Kuliah
Konsultan Perencana	: PT Tata Mulia Nusantara Indah Tim
Pengawas	: Universitas Atma Jaya Yogyakarta
Kontraktor	: Universitas Atma Jaya Yogyakarta
Sumber Dana	: Universitas Atma Jaya Yogyakarta
Nilai Kontrak	: Rp. 70.567.225.000

3.3. Keperluan Data

3.4.1. Jenis dan Sumber Data

a. Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang diperoleh secara tidak langsung atau melalui pihak lain dengan cara melakukan penelusuran berbagai jurnal dan dokumen dari instansi terkait informasi mengenai data tanah, yang terdiri dari,

- Data Boring
- Data SPT (*standart peneration test*)

(Sumber : Lanoratorium Mekanika Tanah UAJY)

Dasar-dasar teori dan parameter yang diperlukan untuk memahami mekanika tanah, metode-metode perbaikan tanah lunak dan bentuk pemodelannya menggunakan program Plaxis 8.2 dan perhitungan manual.

3.4. Pengumpulan Data

Secara umum teknik pengumpulan data digunakan peneliti untuk dapat mengumpulkan data atau informasi berdasarkan fakta pendukung yang ada di lapangan demi keperluan penelitian dan Teknik yang dilakukan sangat ditentukan oleh metodologi penelitian yang dipilih.

Pengumpulan data yang dipilih dalam penelitian ini yang pertama menggunakan cara tinjauan literatur yaitu dengan mengumpulkan informasi yang sesuai dengan judul penelitian Analisa Daya Dukung dan Penurunan Tanah terhadap Pondasi Bore Pile dan yang kedua pengumpulan data sekunder yang berupa data tanah dengan uji boring dan SPT (*Standart Penetration Test*).

3.5. Teknik Pengolahan Data

Menganalisis dengan deskriptif menggunakan data sekunder yang diperoleh, sehingga data-data diuraikan dengan melakukan beberapa penyesuaian yang tetap mengacu pada data sekunder dan data

yang belum didapat diasumsikan sendiri. Dari analisis data dapat diketahui hasil besaran dan waktu penurunan tanah. Peneliti melakukan pengolahan data menggunakan nilai dari hasil uji boring dan nilai N-SPT.

Data Penyelidikan tanah berupa data boring kemudian dideskripsikan menurut klasifikasinya yaitu dengan cara mencari nilai dari NSPT yang diperoleh dengan cara menjumlahkan dari nilai q_c dan nilai f_r sesuai ketentuan q_c dan f_r . Hal ini bertujuan mempermudah mengidentifikasi jenis dan sifat tanah pada setiap lapisannya.

Setelah diperoleh klasifikasi tanah dan nilai NSPT, langkah selanjutnya yang dilakukan adalah menentukan model tanah, model tanah yang digunakan *Mohr-Coloumb*. Kemudian mencari nilai parameter lainnya yaitu berat volume tanah jenuh air (γ_{sat}), berat volume tanah tak jenuh air (γ_{unsat}), permeabilitas arah horizontal (k_x), permeabilitas arah vertikal (k_y), modulus elastisitas (E), *poisson rasio* (μ), kohesi (c) sudut geser (ϕ), sudut dilatasi (Ψ).

3.6. Analisis Data

Metode analisis adalah cara yang digunakan untuk memecahkan masalah yang sedang diteliti. Metode analisis berguna dalam melakukan sebuah penelitian karena dapat memberikan gambaran bagaimana memecahkan suatu rumusan masalah.

3.6.1. Analisis Beban Maksimum Pondasi *Bore Pile*

Rumusan masalah yang pertama dalam penelitian ini tentang jumlah beban yang akan diterima oleh pondasi bore pile. Masalah ini dapat diselesaikan dengan mengetahui daya dukung tanah dengan cara pengujian sondir.

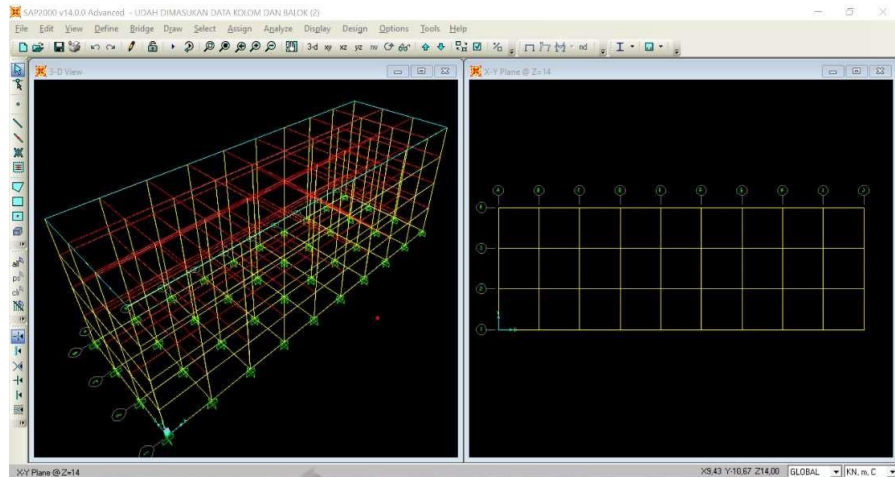
Untuk menganalisis struktur atas dari proyek pembangunan student center universitas atma jaya Yogyakarta menggunakan aplikasi SAP 2000 yang bertujuan untuk

mengetahui berapa besarnya beban pada tiap kolom yang di dapat besarnya sebuah reaksi setiap kolom, hasil dari pembebanan pada program aplikasi SAP 2000 penulis gunakan sebagai acuan untuk mengetahui kapasitas daya dukung pondasi.

Untuk sebuah metode pembebanan bangunan SAP 2000 menggunakan acuan pada pedoman perencanaan sebuah pembebanan pada bangunan rumah dan gedung (SNI 1727-1989).

Beban mati adalah berat semua dari sebuah konstruksi yang sudah terpasang antara lain yaitu dinding, lantai, atap, plafond, tangga dan komponen arsitektur dan struktur lain. Pemodelan sebuah SAP 2000 berat sebuah material sudah otomatis dihitung oleh program SAP 2000.

Beban hidup adalah bekerja pada lantai bangunan tergantung pada fungsi ruang yang telah digunakan. Besar dari sebuah beban hidup lantai bangunan menurut SNI 1727-2013 tentang beban minimum sebagai perencanaan bangunan gedung dan struktur lain sebesar $2,50 \text{ kN/m}^2$ untuk bangunan apartemen dan asrama. Berikut gambar progam aplikasi SAP 2000 :



Gambar 3.1. Progam Software SAP 2000 14

(Sumber : Penulis 2022)

3.6.2. Analisis Daya Dukung Tanah yang akan Terjadi

Rumusan masalah yang kedua mengenai daya dukung tanah yang akan terjadi. Masalah ini dapat diselesaikan dengan cara melihat data uji boring yang didapatkan dari pengujian laboratorium mektan di Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Tahap perhitungannya untuk menentukan daya dukung tiang yang mengacu data sondir (SPT) yaitu pertama menentukan Panjang ekuivalen dari penetrasi tiang, daya dukung pada ujung tiang (R_p), gaya geser maksimum dinding tiang (R_f), daya dukung ultimate, dan terakhir daya dukung yang diijinkan.

3.6.3. Analisis Besar Daya Dukung yang diperoleh pada Pondasi Bore Pile

Rumusan masalah yang ketiga mengenai besarnya daya dukung pada pondasi *bore pile*. Masalah ini dapat diselesaikan dengan cara menghitung besaran daya dukung pada pondasi *bore pile* menggunakan metode Mayerhof.

3.6.4. Analisis Besar Penurunan tanah yang akan Terjadi menggunakan Metode Perhitungan Manual *Settlement*.

Rumusan masalah yang keempat mengenai besar penurunan tanah yang akan terjadi dengan menggunakan metode perhitungan manual settlement. Perhitungan *settlement* digunakan untuk bertumpunya tiang pada tanah keras. Perhitungan ini dibagi menjadi 3 bagian, berdasarkan penurunan pada material pondasi, penurunan dari lapisan batuan di ujung tiang akibat beban, dan penurunan dari lapisan tanah di sepanjang tiang pondasi akibat beban yang ditransfer melalui tiang pancang.

1. Penurunan dari Material Tiang Pondasi (S1)

$$E_p (\text{beton}) = 700 \times \sqrt{f_c} \dots \dots \dots (3.1)$$

Maka, besarnya S1 adalah

$$S1 = \frac{Q_p + f Q_{ws} L}{A_p E_p} \dots \dots \dots (3.2)$$

Penurunan dari Lapisan Batuan di Ujung Tiang Akibat

$$\text{Beban } q_{wp} = Q_{wp} / A_p$$

$$S2 = \frac{q_{wp} D}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{wp} \dots \dots \dots (3.3)$$

Penurunan dari Lapisan Tanah di Sepanjang Tiang Pondasi Akibat Beban yang Ditransfer melalui Tiang.

Maka, untuk menghitung penurunan dipakai rumus:

$$S3 = \left(\frac{Q_{ws}}{PL} \right) \frac{D}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{ws} \dots \dots \dots (3.4)$$

Selanjutnya, mencari nilai I_{ws} terlebih dahulu dengan menggunakan rumus:

$$I_{ws} = 2 + 0.35 \sqrt{\frac{L}{D}} \dots \dots \dots (3.5)$$

Total penurunan elastis yang terjadi pada pondasi adalah = $S_1 + S_2 + S_3$,

Setelah semua perhitungan menggunakan aplikasi SAP 2000, Plaxis 8.6 dan perhitungan manual selesai, maka dapat diketahui daya dukung dan penurunan tanah pada pembangunan Student Center Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

3.7. Menganalisa Perhitungan Penurunan Pada Tanah

3.7.1. Analisis Besar Penurunan tanah yang akan terjadi menggunakan Metode Perhitungan *Software* Plaxis 8.6.

Rumusan masalah yang kelima mengenai besar penurunan tanah yang akan terjadi dengan menggunakan metode perhitungan *software* Plaxis 8.6. Aplikasi plaxis digunakan untuk mengetahui seberapa besar penurunan tanah pondasi yang ada pada proyek pembangunan Student Center Universitas Atma Jaya Yogyakarta. Pada perencanaan penggunaan pondasi tiang *bore pile*, digunakan sebagai pembandingan dengan hasil perhitungan manual.

Program plaxis sendiri dibagi menjadi empat dan setiap program memiliki tugas masing masing, yaitu :

1. Plaxis input

Adalah program plaxis digunakan sebagai pembuat pemodelan geometri dan parameter tanah dan digunakan secara dua dimensi.

2. Plaxis calculation

Adalah program plaxis digunakan untuk melakukan perhitungan setelah proses input data.

3. Plaxis output

Adalah berisi tentang sebuah hasil dari perhitungan setelah proses input dan calculation berbentuk tabel dan grafik.

4. *Plaxis curve*

Adalah digunakan untuk menggambarkan kurva hubungan antara beban atau waktu terhadap *displacement*, diagram tegangan dari lokasi yang sebelumnya dipilih pada *calculation program*.

3.7.2. Menganalisis Penurunan dan daya dukung Tanah Menggunakan Perhitungan manual

Untuk mengetahui hasil kapasitas daya dukung dan penurunan tanah, Kami menggunakan beberapa metode perhitungan untuk perbandingan sebagai berikut :

1. Perhitungan kapasitas daya dukung *bore pile* Metode Reese & Wright.

$$Q_p = q_p \cdot A_p \quad q_p = 9 \cdot C_u \dots \dots \dots (3.6)$$

$$C_u = (N-SPT \times \frac{2}{3} \times 10) \dots \dots \dots (3.7)$$

Untuk daya dukung selimut pada tanah kohesif

$$Q_s = f \cdot L \cdot p \quad f = \alpha \cdot C_u \quad Q_s = f \cdot L \cdot p \dots \dots \dots (3.8)$$

2. Perhitungan kapasitas daya dukung *bore pile* Metode O'niel & Rees P. Diameter keliling (D)

Keliling tiang *bore pile*

$$(p) = 2 \times (p+1) \text{ Luas bore pile}$$

$$(A_p) = p \times l$$

$$C_B = 1, C_s = 1, C_r = 1 \quad E_m = 0,5 \text{ kedalaman } 16 \text{ m}$$

$$N_{60} = \frac{E_m \cdot C_b \cdot C_s \cdot C_r}{0,60} \cdot N_{spt} \dots \dots \dots (3.9)$$

3. Perhitungan kapasitas daya dukung tiang *bore pile* metode meyerhoff.

$$q_{all} = \frac{q_c}{33} \times \left(\frac{B+0,30}{B} \right) K_d \dots\dots\dots(3.10)$$

Dimana :

q_{all} = daya dukung ijin pondasi (kg/cm^2)

q_c = tahanan ujung sondir (kg/cm^2)

$K_d = (1 + 0,33D/B)$ = faktor kedalaman pondasi, dengan nilai maksimum

$K_d = 1,33$

B = Lebar Pondasi (m)

4. Perhitungan kapasitas daya dukung berdasarkan kekuatan bahan.

Luas penampang *bore pile*

$$A_p = P \times L \dots\dots\dots(3.11)$$

Berat *bore pile*

$$W_p = A \cdot L \cdot w_c \dots\dots\dots(3.12)$$

Kapasitas dukung nominal *bore pile*

$$P_n = 0,3 \times f_c \times A - 1,2 \times W_p \text{ Tahanan aksial tiang } \phi \cdot P_n$$

5. Perhitungan kapasitas daya dukung lateral tiang *bore pile* secara analitis dengan metode brooms.

- a. Cek kekakuan tiang akibat beban lateral.

$$\overline{E} = 4700 \times \sqrt{f_c} \dots\dots\dots(3.13)$$

$$I = \frac{1}{64} \times \pi \times (D)^4 \dots\dots\dots(3.14)$$

Untuk mencari faktor kekakuan tanah (T) adalah :

$$T = \left(\frac{E_p \times I_p}{n h} \right)^{1/5} \dots\dots\dots(3.15)$$

- b. Cek keruntuhan tanah akibat beban lateral agar dapat mengetahui tanah runtuh atau tidak akibat adanya beban

lateral yang terjadi pada tiang, maka kita harus menghitung besarnya momen maksimum yang harus ditahan oleh tiang jika tanah didesak ke arah horizontal oleh tiang sampai tanah tersebut runtuh.

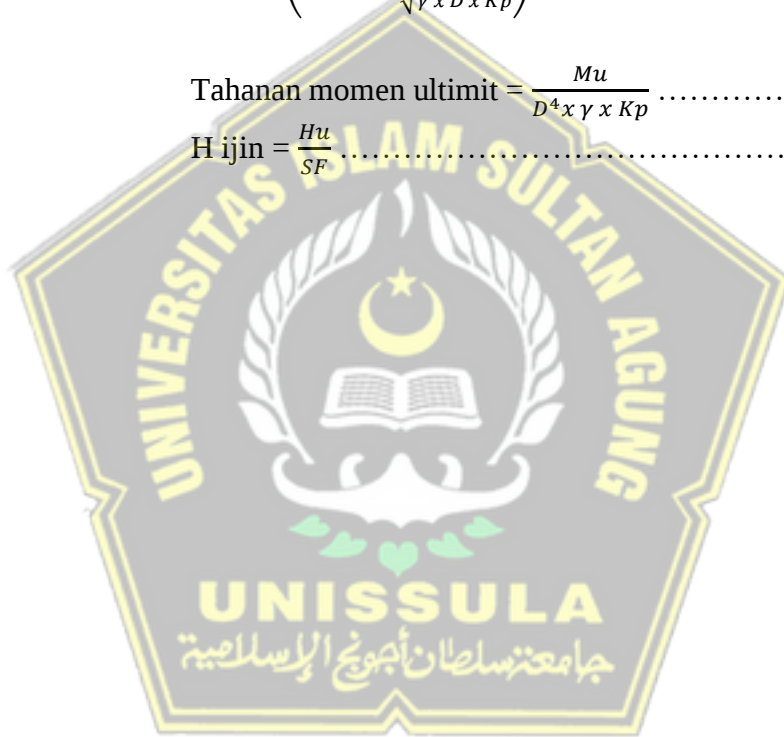
$$M_{max} = B \times \gamma \times L^3 \times K_p$$

Cek nilai H_u yang terjadi.

$$H_u = \left(\frac{2My}{e+0,54 \times \sqrt{\frac{H_u}{\gamma \times D \times K_p}}} \right) \dots \dots \dots (3.16)$$

$$\text{Tahanan momen ultimit} = \frac{M_u}{D^4 \times \gamma \times K_p} \dots \dots \dots (3.17)$$

$$H_{ijin} = \frac{H_u}{SF} \dots \dots \dots (3.18)$$



3.7.3. Kebutuhan Jumlah Pondasi *Bore Pile*

Pondasi adalah elemen sebuah bangunan yang berfungsi sebagai menyalurkan beban yang bekerja pada struktur atas. Sehingga jumlah kebutuhan tiang *bore pile* akan memengaruhi kekuatan pada struktur di atasnya. Tahap pertama yaitu menentukan luas gedung yang akan dibangun, menentukan volume pondasi dan menentukan luas penampang dari pondasi, kemudian hasil luas gedung tadi dibagi dengan jumlah hasil luas pondasi dan luas penampang.

3.8. Permodelan Pondasi *Bore Pile*

3.8.1. Perhitungan Daya Dukung Vertikal Pondasi Satu Tiang (*Single Pile*) menurut Meyerhof (1956)

Menurut Meyerhof (1956), Penurunan elastis pada pondasi satu tiang dapat dirumuskan sebagai berikut :

Daya dukung ujung :

$$Q_p = 40 \times N\text{-SPT} \times A_p \dots\dots\dots (3.19)$$

Daya dukung selimut :

$$Q_s = 0,2 \times N\text{-SPT} \times p \times L_i \dots\dots\dots (3.20)$$

Keterangan : جامعته سلطان أبوبوع الإسلام

$N\text{-SPT}$ = Nilai SPT tiap lapisan

p = Keliling (m)

L_i = Tebal Lapisan (m)

A_p = Luas Penampang (m)

D = Diameter Pondasi

3.8.2. Perhitungan Daya Dukung Pondasi Kelompok Tiang (*Group Pile*) menurut *Converse-Labarre*

Perhitungan kapasitas dukung pondasi kelompok tiang berdasarkan pada data perhitungan pondasi satu tiang diatas menggunakan rumus dari *Converse-Labarre* sebagai berikut :

- a. Menentukan jumlah tiang *bore pile* (n)

$$n = \frac{P}{Q_a} \dots\dots\dots(3.22)$$

Dimana :

P = Beban bangunan pada Joint

Q_a = Qallowable

- b. Menentukan Jarak Tiang

$$2,5 D < s < 3 D$$

Dimana :

D = Diameter Tiang (cm)

s/nd/d = Jarak pusat kepusat tiang (cm)

- c. Perhitungan Daya Dukung

$$\eta = \left[\frac{(n_1-1).n_2 + (n_2-1).n_1}{90 \times n_1 \times n_2} \right] \times \theta ; ; \text{dimana : } \theta = \tan^{-1} \left(\frac{D}{d} \right)$$

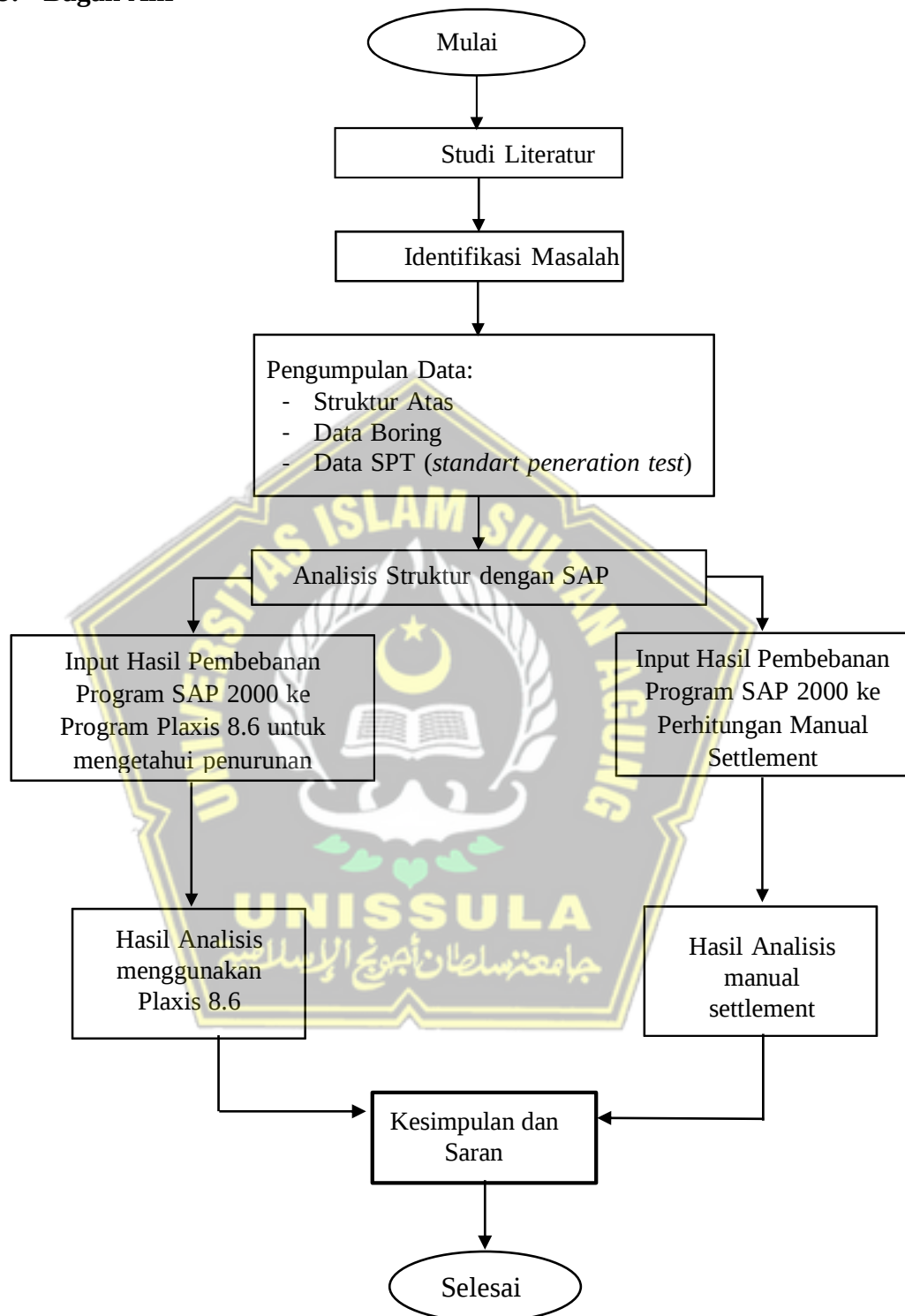
Dimana :

η = efisiensi kelompok tiang

n₁ = jumlah baris tiang

n₂ = jumlah tiang dalam satu baris diagram alir

3.9. Bagan Alir



Gambar 3.2. Bagan alir
(Sumber: Penulis, 2022)

BAB IV

ANALISA DAN PERHITUNGAN

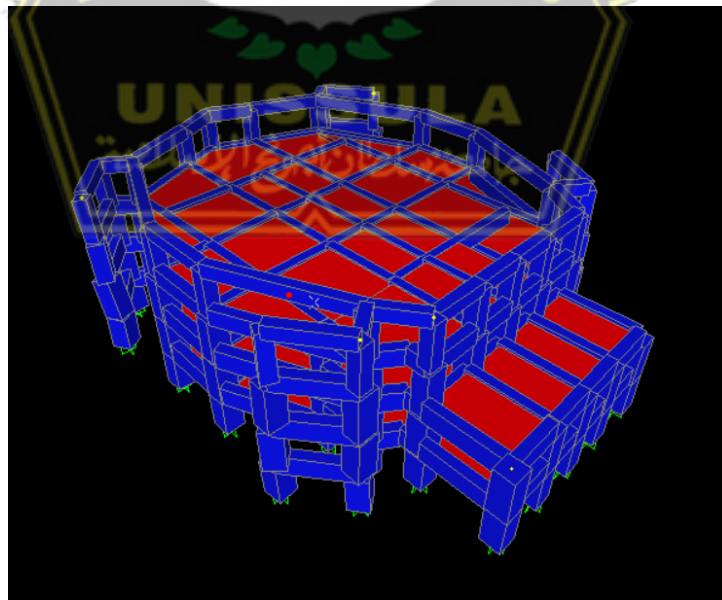
4.1. Tinjauan Umum

Data yang diperoleh dari pembangunan Gedung Student Center Universitas Atma Jaya Yogyakarta, yang berupa data hasil penyelidikan tanah mulai dari pengeboran tanah dan data N-SPT, metode yang digunakan untuk perencanaan penurunan tanah akibat beban bangunan menggunakan metode Meyerhof. Perhitungan penurunan tanah pada pondasi menggunakan program aplikasi Plaxis 8.6. Untuk mengetahui berapa besarnya pembebanan dilakukan pembebanan struktur dengan menggunakan program aplikasi SAP 2000.

4.2. Tahap Pengerjaan

Tahapan untuk menganalisis daya dukung tanah dan penurunan pondasi bore pile yang terjadi pada bangunan gedung Student Center Universitas Atma Jaya Yogyakarta dengan menggunakan beberapa metode seperti berikut:

1) **Analisa Beban menggunakan Program SAP 2000**



Gambar 4.1. Desain struktur atas *software* SAP 2000 14

Berikut adalah data yang digunakan pada proyek pembangunan Gedung Student Center Universitas Atma Jaya Yogyakarta,

- a) Berat jenis beton bertulang = $24 \text{ KN} / \text{m}^3$
- b) Tebal plat lantai dan atap = 12 cm
- c) Mutu beton = K-500
- d) Mutu baja tulangan = $f_y 420 \text{ Mpa}$

Berikut ini adalah beban mati yang digunakan mengacu pada PPIUG 1983

a. Beban mati plat lantai

1) Pasir (1cm)	= $0,01 \times 1600 \text{ kg} / \text{m}^2$	= $16 \text{ kg} / \text{m}^2$
2) Adukan semen (3cm)	= $0,03 \times 21 \text{ kg} / \text{m}^2$	= $0,63 \text{ kg} / \text{m}^2$
3) Plat Lantai	= 2400×12	= $288 \text{ kg} / \text{m}^2$
4) Keramik (1cm)	= $0,01 \times 24 \text{ kg} / \text{m}^2$	= $0,24 \text{ kg} / \text{m}^2$
5) ME	= $25 \text{ kg} / \text{m}^2$	= $25 \text{ kg} / \text{m}^2$
6) Plafond & penggantung	= $18 \text{ kg} / \text{m}^2$	= $18 \text{ kg} / \text{m}^2$
TOTAL		= $347,87 \text{ kg/m}^2$ +

b. Beban mati plat atap

1) ME	= 25 kg/m^2	= 25 kg/m^2
2) Plafond & penggantung	= 18 kg/m^2	= 18 kg/m^2
3) Penutup Atap	= 40 kg/m^2	= 40 kg/m^2
TOTAL		= 83 kg/m^2 +

Berikut adalah beban hidup yang digunakan dengan mengacu pada SNI 1727-2020, dapat dilihat Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Beban Hidup

Hunian	Merata (KN/m^2)	Terpusat (KN)
Sekolah :		
Ruang kelas	1,92	4,45
Koridor diatas lantai pertama	3,83	4,45
	4,79	4,45

(Sumber : SNI 1727-2020)

Berikut adalah beban gempa yan digunakan mengacu pada SNI 1726 : 2019, dapat dilihat Tabel 4.2 hingga Tabel 4.6.

Tabel 4.2. Kategori Resiko

Kegunaan	Kategori Resiko
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran	II

(Sumber : SNI 1726:2019)

Tabel 4.3. Faktor Keutamaan Gempa

Kategori risiiko	Faktor keutamaan gempa (Ie)
I / II	1
III	1.25
IV	1.5

(Sumber : SNI 1726:2019)

Tabel 4.4. Kategori Desain Seismik Berdasarkan Nilai SDS

Nilai SDS	Kategori risiko	
	I atau II atau III	I V
$SDS < 0.167$	A	A
$0.167 \leq SDS \leq 0.33$	B	C
$0.33 \leq SDS \leq 0.50$	C	D
$0.50 \leq SDS$	D	D

(Sumber : SNI 1726 : 2019)

Tabel 4.5. Kategori Desain Seismik Berdasarkan Nilai S_{D1}

Nilai S_{D1}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	I atau V
$S_{D1} < 0.067$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} \leq 0.133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} \leq 0.20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

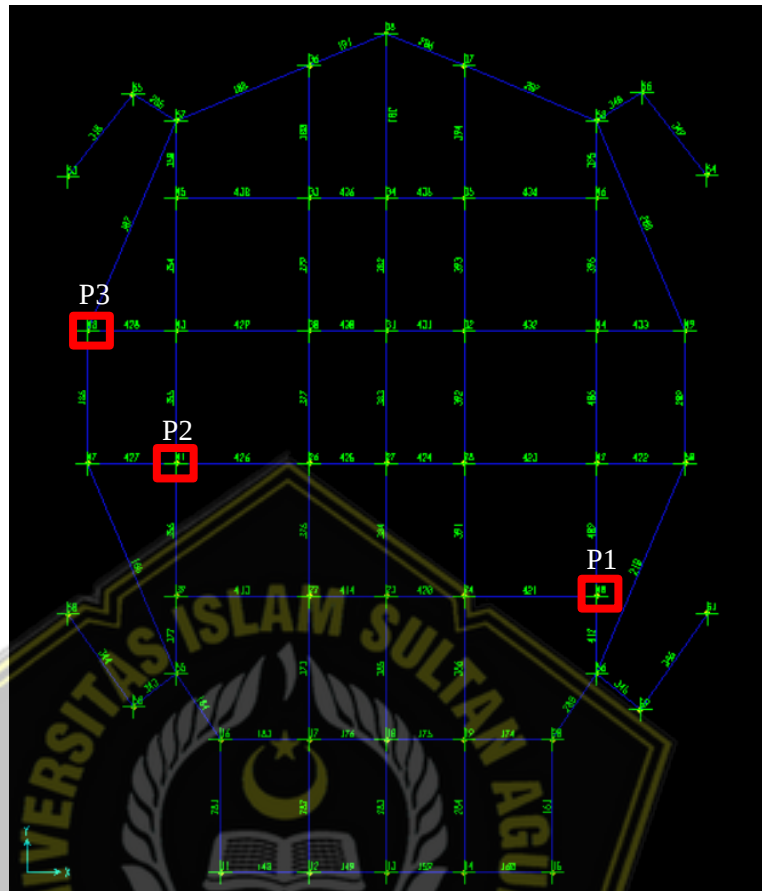
(Sumber : SNI 1726 : 2019)

Analisa beban pada suatu bangunan dihitung dengan program SAP2000. Dibawah ini merupakan langkah – langkahnya seperti berikut:

- Membuat pemodelan 3D frame, klik new model lalu pada *New Model Initiaization* ceklist *Initiaze Model from Defaults with Units* dan pilih opsi satuan KN, m, C, kemudian pilih *Grid only* seperti gambar dibawah.
- Pengaturan material, define – Material – Add New Material Selanjutnya adalah mengatur koordinat dengan cara mengisi tabel koordinat Define Grid System Data sesuai dengan yang direncanakan pada model.
- Mengatur material dengan Material Name : K-500, weight per unit volume diberi berat jenis beton, Modulus of Elasticity, E diisi elastisitas beton dengan menggunakan rumus $4700 f_c'$ lalu Specified Concrete Compressive Strength, f_c' diisi kuat tekan beton rencana.
- Untuk Mengatur dimensi material, Define – Section Properties –Frame Section – Add New Property.
- Untuk Mengatur dimensi balok dan kolom, isi pada Depth dan Width, material diatur sesuai perencanaan sebelumnya.
- Untuk desain Plat/ Slab, klik Define – Section Properties – Pilih Area Section pilih section type to add shell – Klik Add New Section
- Untuk mengatur dimensi plat, pada Material Name pilih material disesuaikan desain pada langkah sebelumnya. Pada Membrane dan Bending diisi ukuran plat rencana.

- h. Setelah mengatur material dan dimensi penampang, lalu diplot pada pemodelan frame. Untuk mengatur balok dan kolom dilakukan dengan cara mengeklik bagian balok atau kolom yang akan diatur lalu klik *Assign – Frame Sections* – pilih material – lalu klik *Ok*
- i. Untuk beban plat dapat diisi melalui klik area plat yang akan dibebani – klik *assign – Area Load* – pilih *uniform to frame* – atur *Load Pattern* – isi beban pada *Load* – pada *distribution* pilih *two – way* – klik *Ok*.
- j. Untuk mengatur Atur load case klik *Define – Load Case* – *Klik add new load case*.
- k. Setelah pemodelan selesai, sebelum dilakukan analisis atur terlebih dahulu *Load Combination* dengan cara klik *define – load combination – add new combo* – lalu atur kombinasi beban sebagai berikut :
- 1,4 D
 - 1,2 D + 1,6 L
 - ENVELOP
- Dimana :
- D = Beban Mati
- L = Beban Hidup
- l. Run Analysis untuk melihat reaksi dan gaya – gaya yang bekerja pada struktur. Klik *Analysis – set analysis options* – pilih *space time*, lalu klik *ok*.

Setelah semua data pembebanan dimasukkan pada SAP2000 v.14, maka didapatkan hasil *output joint reaction* dilihat pada Tabel 4.7. Sedangkan *joint* yang digunakan dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2. Denah joint yang digunakan dalam perhitungan

2) Hasil Beban Struktur Atas

Hasil beban dari struktur atas ini didapat dari SAP2000 dengan rincian hasil beban seperti Tabel 4.5.

Tabel 4.6. Hasil Beban Struktur Atas

Joint	OutputCase	StepType	Pu	Mu	Vu
Text	Text	Text	KN	KN-m	KN-m
P1	1,2 D + L + QY	Max	146,128	349,217	10865,104
P2	1,2 D + L + QY	Max	262,261	361,579	4966,547
P3	1,2 D + L + QY	Max	12,761	10,157	1028,8

(Sumber : Program sap 2000 14)

Dari data Tabel 4.1. diatas menunjukkan hasil beban maksimum yang didapat dari perhitungan software SAP2000 dengan hasil beban pada joint 41 (P1) sebesar 10865,104 kN, joint 61 (P2) sebesar 4966,547 kN dan joint 48 (P3) sebesar 1028,8 kN.

Tabel 4.7. Parameter tanah

No	Depth (m)	Konsistensi	N-spt	E (Kn/m ²)	c (kN/m ²)	φ (phi)	kx (m/day)	ky (m/day)	v	γ _{dry} (kN/m ²)	γ _{sat} (kN/m ²)
1	0-15	LUNAK	21,8	20000	11.757	27.27	6.74E-07	6,74E-07	0.3	9.345	13.845
2	15-28	Agak LUNAK	46,7	40000	14.568	33.26	0,9504	0,9504	0.3	9.914	14.592
3	28-40	KERAS	60	60000	17.589	37.70	0,9504	0,9504	0.3	13.454	17.789

Nb : data-data parameter tanah diatas diambil dari data uji tanah laboratorium mekanika tanah UAJY

3) Analisa Daya Dukung Pondasi *Bored Pile*

Data Pondasi *bored pile*

Diameter (D) = 60 cm

Keliling (P) = $\pi \cdot D$
 $= 3,14 \cdot 0,60$

$= 1,884 \text{ m}$

luas Penampang (A_p) = $\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2$
 $= 0,283 \text{ m}^2$

Kedalaman = 28 m

a. Daya Dukung Pondasi *Bored Pile* Metode Mayerhof

Daya dukung tanah non kohesif kedalaman 28 m,

❖ Perhitungan nilai N-SPT

$$N1 - 10D = 10 \times 0,6 = 6 \leftrightarrow 28 - 6 = 22 \rightarrow N\text{-SPT} = 33$$

$$N2 - 4D = 4 \times 0,6 = 2,4 \leftrightarrow 28 + 2,4 = 30,4 \rightarrow N\text{-SPT} = 53$$

$$N_b = \frac{N_1 + N_2}{2} = \frac{33 + 53}{2} = 43$$

- ❖ Perhitungan daya dukung ujung tiang

$$\begin{aligned} Q_p &= 40 \cdot N_b \cdot A_p \\ &= 40 \cdot 43 \cdot 0,283 \\ &= 486,76 \text{ kN} \end{aligned}$$

- ❖ Perhitungan daya dukung selimut pondasi *bored pile*

$$Q_s = 2 \cdot \text{NSPT} \cdot P \cdot L_i$$

Dimana :

Q_s = Daya Dukung Selimut (kN)

P = Keliling (m)

L_i = kedalaman Tanah (m)

$$\begin{aligned} Q_s &= 2 \cdot \text{NSPT} \cdot P \cdot L_i \\ &= 2 \cdot 47 \cdot 1,884 \cdot 28 \\ &= 4958,7 \text{ kN} \end{aligned}$$

- ❖ Perhitungan daya dukung ultimit pondasi

$$\begin{aligned} Q_{ult} &= Q_p + Q_s \\ &= 486,76 + 4958,7 \\ &= 5445,46 \text{ kN} \end{aligned}$$

- ❖ Perhitungan daya dukung izin pondasi *bored pile*

$$Q_{all} = \frac{Q_{ult}}{sf} = \frac{5445,46}{2,5} = 2178,24 \text{ kN}$$

Untuk perhitungan selanjutnya pada Tabel 4.8

Tabel 4.8. Hasil Daya Dukung Fondasi Metode Mayerhoft

dept	NSPT	Ap	Li	Nb	P(m)	Qp (kN)	Qs (kN)	Qult (kN)	sf	Qall (kN)
0	0	0,28	28,00	2,00	1,89	22,63	0,00	22,63	2,50	9,051429
2	14	0,28	28,00	2,00	1,89	22,63	1478,40	1501,03	2,50	600,4114
4	18	0,28	28,00	3,50	1,89	39,60	1900,80	1940,40	2,50	776,16
6	22	0,28	28,00	5,50	1,89	62,23	2323,20	2385,43	2,50	954,1714
8	11	0,28	28,00	12,50	1,89	141,43	1161,60	1303,03	2,50	521,2114
10	22	0,28	28,00	16,00	1,89	181,03	2323,20	2504,23	2,50	1001,691
12	29	0,28	28,00	17,00	1,89	192,34	3062,40	3254,74	2,50	1301,897
14	24	0,28	28,00	12,50	1,89	141,43	2534,40	2675,83	2,50	1070,331
16	28	0,28	28,00	19,50	1,89	220,63	2956,80	3177,43	2,50	1270,971
18	19	0,28	28,00	30,50	1,89	345,09	2006,40	2351,49	2,50	940,5943
20	31	0,28	28,00	21,00	1,89	237,60	3273,60	3511,20	2,50	1404,48
22	33	0,28	28,00	25,00	1,89	282,86	3484,80	3767,66	2,50	1507,063
24	33	0,28	28,00	22,00	1,89	248,91	3484,80	3733,71	2,50	1493,486
26	38	0,28	28,00	30,00	1,89	339,43	4012,80	4352,23	2,50	1740,891
28	47	0,28	28,00	29,50	1,89	333,77	4963,20	5296,97	2,50	2118,789

(Sumber : Excel Perhitungan Daya Dukung pondasi Metode Mayerhoft)

(tambahkan penjelasan)

b. Daya Dukung pondasi Bored Pile Metode Reese & Wright

Perhitungan untuk tanah non kohesif menggunakan metode Reese & Wright, pada kedalaman 28 m

➤ Perhitungan nilai kohesi tanah

$$10D = 10 \times 0,6 = 6 \leftrightarrow 28 - 6 = 22 \rightarrow \text{N-SPT} = 33$$

$$4D = 4 \times 0,6 = 2,4 \leftrightarrow 28 + 2,4 = 30,4 \rightarrow \text{N-SPT} = 53$$

$$\text{N-SPT rata-rata} = \frac{33+60+53}{3} = 48,6$$

$$C_u = \frac{2}{3} \cdot \text{N-SPT}_{\text{rata-rata}} \cdot 10$$

$$= \frac{2}{3} \cdot 48,6 \cdot 10$$

$$= 324 \text{ kN} / \text{m}^2$$

➤ Perhitungan daya dukung ujung pondasi *bored pile*

$$\begin{aligned}
 Q_p &= 9 \cdot C_u \cdot A_p \\
 &= 9 \cdot 324 \cdot 0,283 \\
 &= 825,228 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Perhitungan daya dukung selimut fondasi *bored pile*

$$\begin{aligned}
 Q_s &= 2 \cdot N \cdot P \cdot \Delta I \\
 &= 2 \cdot 47 \cdot 1,884 \cdot 28 \\
 &= 4958,688 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Perhitungan daya dukung ultimit pondasi

$$\begin{aligned}
 Q_{ult} &= Q_p + Q_s \\
 &= 825,228 + 4958,688 \\
 &= 5783,9 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Perhitungan daya dukung izin pondasi *bored pile*

$$Q_{all} = \frac{Q_{ult}}{sf} = \frac{5783,916}{2,5} = 2313,6 \text{ kN}$$

Untuk perhitungan selanjutnya di Tabel 4.9

Tabel 4.9. Hasil Daya Dukung Fondasi Metode Reese&Wright

dept	NSPT	Cu (kN/m ²)	Ap (m ²)	P (m)	ΔI (m)	Qp (kN)	Qs (kN)	Qult (kN)	sf	Qall (kN)
0	0	8,89	0,28	1,89	28,00	22,63	0,00	22,63	2,50	9,0514
2	15	17,78	0,28	1,89	28,00	45,26	1584,00	1629,26	2,50	651,702
4	19	26,67	0,28	1,89	28,00	67,89	2006,40	2074,29	2,50	829,714
6	24	40,00	0,28	1,89	28,00	101,83	2534,40	2636,23	2,50	1054,49
8	15	77,78	0,28	1,89	28,00	198,00	1584,00	1782,00	2,50	712,8
10	22	97,78	0,28	1,89	28,00	248,91	2323,20	2572,11	2,50	1028,845
12	30	111,11	0,28	1,89	28,00	282,86	3168,00	3450,86	2,50	1380,342
14	24	91,11	0,28	1,89	28,00	231,94	2534,40	2766,34	2,50	1106,537
16	28	117,78	0,28	1,89	28,00	299,83	2956,80	3256,63	2,50	1302,651
18	25	137,78	0,28	1,89	28,00	350,74	2640,00	2990,74	2,50	1196,297
20	25	140,00	0,28	1,89	28,00	356,40	2640,00	2996,40	2,50	1198,56
22	30	124,44	0,28	1,89	28,00	316,80	3168,00	3484,80	2,50	1393,92
24	31	157,78	0,28	1,89	28,00	401,66	3273,60	3675,26	2,50	1470,10
26	38	175,56	0,28	1,89	28,00	446,91	4012,80	4459,71	2,50	1783,88

28	51	166,67	0,28	1,89	28,00	424,29	5385,60	5809,89	2,50	2323,95
----	----	--------	------	------	-------	--------	---------	---------	------	---------

(Sumber :Excel Perhitungan Daya Dukung pondasi Metode Reese&Wright)

(tambahkan penjelasan)

4) Perhitungan Jarak Antar Fondasi *Bored pile* Dan Jarak As Ke Tepi

- Menentukan jarak antar fondasi *bored pile* berdasarkan persamaan $2,5D < S < 3D$, diambil $3D \rightarrow 3 \times 0,6 = 1,8 \text{ m}$.
- Menentukan jarak as pondasi ke tepi *pile cap* $S < 1.25D = 1.25 \cdot 0,6 = 0,75 \text{ m}$, maka digunakan $0,6 \text{ m}$.

5) Kebutuhan Jumlah Pondasi *Bored Pile*

Menentukan banyaknya fondasi yang dibutuhkan dalam kelompok tiang. Berikut adalah data beban yang digunakan :

- a. $P1 = 10865,104 \text{ kN}$, maka $N_{p1} = \frac{v}{Q_{tiang}} = \frac{10865,104}{2178,24} = 4,98$ dibulatkan menjadi 8 buah.
- b. $P2 = 4996,547 \text{ kN}$, maka $N_{p1} = \frac{v}{Q_{tiang}} = \frac{4996,547}{2178,24} = 2,29$ dibulatkan menjadi 3 buah.
- c. $P3 = 1028,8 \text{ kN}$, maka $N_{p1} = \frac{v}{Q_{tiang}} = \frac{1028,8}{2178,24} = 0,47$ dibulatkan menjadi 1 buah.

6) Efisiensi Daya Dukung Tiang

Efisiensi daya dukung menggunakan metode *Converse-Labarre* sebagai berikut,

- Perhitungan efisiensi tiang dengan jumlah rencana 3 buah

$$\eta = 1 - \left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{90.m.n} \right] \times \theta$$

Dimana :

η = efisiensi kelompok (%)

m = jumlah arah vertical

n = jumlah kolom arah horizontal

$$\theta = \arctan d/s$$

s = jarak as tiang (m)

d = diameter tiang (m)

➤ Perhitungan efisiensi tiang dengan jumlah rencana 8 buah

$$\theta = \arctan \frac{D}{s} = \arctan \frac{0,6}{1,8} = 18,43$$

$$n = 4 ; m = 2$$

$$\begin{aligned} \eta &= 1 - \left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{90 \cdot m \cdot n} \right] \times \theta \\ &= 1 - \left[\frac{(4-1)2 + (2-1)4}{90 \cdot 2 \cdot 4} \right] \times 18,43 \\ &= 0,74 = 74\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_g &= \eta \cdot n' \cdot Q_{all} \\ &= 0,74 \cdot 8 \cdot 2178,24 \\ &= 12964,8 \text{ kN} \end{aligned}$$

Didapatkan $V (10865,1 \text{ kN}) \leq Q_g (12964,8 \text{ kN})$, maka **AMAN**

➤ Perhitungan efisiensi tiang dengan jumlah rencana 3 buah

$$\theta = \arctan \frac{D}{s} = \arctan \frac{0,6}{1,8} = 18,43$$

$$n = 3 ; m = 1$$

$$\begin{aligned} \eta &= 1 - \left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{90 \cdot m \cdot n} \right] \times \theta \\ &= 1 - \left[\frac{(3-1)1 + (1-1)3}{90 \cdot 3 \cdot 1} \right] \times 18,43 \\ &= 0,86 = 86\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_g &= \eta \cdot n' \cdot Q_{all} \\ &= 0,86 \cdot 3 \cdot 2178,24 \\ &= 5619,9 \text{ kN} \end{aligned}$$

Didapatkan $V (4966,5 \text{ kN}) \leq Q_g (5619,9 \text{ kN})$, maka **AMAN**

➤ Perhitungan efisiensi tiang dengan jumlah rencana 1 buah

$$\theta = \arctan \frac{D}{s} = \arctan \frac{0,8}{2,4} = 18,43$$

$$n = 1 ; m = 1$$

$$\eta = 1 - \left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{90 \cdot m \cdot n} \right] \times \theta$$

$$= 1 - \left[\frac{(1-1)^1 + (1-1)^1}{90 \cdot 1 \cdot 1} \right] \times 18,43$$

$$= 1 = 100\%$$

$$Q_g = \eta \cdot n' \cdot Q_{all}$$

$$= 1 \cdot 1 \cdot 2178,24$$

$$= 2178,24 \text{ kN}$$

Didapatkan $V (1028,8 \text{ kN}) \leq Q_g (2178,24 \text{ kN})$, maka **AMAN**

7) Penurunan Tiang Tunggal

Diketahui :

$$Q_{wp} = 333,77 \text{ kN}$$

$$Q_{ws} = 4963,20 \text{ kN}$$

$$Q_p = 1500 \text{ kN}$$

$$E_p = 4700 \sqrt{41,5} = 30277632 \text{ kN/m}^2$$

$$E_s = 50000 \text{ kN/m}^2$$

$$C_p = 0,03$$

$$\epsilon_c = 0,5$$

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$L = 28 \text{ m}$$

$$A_p = 0,283 \text{ m}^2$$

$$P = 1,884 \text{ m}$$

Perhitungan penurunan tiang tunggal menurut Vesic sebagai berikut,

$$S_t = S_1 + S_2 + S_3$$

Dimana :

S = total penurunan (mm)

S_1 = akibat batang (mm)

S_2 = akibat beban di ujung (mm)

S_3 = akibat beban yang tersalurkan sepanjang selimut (mm)

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

$$S_2 = \frac{Q_{wp} \times C_p}{D \times q_p}$$

$$S_3 = \frac{Q_{wp}}{P \cdot L} \times \frac{D}{E_s} \times (1 - \mu_s^2) \times I_{ws}$$

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

Dimana :

Q_{wp} = beban yang diterima ujung tiang (kN)

Q_{ws} = beban yang diterima selimut tiang (kN)

L = panjang tiang (m)

A_b = Luas penampang tiang (m^2)

E_p = modulus elastisitas tiang (MPa)

ξ = 0,5 (distribusi tahanan sepanjang tiang)

q_p = tahanan ujung batas tiang (kN)

C_p = koefisien empiris

$$S_1 = \frac{(Q_{wp} + \xi \times Q_{ws})L}{A_p \times E_p} = \frac{(333,77 + 0,5 \times 4963,20)28}{0,283 \times 302776320} = 0,00092 \text{ mm}$$

$$S_2 = \frac{Q_{wp} \times C_p}{D \times q_p} = \frac{333,77 \times 0,03}{0,6 \times 1500} = 0,011126 \text{ mm}$$

$$I_{ws} = 2 + 0,35 \sqrt{\frac{L}{D}} = 2 + 0,35 \sqrt{\frac{28}{0,6}} = 16,054$$

$$S_3 = \frac{Q_{wp}}{P.L} \times \frac{D}{E_s} \times (1 - \mu_s^2) \cdot I_{ws} = \frac{333,77}{1,884 \times 36} \times \frac{0,6}{50000} \times (1 - 0,3^2) \times 16,054 = 0,000863 \text{ mm}$$

$$S_t = S_1 + S_2 + S_3$$

$$= 0,00092 + 0,011126 + 0,000863$$

$$= 0,013 \text{ m}$$

Penurunan yang diizinkan adalah $S_{izin} = 10 \% \times D$, $10\% \times 0,6 = 0,06 \text{ m}$

Maka penurunan total tiang tunggal **AMAN**, karena $0,013 < 0,06 \text{ m}$

8) Penurunan Kelompok Tiang

Berikut perhitungan penurunan kelompok tiang

➤ Penurunan kelompok tiang bored pile (P1)

$$S_g = S_t \sqrt{\frac{b'}{D}}$$

Dimana :

S_g = Penurunan Kelompok Tiang (mm)

S_t = Penurunan Tiang Tunggal (mm)

b' = Lebar Kelompok Tiang (mm)

B = Diameter Fondasi (mm)

- $$\begin{aligned} \text{Sg P1} &= St \sqrt{\frac{b'}{D}} \\ &= 0,013 \sqrt{\frac{4}{0,6}} \\ &= 0,0335 \text{ m} = 3,35 \text{ cm} \end{aligned}$$

- $$\begin{aligned} \text{Sg P2} &= St \sqrt{\frac{b'}{D}} \\ &= 0,013 \sqrt{\frac{2,5}{0,6}} \\ &= 0,027 \text{ m} = 2,7 \text{ cm} \end{aligned}$$

- $$\begin{aligned} \text{Sg P3} &= St \sqrt{\frac{b'}{D}} \\ &= 0,013 \sqrt{\frac{1,2}{0,6}} \\ &= 0,018 \text{ m} = 1,8 \text{ cm} \end{aligned}$$

9) Lama Penurunan Tanah Pondasi Bored Pile

Tabel 4.10. Derajat Konsolidasi

U_{av} (%)	T_v
0	0
10	0,008
20	0,031
30	0,071
40	0,126
50	0,197
60	0,403
70	0,197
80	0,567
90	0,0848
100	∞

(Sumber : Adi Mardani, 2014)

Penurunan tanah pada pondasi bored pile sebagai berikut,

$$T = \frac{T_v \times H^2}{c_v}$$

Dimana :

T = waktu penurunan

T_v = faktor waktu (derajat konsolidasi rata-rata), pada tabel 4.5

H² = seluruh panjang lintasan fondasi (m)

C_v = derajat konsolidasi (0.0045 m² / dtk)

$$T_v = 0,848$$

$$C_v = 0,0045 \text{ m}^2 / \text{dtk}$$

$$T = \frac{T_v \times H^2}{C_v}$$

$$= \frac{0,848 \times 28^2}{0,0045}$$

$$= 144740,4 \text{ jam}$$

$$= 16 \text{ tahun}$$

10) Perhitungan Daya Dukung Lateral Pondasi Bored Pile

Diketahui :

$$\gamma = 13,50 \text{ kN/m}^3$$

$$\theta = 20,42^\circ, K_p = \frac{1}{K_a} = \frac{1}{\tan(45 - \frac{20,42}{2})} = \frac{1}{1,4393} = 0,7$$

$$F_c' = 45,1 \text{ Mpa}$$

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$\gamma_h = 150 \text{ kN/m}^3$$

$$L = 28 \text{ m}$$

➤ Cek kekakuan tiang fondasi bored pile,

$$E_p = 4700 \times \sqrt{f_c}$$

Dimana :

E_p = Modulus Elastisitas Tiang (kN/m²)

F_c = Kuat Jenis Beton (MPa)

$$E_p = 4700 \times \sqrt{f_c}$$

$$= 4700 \times \sqrt{41,5}$$

$$= 30277,6320 \text{ kN/m}^2$$

➤ Kekakuan tiang fondasi, berdasarkan persamaan 2.19

$$I = \frac{1}{6} \cdot \pi \cdot D^2$$

Dimana :

I = Momen Inersia (m^4)

D = Diameter (m)

$$\begin{aligned} I &= \frac{1}{6} \cdot \pi \cdot D^2 \\ &= \frac{1}{6} \cdot 3,14 \cdot 0,6^2 \\ &= 0,1884 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

➤ Faktor kekakuan

Faktor kekakuan pada tanah granular sebagai berikut,

$$T = \sqrt[5]{\frac{E_p \times I}{n_h}}$$

Dimana :

T = konsolidasi normal maka modulus tanah menjadi tak permanen (m)

n_h = Koefisien Modulus Variasi (kN/m^3)

$$\begin{aligned} T &= \sqrt[5]{\frac{E_p \times I}{n_h}} \\ &= \sqrt[5]{\frac{30278 \times 0,1884}{150}} \\ &= 2,07 \text{ m} \\ 4T &= 4 \cdot T \\ &= 4 \cdot 2,07 \\ &= 8,28 \text{ m} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan didapatkan, L (36 m) $>$ $4T$ (8,28 m), sehingga tiang fondasi merupakan tiang pondasi panjang elastis.

➤ Cek keruntuhan tanah

Perhitungan keruntuhan tanah berdasarkan persamaan 2.23

$$M_{\max} = \gamma \cdot D \cdot L^3 \cdot K_p$$

Dimana :

γ = Berat Volume Tanah (kN/m^3)

L = Kedalaman (m)

K_p = Koefisien Tekanan Tanah Pasif

$$M_{\max} = \gamma \cdot D \cdot L^3 \cdot K_p$$

$$= 13,50 \cdot 0,6 \cdot 28^3 \cdot 0,7$$

$$= 12.4468 \text{ kN/m}$$

➤ Karena tiang fondasi panjang dan ujung jepit, $M_{\max} > M_y$, dan asumsi $M_y = 1500 \text{ KNm}$.

$$f = 0,82 \sqrt{\frac{H_u}{D \times K_p \times \gamma}}$$

$$= 0,82 \sqrt{\frac{H_u}{0,6 \times 0,7 \times 13,50}}$$

$$= 0,344 \sqrt{H_u}$$

$$H_u = \frac{2M_y}{e + \frac{2f}{3}}$$

$$= \frac{2 \times 1500}{0 + \frac{2(0,344 \sqrt{H_u})}{3}}$$

$$= 114,21 \text{ kN}$$

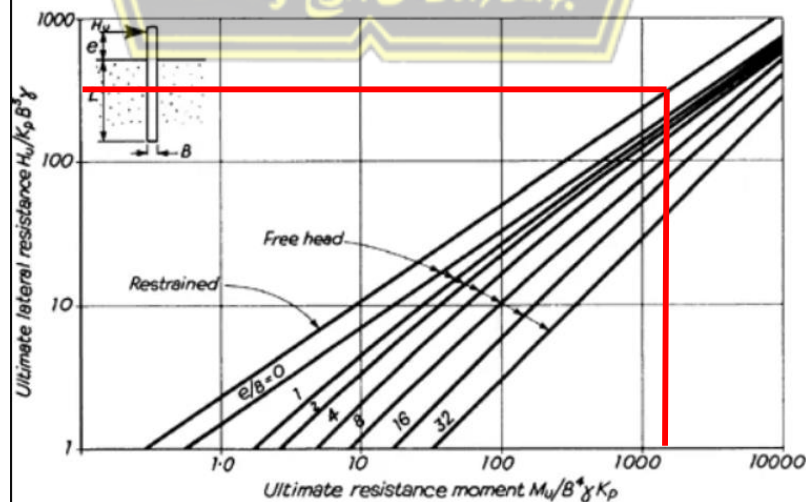
$$H_{izin} = \frac{H_u}{S_f} = \frac{114,21}{2,5} = 45,7 \text{ Kn}$$

$$\text{Tahanan momen ultimit} = \frac{M_y}{D^4 \times \gamma \times K_p}$$

$$= \frac{1500}{0,6^4 \times 13,5 \times 0,7}$$

$$= 1224,8 \text{ kN}$$

Nilai tahanan ultimit didapatkan 1224,8 kN, lalu di input ke dalam grafik, dilihat di Gambar 4.3. didapat sebesar 500



Gambar 4.3. Tahanan Ultimit

$$500 = \frac{H_u}{K_p \cdot \gamma \cdot D^3}$$

$$H_u = 500 \times 0,7 \times 13,5 \times 0,6^3$$

$$= 1020,6 \text{ kN}$$

11) Penurunan Pondasi Menggunakan Software Plaxis v.8.6

Tujuan dari dibuatnya pemodelan pondasi *bored pile* dengan menggunakan software Plaxis v.8.6 untuk mengetahui besarnya penurunan pondasi bore pile akibat beban aksial yang diterima. Data yang digunakan untuk pemodelan menggunakan software Plaxis v.8.6 yaitu

- Beban S_{izin} yang diperoleh sebelumnya dari pemodelan SAP 2000
- Parameter tanah pada Tabel 4.6. berikut rinciannya,

Dimana :

$$E = 4700 \sqrt{FC'}$$

$$= 4700 \sqrt{41,5}$$

$$= 30277,6320 \text{ MPa}$$

$$I = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2$$

$$= 0,5 \times 2400 \times 0,3^2$$

$$= 108 \text{ m}$$

$$A_{p \text{ kelompok}} = 0,3 \times 2 \text{ m}^2 \quad A_{p \text{ tunggal}} = 0,3 \text{ m}^2$$

$$E A_{\text{kelompok}} = 30277632 \times 0,6 \quad E A_{\text{tunggal}} = 30277632 \times 0,3$$

$$= 18166,58 \text{ kN} / \text{m}^2 \quad = 9083289,6 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$EI = 30277,632 \times 108$$

$$= 3269984256 \text{ kN/m}^2$$

- Dst.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tahap-tahap pemodelan Plaxis v.8.6. dibawah ini.

12) Input Parameter pada Program Plaxis 8.6

Pemodelan tanah yang dipakai pada program plaxis 8.6 adalah

pemodelan Mohr Coulomb dengan analisis berupa axisymmetric, yaitu kondisi awal diasumsikan dapat mewakili sisi yang lain karena dianggap simetris. Parameter-parameter tanah yang dipakai dalam pemodelan Mohr coulomb yaitu sebagai berikut ini: Modulus Young, E (*stiffness modulus*), *Poisson's ratio* (ν), kohesi (c), sudut geser dalam tanah (ϕ), sudut dilantansi (Ψ) dan berat isi tanah (γ). Paramater terdapat pada Tabel 3.2

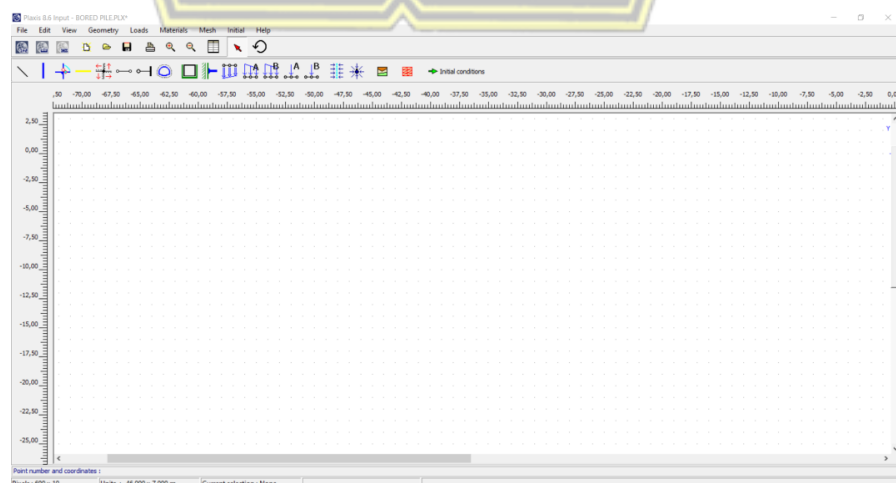
➤ **Penurunan Bored Pile program Plaxis 8.6**

Analisa perhitungan penurunan tiang *bore pile* dengan program plaxis 8.6 dilakukan dengan cara mengganti beban dengan model Prescribed Displacement, lalu mendefinisikan besarnya beban yang bekerja sebesar 10865,104 kN, yang merupakan beban rencana yang diijinkan.

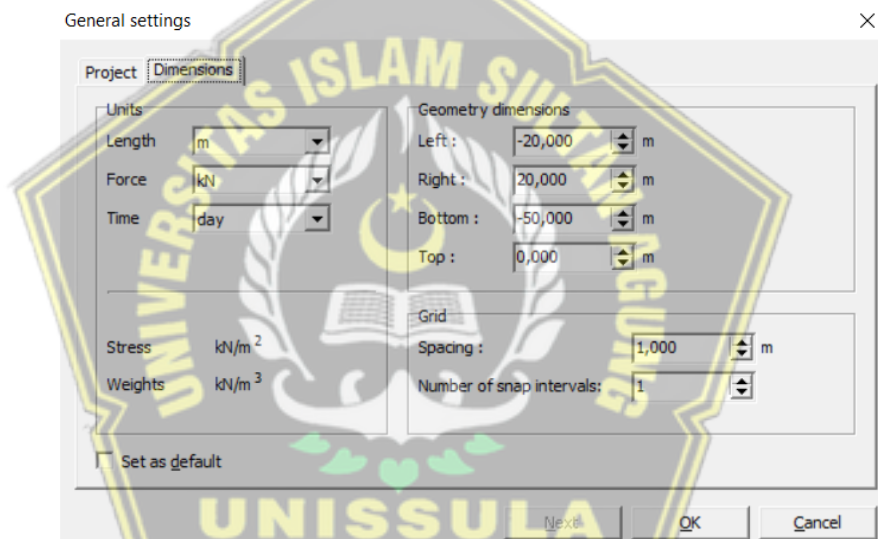
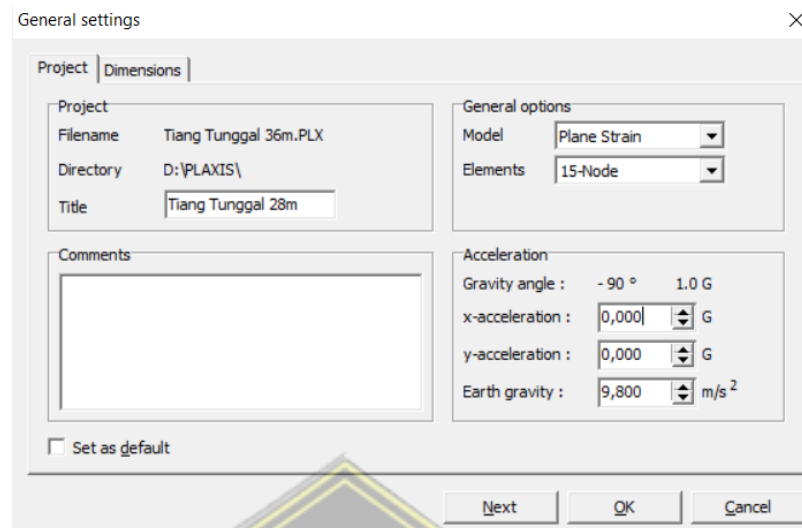
13) Analisis Penurunan Tanah Dengan Program Plaxis 8.6

Pemodelan menggunakan program software plaxis v8.6 untuk menghitung penurunan tanah dengan beban perencanaan perhitungan program SAP 2000 sebelumnya dengan hasil beban pada joint 41 (P1) sebesar 10865,104 kN, joint 61 (P2) sebesar 4966,547 kN dan joint 48 (P3) sebesar 1028,8 kN. Berikut langkah-langkah perhitungan penurunan fondasi kelompok tiang menggunakan software Plaxis v.8.6:

• **Perhitungan Tiang Tunggal Menggunakan Program Plaxis v.8.6.**



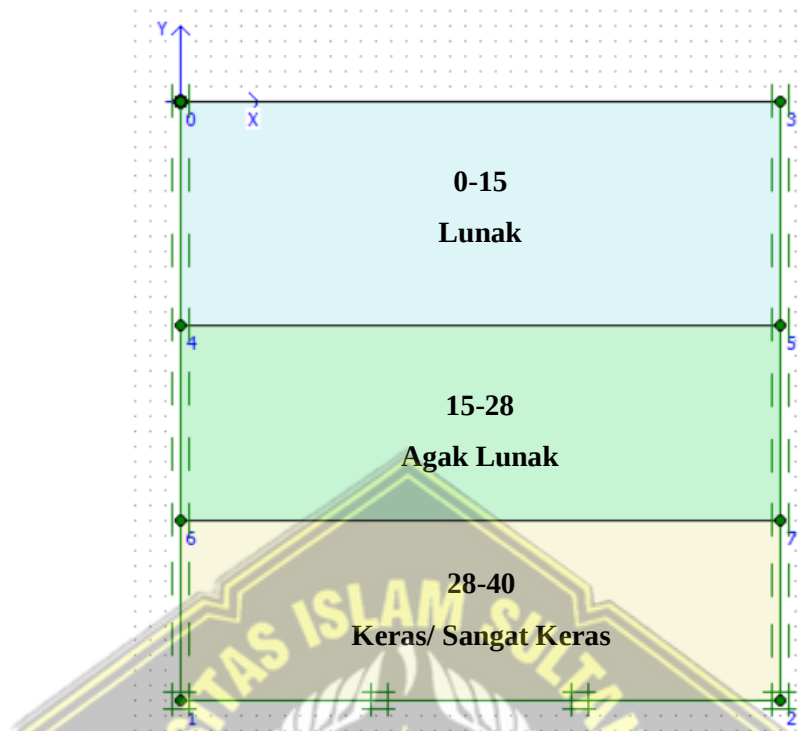
Gambar 4.4. Kotak Dialog Toolbar



Gambar 4.5. Kotak Dialog General Settings – Tab Dimensions

Setelah input material pada *General Setting* sudah dimasukkan akan muncul area gambar dengan koordinat sumbu X arah horizontal dan sumbu Y arah vertikal. Objek gambar dapat dipilih di tombol ikon pada *toolbar* atau dari menu *Geometry*.

Tahap selanjutnya klik  untuk mengatur kontur yang akan dibuat,



Gambar 4.6. Pemodelan Kontur Tanah

Klik  untuk menentukan material tanah,

Mohr-Coulomb - LUNAK

Gambar 4.7. General Mohr -Coulomb

Mohr-Coulomb - LUNAK

General Parameters Interfaces

Stiffness

E_{ref} : kN/m²

ν (nu) :

Strength

c_{ref} : kN/m²

ϕ (phi) : °

ψ (psi) : °

Alternatives

G_{ref} : kN/m²

E_{oed} : kN/m²

Velocities

V_s : m/s

V_p : m/s

Advanced...

SoilTest Next OK Cancel

Gambar 4.8. Parameters Mohr -Coulomb

Mohr-Coulomb - LUNAK

General Parameters Interfaces

Strength

☒ Rigid

☐ Manual

R_{inter} :

Real interface thickness

δ_{inter} :

SoilTest Next OK Cancel

Gambar 4.9. Interfaces Mohr -Coulomb

Setelah input data material tanah, tahap selanjutnya input data material fondasi sesuai dengan yang direncanakan,

Plate properties

Material set

Identification:

Material type:

Comments

Properties

EA : kN/m

EI : kNm²/m

d : m

w : kN/m/m

v :

M_p : kNm/m

N_p : kN/m

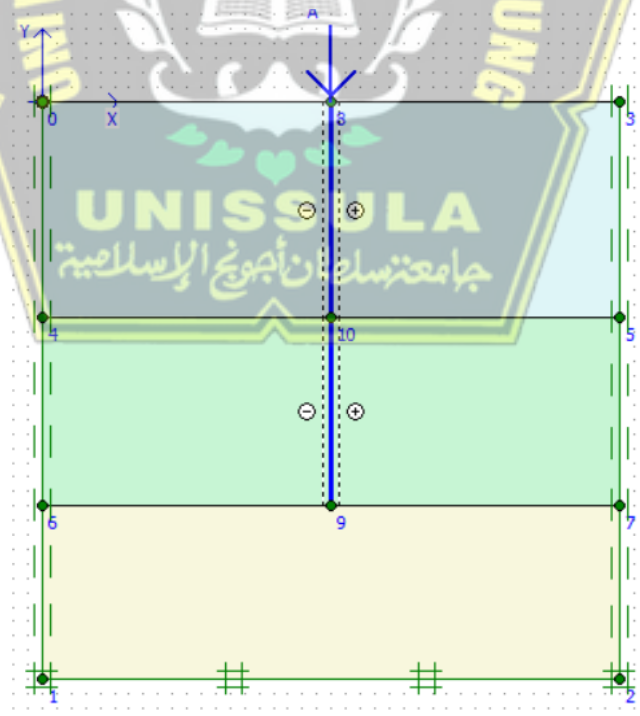
Rayleigh α :

Rayleigh β :

OK Cancel

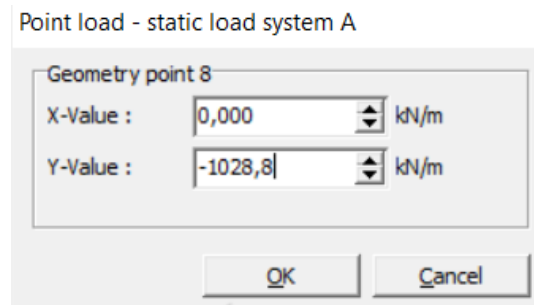
Gambar 4.10. Data Material Pondasi

Kemudian klik  untuk menentukan fondasi bored pile yang sudah ditentukan. Setelah itu klik  untuk mengaktifkan tekanan positif dan negatif didaerah sekeliling fondasi,



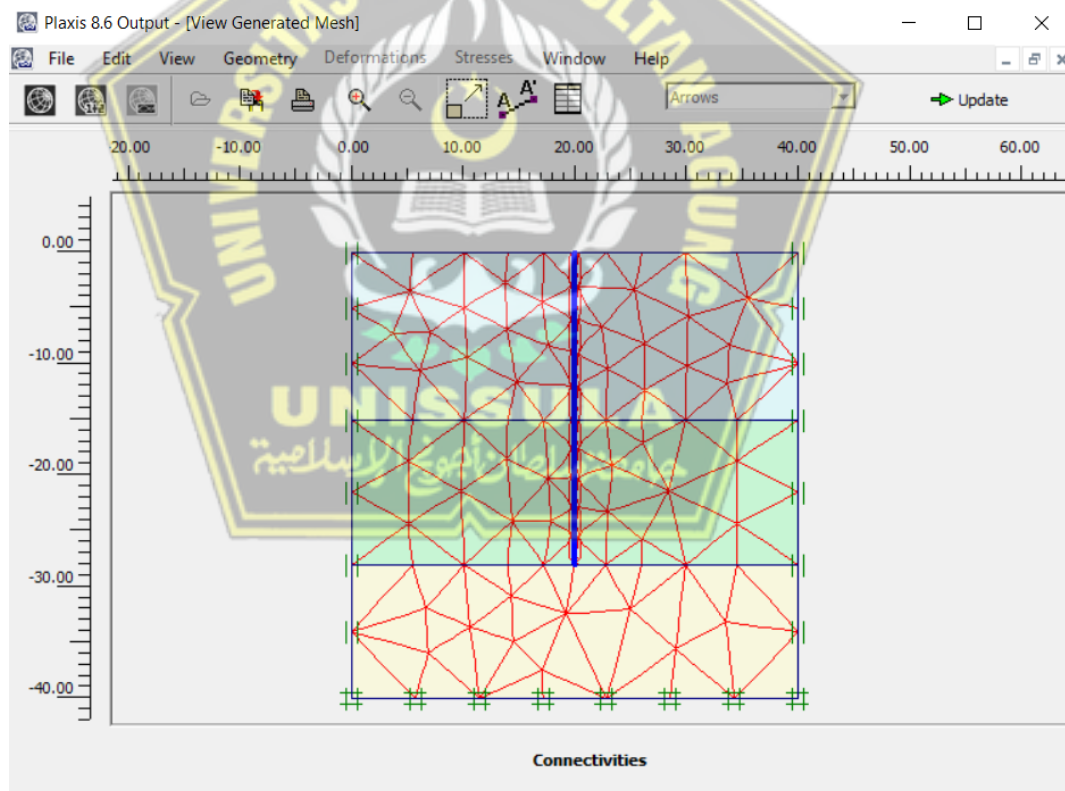
Gambar 4.11. Pemodelan

Lalu tekan  untuk mengisi beban dari beban bangunan, beban yang digunakan sebesar 1028,8 kN/m²,



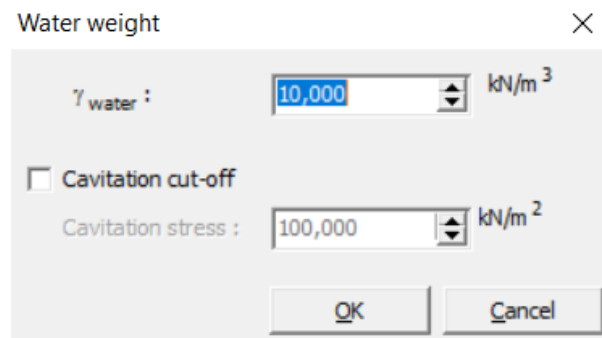
Gambar 4.12. Input Pembebanan

Klik  untuk mengetahui susunan jaringan antara elemen,

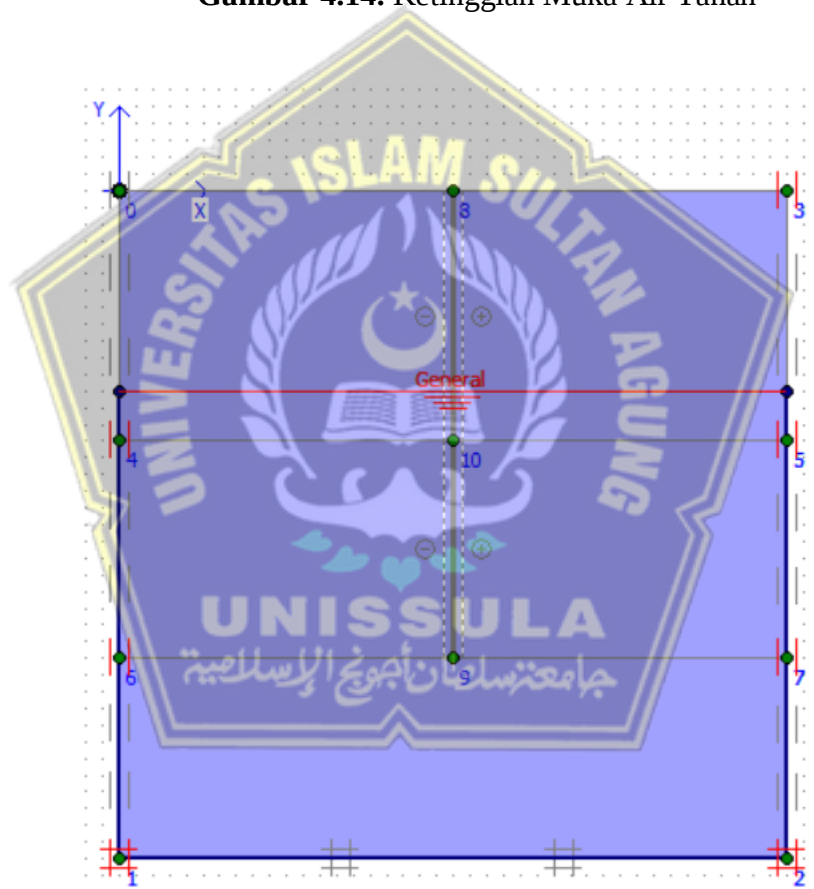


Gambar 4.13. Susunan Jaringan Elemen

Lalu klik  Initial conditions yang ada di toolbar, kemudian klik  untuk mengetahui berat isi air dan muka air tanah 8 meter di bawah tanah,

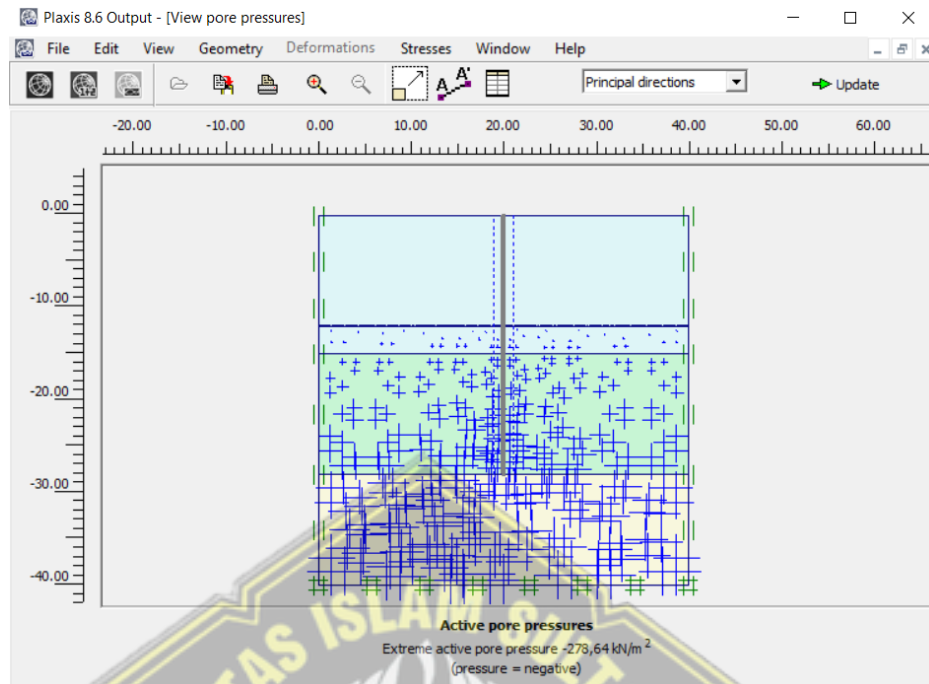


Gambar 4.14. Ketinggian Muka Air Tanah

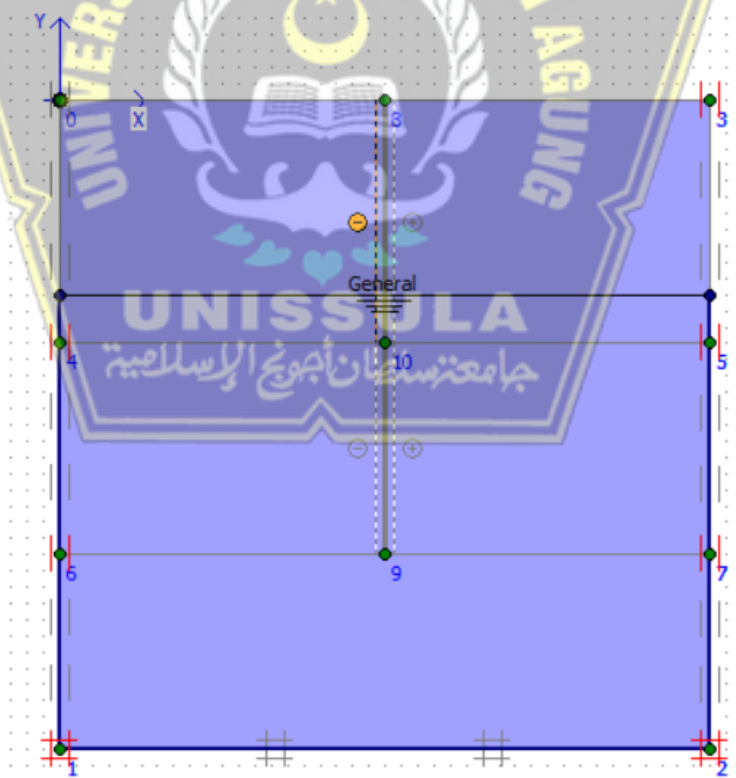


Gambar 4.15. Muka Tanah Air

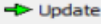
Kemudian klik  dan akan muncul hasil output soil stresses seperti gambar dibawah,



Gambar 4.16. Output Soil Stressess



Gambar 4.17. Tekanan Air Pori

Kemudian klik  lalu akan muncul prosedur – K0 sesuai .Klik tombol  untuk mengetahui hasil dari perhitungan pemodelan menggunakan software Plaxis v.8.6,

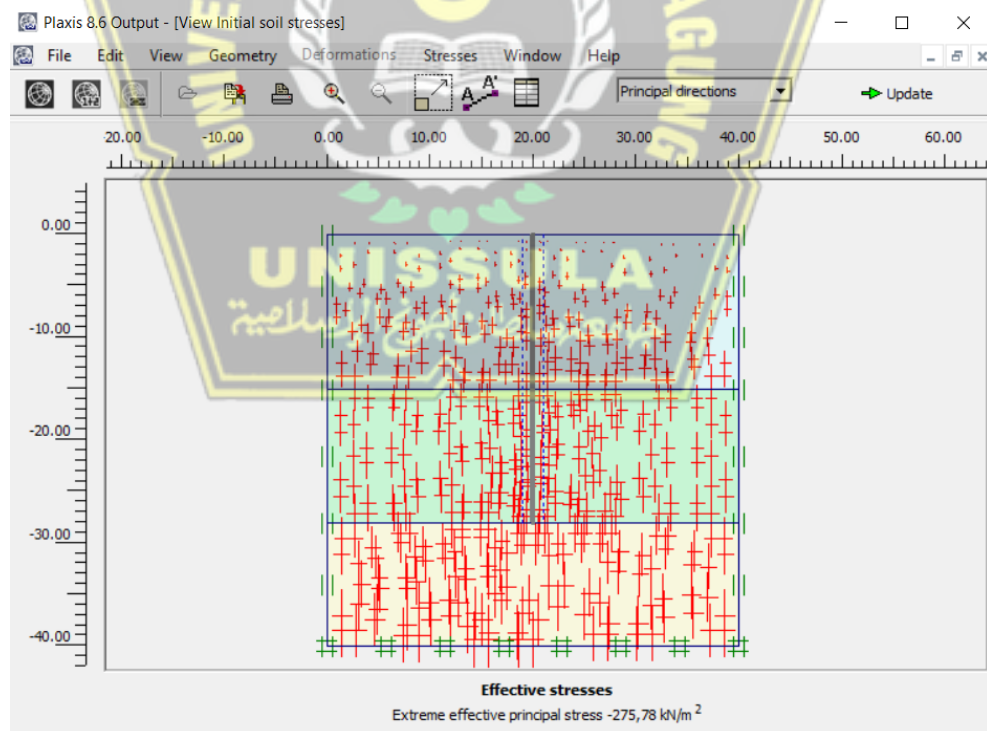
K0-procedure

ΣM-weight : 1,000

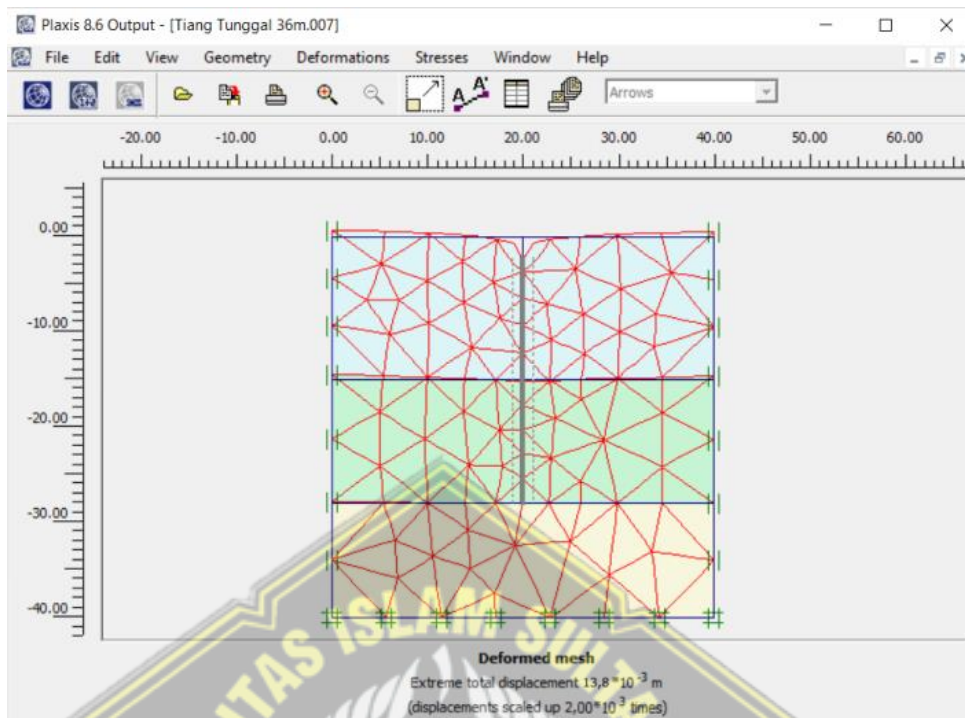
Cluster	Material	OCR	POP	K0
1	MC	N/A	N/A	0,388
2	MC	N/A	N/A	0,452
3	MC	N/A	N/A	0,542
4	MC	N/A	N/A	0,452
5	MC	N/A	N/A	0,542

OK Cancel

Gambar 4.18. Prosedur K0



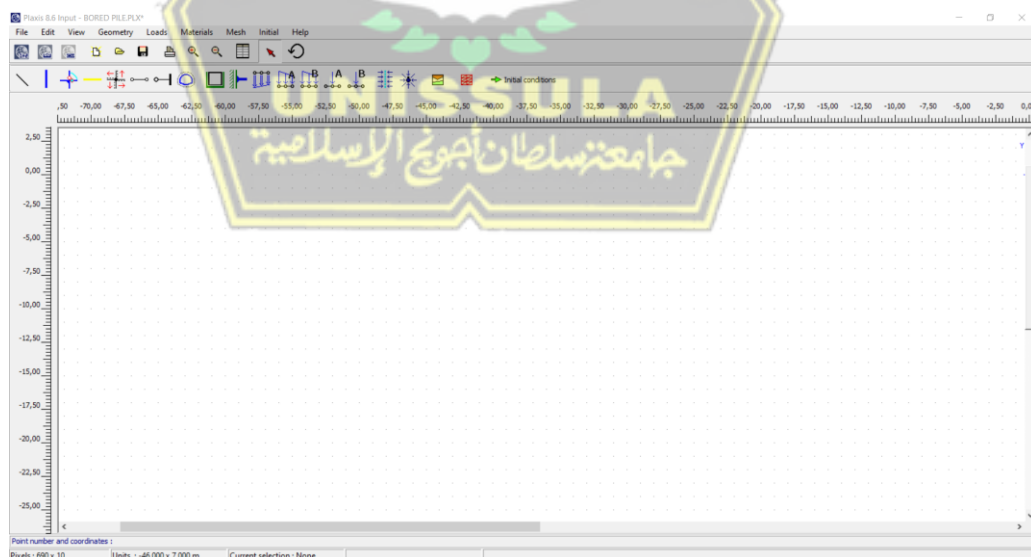
Gambar 4.19. Tekanan Efektif Tanah



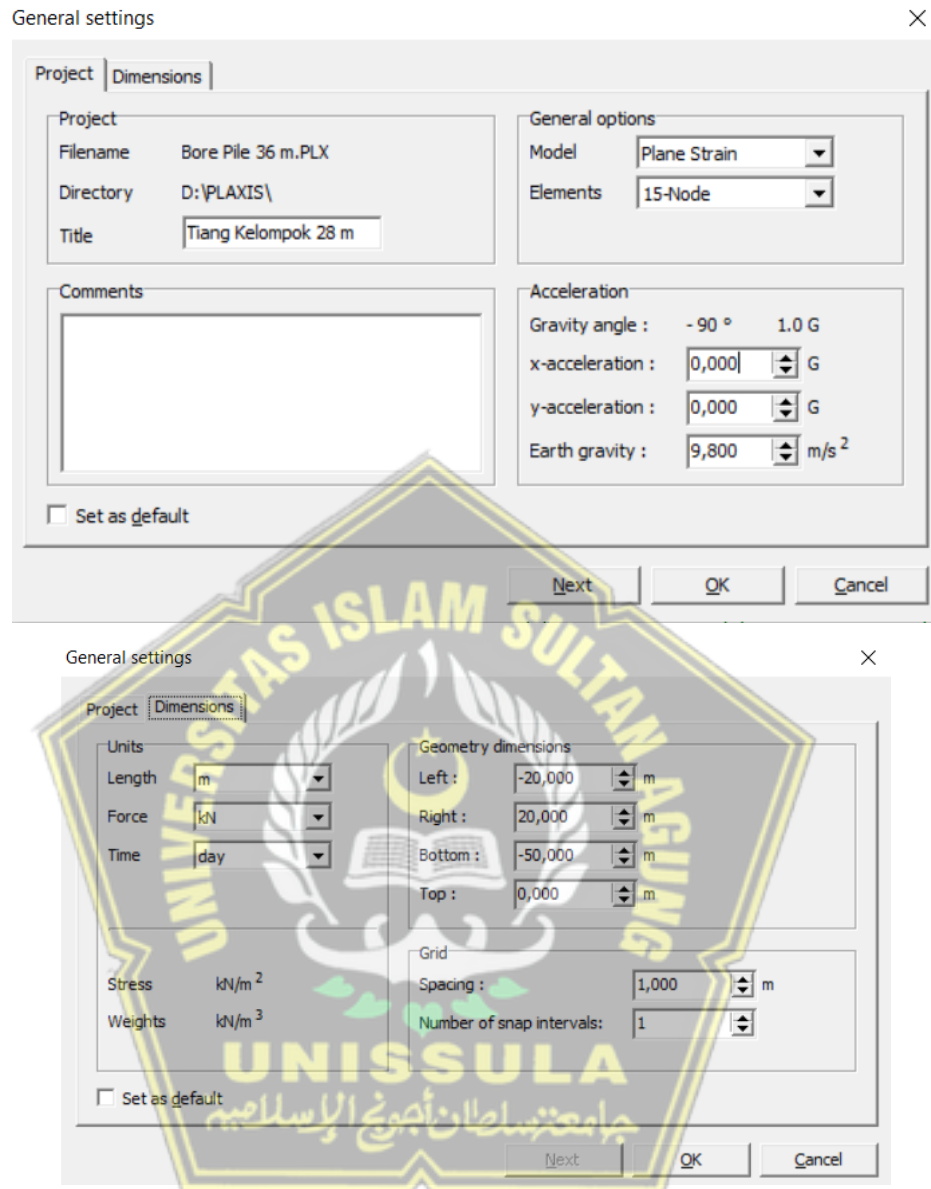
Gambar 4.20. Deformasi yang Terjadi

Hasil Penurunan dari pemodelan menggunakan software Plaxis v.8.6 menghasilkan penurunan sebesar 1,38 cm.

- **Perhitungan Tiang Kelompok Menggunakan Program Plaxis v.8.6.**



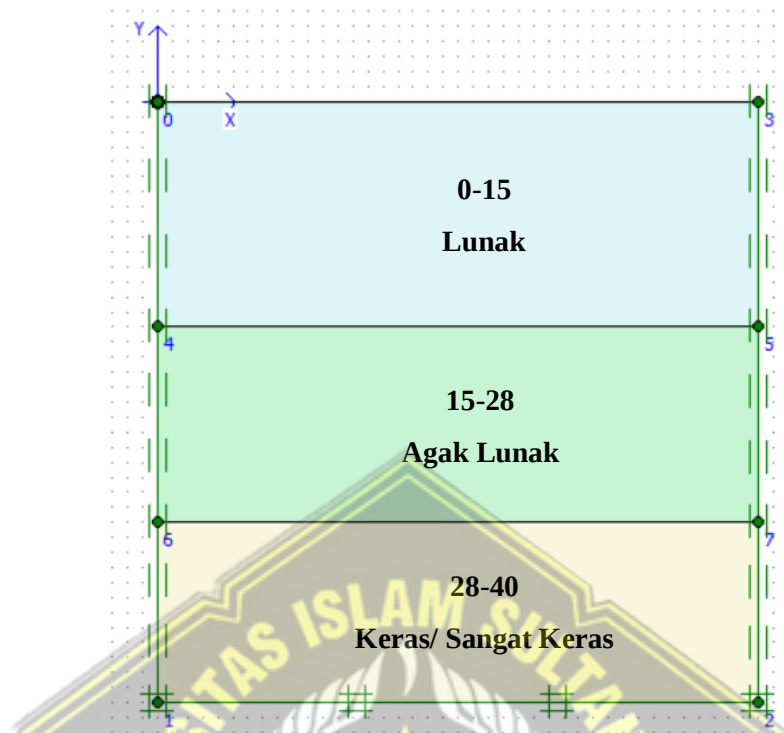
Gambar 4.21. Kotak Dialog Toolbar



Gambar 4.22. Kotak Dialog General Settings – Tab Dimensions

Setelah input material pada *General Setting* sudah dimasukkan akan muncul area gambar dengan koordinat sumbu X arah horizontal dan sumbu Y arah vertikal. Objek gambar dapat dipilih di tombol ikon pada *toolbar* atau dari menu *Geometry*.

Tahap selanjutnya klik  untuk mengatur kontur yang akan dibuat,



Gambar 4.23. Pemodelan Kontur Tanah

Klik  untuk menentukan material tanah,

Mohr-Coulomb - LUNAK

General | Parameters | Interfaces

Material set

Identification: LUNAK

Material model: Mohr-Coulomb

Material type: UnDrained

General properties

γ_{unsat} : 9,345 kN/m³

γ_{sat} : 13,845 kN/m³

Comments

Permeability

k_x : 6,740E-07 m/day

k_y : 6,740E-07 m/day

Advanced...

SoilTest

Next OK Cancel

Gambar 4.24. General Mohr -Coulomb

Mohr-Coulomb - LUNAK

General	Parameters	Interfaces
Stiffness E_{ref} : 2,000E+04 kN/m ² ν (nu) : 0,300		
Strength c_{ref} : 11,757 kN/m ² ϕ (phi) : 27,270 ° ψ (psi) : 0,000 °		
Alternatives G_{ref} : 7692,308 kN/m ² E_{oed} : 2,692E+04 kN/m ²		
Velocities V_s : 89,820 m/s V_p : 168,000 m/s		
Advanced...		

Gambar 4.25. Parameters Mohr -Coulomb

Mohr-Coulomb - LUNAK

General	Parameters	Interfaces
Strength ☒ Rigid ☐ Manual		
R_{inter} : 1,000		
Real interface thickness δ_{inter} : 0,000		

Gambar 4.26. Interfaces Mohr -Coulomb

Setelah input data material tanah, tahap selanjutnya input data material fondasi sesuai dengan yang direncanakan,

Plate properties

Material set

Identification:

Material type:

Comments

Properties

EA : kN/m

EI : kNm²/m

d : m

w : kN/m/m

v :

M_p : kNm/m

N_p : kN/m

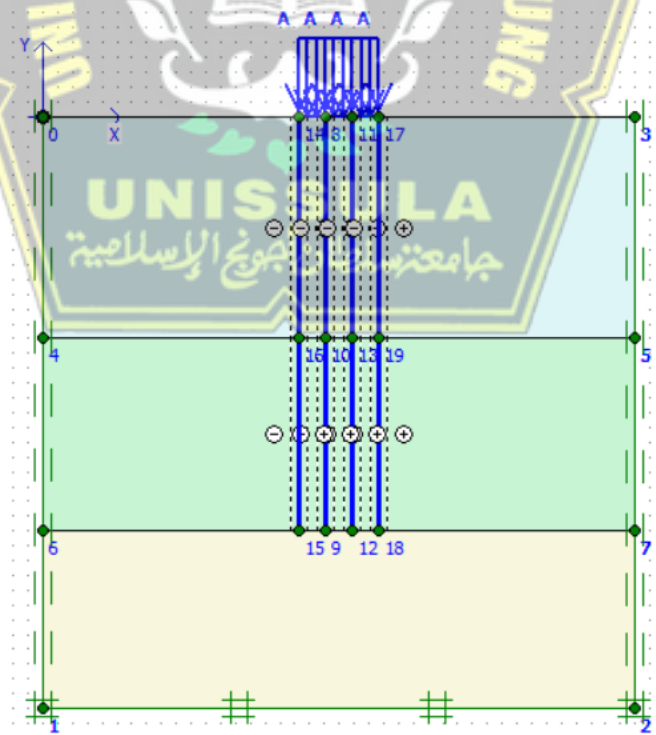
Rayleigh α :

Rayleigh β :

OK Cancel

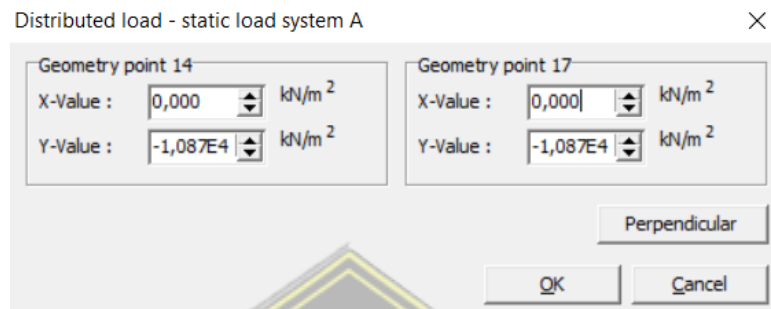
Gambar 4.27. Data Material Pondasi

Kemudian klik  untuk menentukan fondasi bored pile yang sudah ditentukan. Setelah itu klik  untuk mengaktifkan tekanan positif dan negatif didaerah sekeliling fondasi,



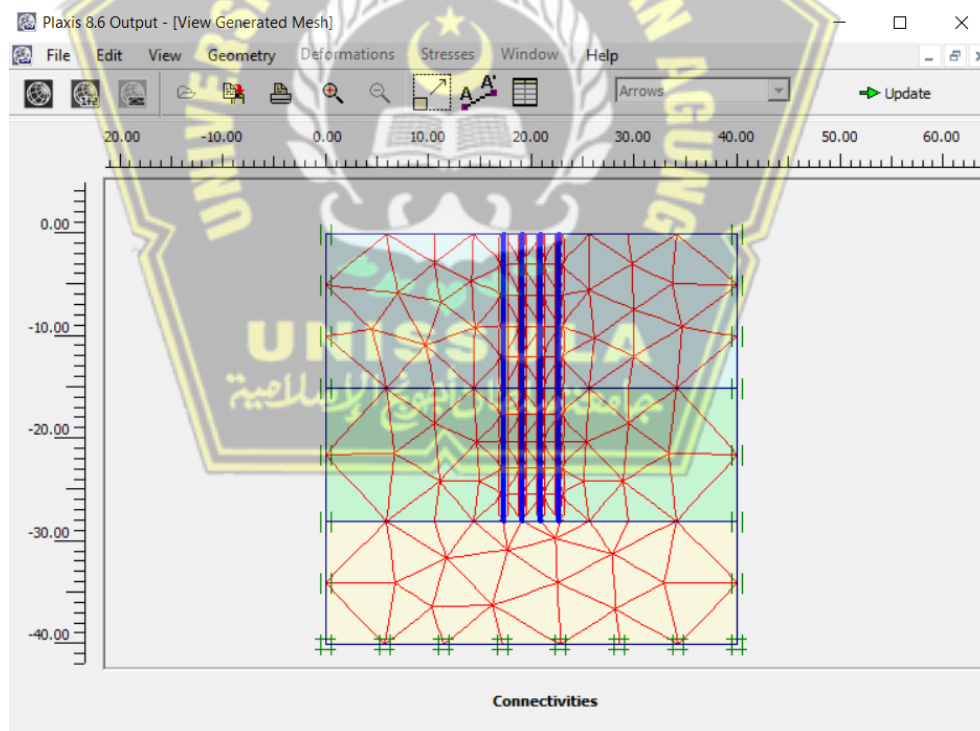
Gambar 4.28. Pemodelan

Lalu tekan  untuk mengisi beban dari beban bangunan, beban yang di gunakan sebesar 10865,104 kN/m²,



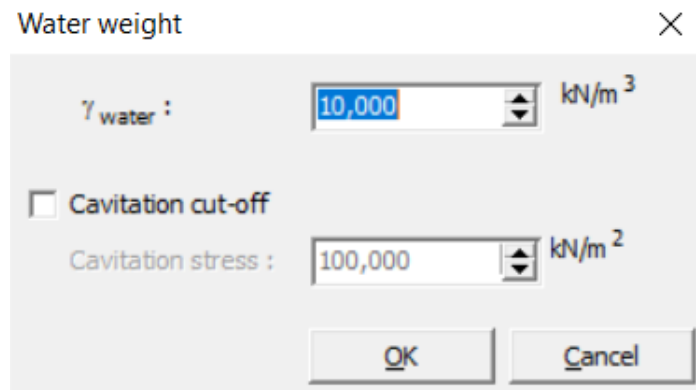
Gambar 4.29. Input Pembebanan

Klik  untuk mengetahui susunan jaringan antara elemen,

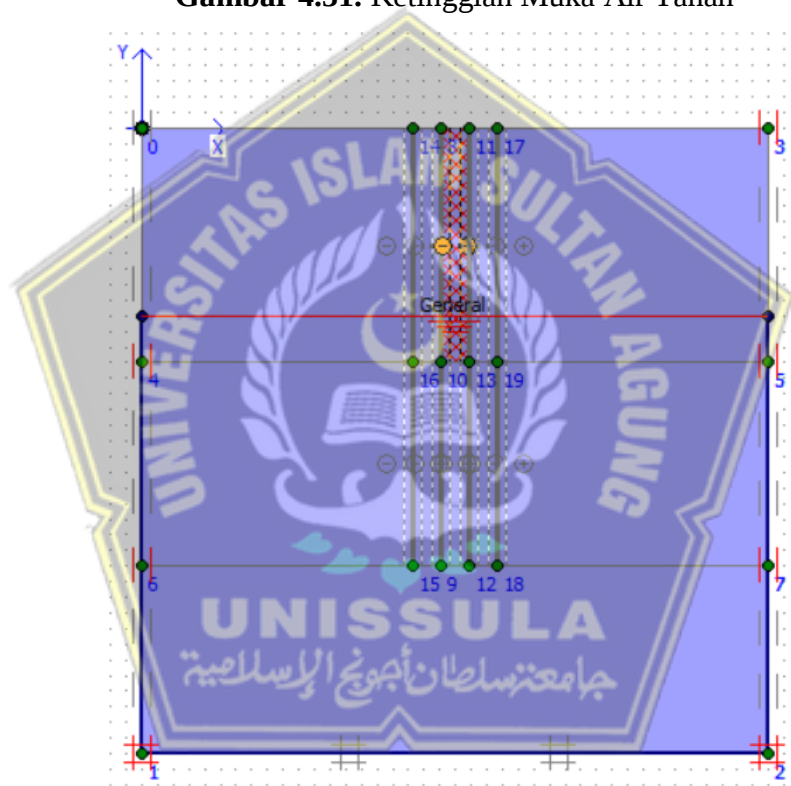


Gambar 4.30. Susunan Jaringan Elemen

Lalu klik  Initial conditions yang ada di toolbar, kemudian klik  untuk mengetahui berat isi air dan muka air tanah 8 meter di bawah tanah,

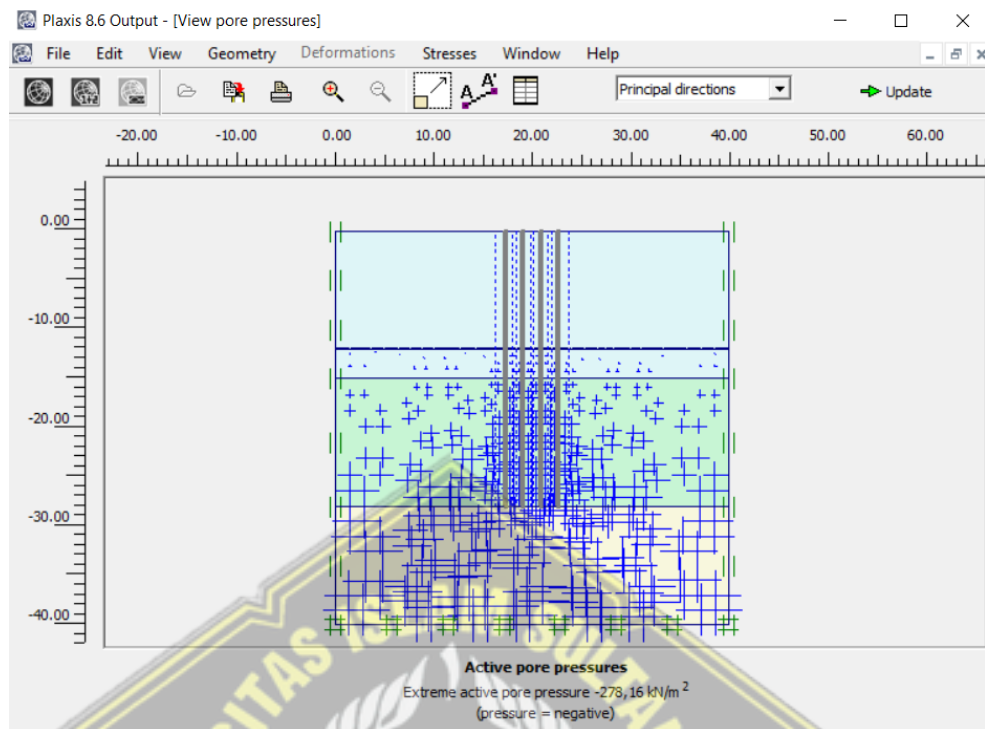


Gambar 4.31. Ketinggian Muka Air Tanah

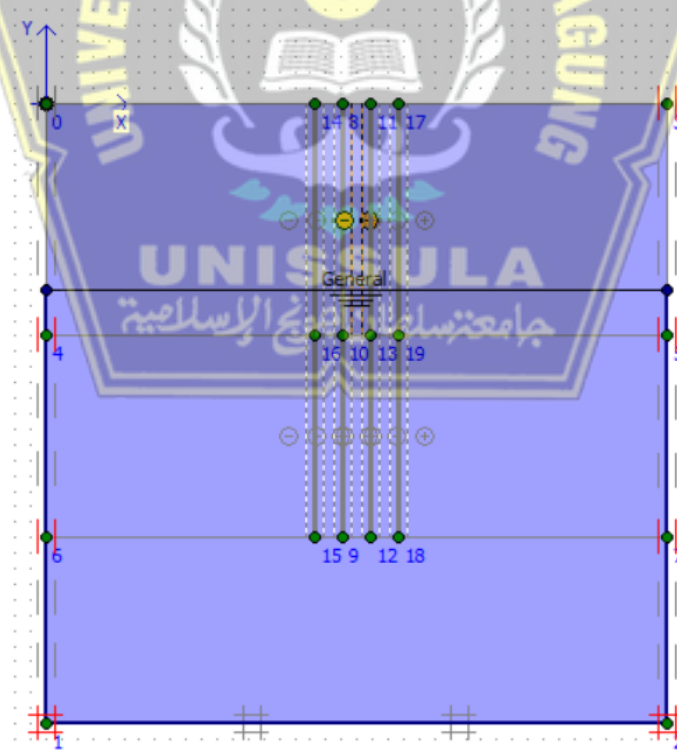


Gambar 4.32. Muka Tanah Air

Kemudian klik  dan akan muncul hasil output soil stresses seperti gambar dibawah,

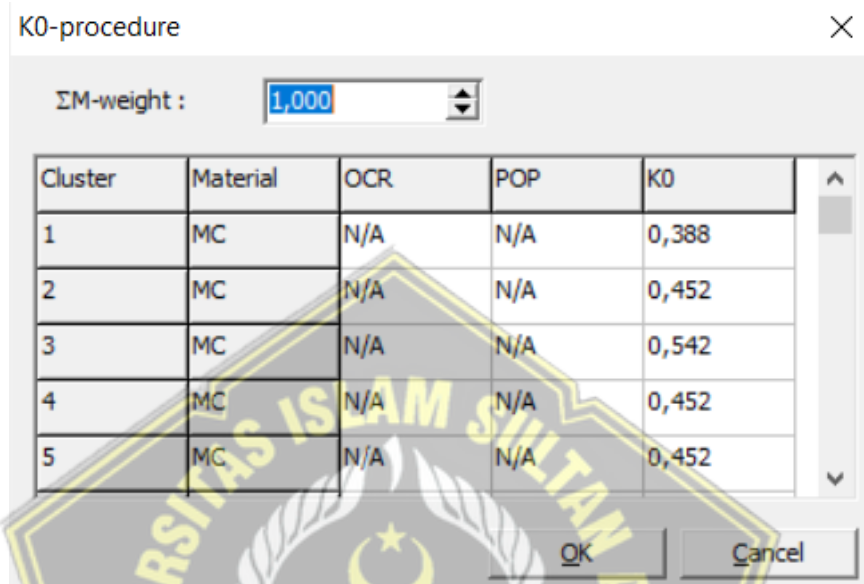


Gambar 4.33. Output Soil Stressess

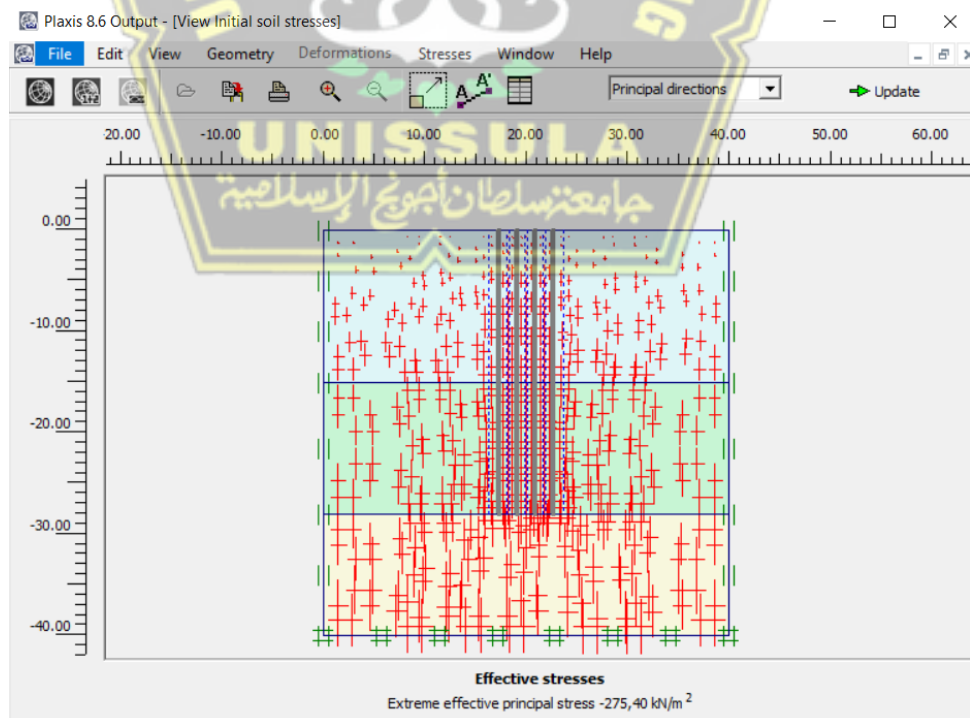


Gambar 4.34. Tekanan Air Pori

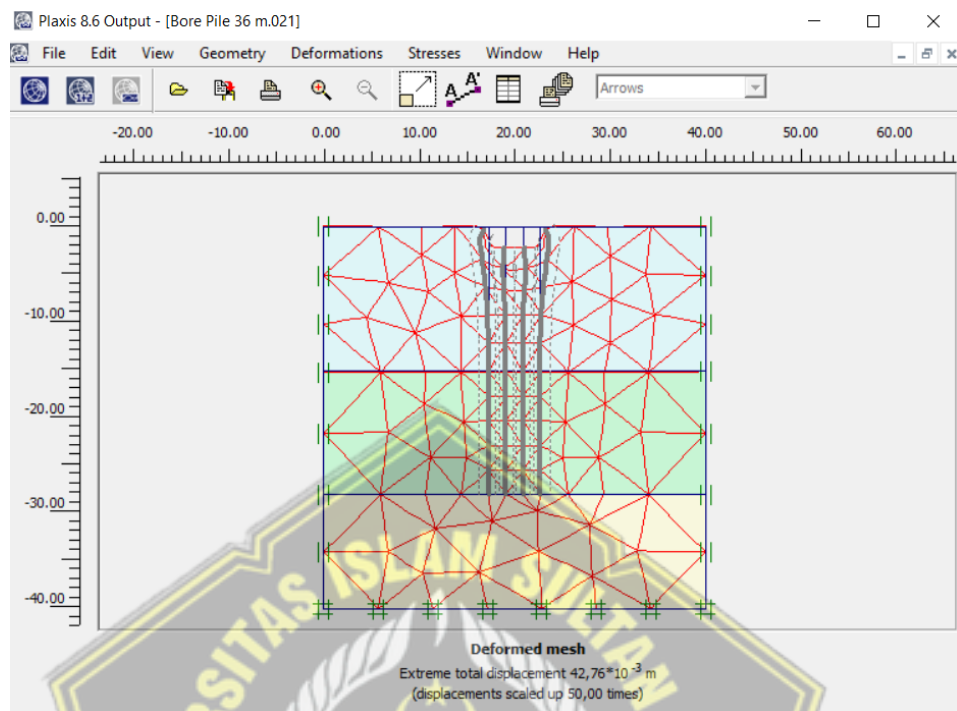
Kemudian klik  lalu akan muncul prosedur – K0 sesuai .Klik tombol  untuk mengetahui hasil dari perhitungan pemodelan menggunakan software Plaxis v.8.6,



Gambar 4.35. Prosedur K0



Gambar 4.36. Tekanan Efektif Tanah



Gambar 4.37. Deformasi yang Terjadi

Hasil penurunan dari pemodelan menggunakan software Plaxis v.8.6 menghasilkan penurunan sebesar 4,276 cm.

4.3. Hasil Daya Dukung dan Penurunan

Hasil dari perhitungan daya dukung dan penurunan menggunakan metode mayerhof dan reese & wright serta perhitungan manual dan perhitungan program plaxis 8.6 didapatkan besaran daya dukung dan penurunan primer dengan hasil sebagai berikut :

Tabel 4.11. Resume daya dukung berdasarkan metode mayerhof dan reese & wright

Metode	Qall (kN)
Mayerhof (Tunggal)	2178,24
Reese & Wright (Tunggal)	2313,6
Converse Labarre (Group)	12964,8

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Tabel 4.12. Perhitungan Penurunan Primer

Hasil Perbandingan			
No.	Perhitungan	Hasil Penurunan	
		Tiang Tunggal	Tiang Kelompok
1.	Manual	1,3 cm	3,35 cm
2.	Program Plaxis v.8.6	1,38 cm	4,276 cm

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Mengenai hasil analisa perhitungan manual dan program plaxis v.8.6. dari masing-masing titik pengujian tanah didapatkan besar penurunan yang terjadi yang hasil selisihnya tidak terlalu jauh antara perhitungan manual dengan perhitungan program plaxis v.8.6. seperti Tabel 4.12. diatas, dan dapat disimpulkan hasil analisa penurunan tanah yang terjadi di lokasi Universitas Atma Jaya Yogyakarta sesuai dengan Penurunan yang diizinkan adalah $S_{izin} = 10 \% \times D$, $10\% \times 0,6 = 6 \text{ cm}$. Maka penurunan total tiang tunggal **AMAN**, karena $1,3 \text{ cm} < 6 \text{ cm}$ pada perhitungan manual dan $1,38 < 0,06 \text{ m}$ pada perhitungan program Plaxis v.8.6, sedangkan penurunan total tiang kelompok **AMAN**, karena $3,35 \text{ cm} < 6 \text{ cm}$ pada perhitungan manual dan $4,276 \text{ cm} < 6 \text{ cm}$ pada perhitungan program Plaxis v.8.6

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

1. Mengikuti pemodelan SAP 2000 diketahui besar pembebanan yang akan diterima pada setiap pondasi beban maksimum yaitu sebesar 10865,104 kN.
2. Hasil perhitungan daya dukung pondasi *Bore pile* pada tiang kelompok dengan menggunakan metode Mayerhof, Reese & Wright dan Converse Labarre di dapat hasil untuk Mayerhof Q All 2178,24 kN, Reese & Wright di dapat Q All 2313,6 kN dan untuk Converse Labarre 12964,8 kN .
3. Berdasarkan analisis perhitungan manual penurunan pondasi *Bored Pile* diameter 60 cm, untuk penghitungan manual untuk tiang tunggal di dapat hasil 1,3 cm dan untuk tiang kelompok di dapat 3,35 cm.
4. Berdasarkan analisis perhitungan plaxis v.8.6 penurunan pondasi *Bored Pile* diameter 60 cm, untuk plaxis v.8.6 untuk tiang tunggal nya di dapat 1,38 cm dan untuk tiang kelompok di dapat 4,267 cm.
5. Mengenai hasil analisis perhitungan manual dan program plaxis v.8.6. dari masing-masing titik pengujian tanah didapatkan besar penurunan yang terjadi yang hasil selisihnya tidak terlalu jauh antara perhitungan manual dengan perhitungan program plaxis v.8.6. dan dapat disimpulkan hasil analisa penurunan tanah yang terjadi dilokasi Universitas Atma Jaya Yogyakarta sesuai dengan Penurunan yang diizinkan adalah $S_{izin} = 10 \% \times D$, $10\% \times 0,6 = 6$ cm. Maka penurunan total tiang tunggal **AMAN**, karena $1,3 \text{ cm} < 6 \text{ cm}$ pada perhitungan manual dan $1,38 < 6 \text{ cm}$ pada perhitungan program Plaxis v.8.6, sedangkan penurunan total tiang kelompok **AMAN**, karena $3,35 \text{ cm} < 6 \text{ cm}$ pada perhitungan manual dan $4,276 \text{ cm} < 6 \text{ cm}$ pada perhitungan program Plaxis v.8.6.

5.2. Saran

1. Dalam perhitungan analisa fondasi ini ada banyak evaluasi terutama keterbatasan tentang data yang penulis dapatkan, maka dari itu perhitungan daya dukung ini butuh perhitungan ulang(perhitungan disebutkan). (kelemahan ditambahkan)
2. Perhitungan daya dukung dan perhitungan penurunan dari segi manual dan program sebuah prediksi yang perlu sekali disesuaikan dengan kondisi yang sudah ada.
3. Perhitungan menggunakan program aplikasi adalah perbandingan antara perhitungan manual. Oleh karena itu hasil perhitungan dalam laporan ini terdapat perbandingan antara perhitungan manual dengan perhitungan menggunakan program.
4. Analisis ini membutuhkan pengalaman dan keterampilan untuk memperoleh hasil yang sesuai dan baik.

Dalam perhitungan Analisa fondasi ini ada banyak evaluasi terutama pada data gambar, maka dari itu untuk menghitung daya dukung membutuhkan penghitungan ulang dan membuat gambar sesuai SNI

DAFTAR PUSTAKA

- Bear, J. 1972. Dynamics of Fluids in Porous Media. Dover Publications. ISBN 0-486-65675-6
- Biot, M. A. 1941. General Theory of Three-Dimensional Consolidation. Journal of Applied Physics v. 12. p 155-164
- Bjerrum, L., dan Simons, N. E., 1960. Comparison of Shear Strength Characteristic of Normally Consolidated Clay. Research Conference on Shear Strength of Cohesive Soils.
- Bowles, J.E., 1968, Foundation analysis and design, fifth edition McGraw –Hill, Singapore,
- Bowles, J. E. (1986). Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah. PT. Erlangga, Jakarta.
- Bowles, J.E. (1992). “Analisa dan Desain Pondasi Jilid I”, Erlangga, Jakarta.
- Bowles, J.E. (1992). “Analisa dan Desain Pondasi Jilid II”, Erlangga, Jakarta.
- Bowles, J. E. (1996). Foundation Analysis and Design, McGraw-Hill, New York.
- Das Braja M., 1988. Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1, Erlangga, Jakarta.
- Das, B. M. 1993. Mekanika Tanah, Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis, Jilid 1, Erlangga : Jakarta.
- Das, Braja, M., 1998, Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid-1, Erlangga, Jakarta.
- Departemen pemukiman dan prasarana wilayah Nomor: 332/KPTS/M/2002 tanggal 21 Agustus 2002
- Frangki, Yulvi, Suroso (2016) Pengaruh variasi jarak dan Panjang deep soil mixing (DSM) 10% kapur diameter 4 cm berpola single square terhadap daya dukung tanah ekspansif di bojonegoro.
- Grim, R.E (1953), Clay Mineralogi, McGraw Hill, New York.
- Hardiyatmo, Hary Christady. (1992). "Mekanika tanah I / Hary Christady Hardiyatmo" Holtz,
- Hardiyatmo, H.C. (2002). “Mekanika Tanah I”, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C. (2003). “Mekanika Tanah II”, Gadjah Mada University Press,

Yogyakarta.

John Wiley and Sons, 2000, Volume 14, Number 1, 1 February 2000

Manual Plaxis dua dimensi v 8.6, 2005, Reference Manual.

Mayerhof, G.G.,1956. Penetration Tests and Bearing Capacity of Cohesionless Soils. JSMFD, ASCE, Vol.82, SM 1, pp. 1-19

Meyerhof G.G. (1965), Shallow Foundation, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE.

MEYERHOF, G. G. (1976). "Bearing Capacity and Settlement of Pile Foundations," Journal of the Geotechnical Engineering Division, American Society of Civil Engineers, Vol. 102, No. GT3, pp. 197–228.

Muhamad Nahrowi (2014) menghitung daya dukung tiang pancang.

SNI-1726-2012. (Tata Cara Pembebanan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung)

SNI-1727-2013. (Beban Minimum Untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur Lain)

SNI 4153 : 2008 Tentang Cara Uji Penetrasi Lapangan dengan SPT

Sardjono, HS.(1991). "Pondasi Tiang Pancang Jilid I Cetakan ke II", Sinar Wijaya, Surabaya.

Terzaghi, K., 1925, Principles of Soil Mechanics. Engineering News-Record, v.95

Terzaghi, K. and Peck, R. B., 1967, Soil Mechanics in Engineering Practice, New York: John Wiley & Sons, Inc.

Terzaghi, K. and Peck, R.B., 1948. Soil Mechanics in Engineering Practice, Wiley, New York.

Toha, F.X. (1989) *Large scale plate load test to assess settlements, Proceedings of the International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Vol.1, pp.353-358. (International)

Verhoef, PNW. 1994. Geologi Untuk Teknik Sipil. Erlangga. Jakarta.

VESIC, A. S. (1977). Design of Pile Foundations, National Cooperative Highway Research Program Synthesis of Practice No. 42, Transportation Research Board, Washington, DC.