

TUGAS AKHIR
STUDI KASUS PERBAIKAN TANAH LUNAK
PADA PROYEK TOL SEMARANG-DEMAK
(STA 20+300 – STA 20+500)

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Dalam Menyelesaikan
Pendidikan Program Sarjana (S1) Program Studi Teknik Sipil Fakultas
Teknik

Universitas Islam Sultan Agung



Disusun Oleh :

NABILA ZARKASIH A

30202000273

SIMMA AYU DEWAYANI

30202000285

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG

2022



**YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)**

Jl. Raya Kaligawe Km.4 Semarang 50112 PO.BOX 1054/SM
Telp. (024)6583584 Fax. (024)6582455 <http://www.unissula.ac.id>

HALAMAN PENGESAHAN

**STUDI KASUS PERBAIKAN TANAH LUNAK PADA PROYEK TOL
SEMARANG – DEMAK (STA 20+300 – 20+500)**

Oleh :



Nabila Zarkasih A

NIM : 30.2020.00.273

Simma Ayu Dewayani

NIM : 30.2020.00.285

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, 10 Januari 2022

Tim Penguji

Tanda Tangan

1. Prof. Ir. H. Pratikso, MST., Ph.D.
2. Lisa Fitriyana, S.T., M.Eng.
3. Dr. Abdul Rochim, ST., MT.

Mengetahui

Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas
Teknik Universitas Islam Sultan Agung
Semarang

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng



**YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)**

Jl. Raya Kaligawe Km.4 Semarang 50112 PO.BOX 1054/SM
Telp. (024)6583584 Fax. (024)6582455 <http://www.unissula.ac.id>

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No: 05 / A.2 / SA - T / I / 2022

Pada hari ini tanggal 23 September 2021 berdasarkan surat keputusan rektor Universitas Islam Sultan Agung (UNISSULA) Semarang perihal penunjukan dosen pembimbing dan asisten dosen pembimbing :

1. Nama : Prof. Ir. H. Pratikso, MST., Ph.D.
Jabatan Akademik : Guru Besar
2. Nama : Lisa Fitriyana, S.T., M.Eng.
Jabatan Akademik : Lektor

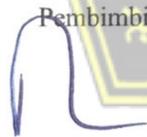
Dengan ini menyatakan bahwa mahasiswa yang tersebut di bawah ini telah menyelesaikan bimbingan Tugas Akhir / Skripsi :

Nama : Nabila Zarkasih Anggrahini Nama : Simma Ayu Dewayani
NIM : 30.2020.00.273 NIM : 30.2020.00.285
Judul : ANALISIS KONSOLIDASI TANAH DENGAN MENGGUNAKAN
VACUUM CONSOLIDATION METHOD

Dengan tahapan sebagai berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	23 September 2021	
2	Proposal	September	ACC
3	Pengumpulan data	Oktober 2021	
4	Analisis data	Oktober 2021	
5	Penyusunan laporan	Oktober – Desember 2021	
6	Selesai laporan	Januari 2022	ACC

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

Pembimbing I

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

Pembimbing II

(Lisa Fitriyana, ST., M.Eng.)

Mengetahui
Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas
Teknik Universitas Islam Sultan Agung
Semarang


(Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng)

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Nabila Zarkasih Anggrahini (30202000273)

Simma Ayu Dewayani (30202000285)

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul : **“STUDI KASUS PERBAIKAN TANAH LUNAK PADA PROYEK TOL SEMARANG – DEMAK (STA 20+300 – 20+500)”**

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, Januari 2022

Yang membuat pernyataan,

Yang membuat pernyataan,



Nabila Zarkasih Anggrahini

Simma Ayu Dewayani



PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda – tangan dibawah ini :

NAMA : Nabila Zarkasih Anggrahini (30202000273)

Simma Ayu Dewayani (30202000285)

JUDUL SKRIPSI : STUDI KASUS PERBAIKAN TANAH LUNAK PADA
PROYEK TOL SEMARANG – DEMAK (STA 20+300 – 20+500)

Saya menyatakan dengan sungguh-sungguh bahwa Tugas Akhir ini adalah hasil penelitian, ide, dan pemaparan asli saya sendiri. Saya tidak mencantumkan materi yang sudah pernah diterbitkan atau ditulis oleh orang lain, atau materi yang telah diajukan ke Universitas Islam Sultan Agung Semarang atau universitas lain untuk gelar atau diploma.

Apabila dikemudian hari terdapat pelanggaran dan kepalsuan dalam pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Demikian pernyataan ini saya buat.

Semarang, Januari 2022

Yang membuat pernyataan ,

Yang membuat pernyataan ,



Nabila Zarkasih Anggrahini



Simma Ayu Dewayani

MOTTO

“Wahai manusia, kami akan menguji kalian dengan kesempitan dan kenikmatan, untuk menguji iman kalian. Dan hanya kepada Kami kalian akan kembali”

(Qs. Al-Anbiya: 35)

“Dan janganlah kamu campuradukkan kebenaran dengan kebatilan dan (janganlah) kamu sembunyikan kebenaran, sedangkan kamu mengetahuinya”

(Qs. Al-Baqarah: 42)

“Jika kamu melakukan baik (berarti) kamu berbuat baik untuk dirimu sendiri”

(Qs. Al-Isra': 7)

“Dan tolong menolonglah kamu dalam (mengerjakan) kebajikan dan takwa dan jangan tolong-menolong dalam berbuat dosa dan pelanggaran, dan bertakwalah kamu kepada Allah, sesungguhnya siksa Allah sangatlah berat ”

(Qs. Al-Maidah: 2)

“Ya Allah, aku berlindung kepada-Mu dari kelemahan, rasa malas, rasa takut, kejelekan di waktu tua, sifat kikir. Dan aku juga berlindung kepada-Mu dari siksa kubur serta bencana kehidupan dan kematian”

(HR. Bukhari no.6367 dan Muslim no.2706).

“Dan hanya kepada Tuhanmulah engkau berharap”

(Qs. Al-Insyirah: 8)

PERSEMBAHAN

Segala puji bagi Allah SWT, pemilik ruh dan Tuhan semesta alam.

Sholawat serta salam selalu tercurah kepada Nabi Muhammad SAW.

Tugas Akhir ini saya persembahkan kepada :

1. Kedua orang tua saya, Bapak saya Sutikno dan Ibu saya Luluk Sulistiana, atas semua dukungan moral maupun material, kasih sayang, kesabaran dan do'a.
2. Saudara dan keluarga besar saya yang telah memberikan dukungan dan doa sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.
3. Semua dosen Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil UNISSULA, terimakasih atas semua ilmunya yang sangat bermanfaat.
4. Partner laporan tugas akhir Simma Ayu Dewayani. Terimakasih atas waktu dan semangatnya sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Bapak Edy, Mas Verdy, dan semua teman-teman karyawan Virama Karya yang telah membantu dan memberikan data yang dibutuhkan untuk menyelesaikan tugas akhir.
6. Untuk teman saya Haris, Nazali, Romi, Bella, Sundari, Nevy, Elisya, Muti, Sita, Farchah, Shella, Hanum, Galuh, Edo, Alfar, Yuan, Javier, Safitri, Yesi, dkk yang tidak bisa disebutkan satu persatu terimakasih atas doa, semangat dan bantuan yang telah diberikan.
7. Semua teman-teman kelas transfer Fakultas Teknik Sipil UNISSULA angkatan 2020, terimakasih atas semua bantuan, perhatian dan semangatnya.

Nabila Zarkasih Anggrahini

NIM : 30202000273

PERSEMBAHAN

Puji syukur kehadiran Allah SWT, Tuhan pemilik jiwa dan Semesta alam.

Sholawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW.

Tugas Akhir ini saya persembahkan kepada :

1. Kedua orang tua Saya, Bapak Tomy Hidayat dan Ibu Saya Sulianti atas semua dukungan moral maupun material, kasih sayang, kesabaran dan do'a yang tidak ada habisnya.
2. Saudara kandung dan keluarga besar saya yang telah memberikan dukungan dan doa sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.
3. Semua dosen Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil UNISSULA, terimakasih atas semua ilmunya yang sangat bermanfaat.
4. Partner laporan tugas akhir Nabila Zarkasih. Terimakasih atas waktu dan semangatnya sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Bapak Edy, Mas Verdy, dan semua teman-teman karyawan Virama Karya yang telah membantu dan memberikan data yang dibutuhkan untuk menyelesaikan tugas akhir.
6. Kepada teman – teman Saya yang tidak bisa disebutkan satu persatu terimakasih atas doa, semangat dan bantuan yang telah diberikan,
7. Semua teman-teman Fakultas Teknik Sipil UNISSULA angkatan 2020, terimakasih atas semua bantuan, perhatian dan semangatnya.

Simma Ayu Dewayani

NIM : 30202000285

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT, hanya dengan rahmat dan karunia-Nya laporan Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik tentang “Studi Kasus Perbaikan Tanah Lunak pada Proyek Tol Semarang-Demak (Sta 20+300 – Sta 20+500)”. Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Program Sarjana Teknik Sipil di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Pada kesempatan ini, penulis hendak menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah mendukung dalam penyusunan Tugas Akhir ini, yaitu :

1. Bapak Ir. Rachmat Mudiyo, MT., PhD selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung.
2. Bapak M. Rusli Ahyar, ST., M.Eng selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung.
3. Bapak Prof. Ir. H. Pratikso, MST., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir, yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikirannya untuk memberikan bimbingan pada kami agar bisa menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
4. Ibu Lisa Fitriyana, ST., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikirannya untuk memberikan bimbingan pada kami agar bisa menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
5. Seluruh dosen, staf, dan karyawan Program Studi Teknik Fakultas Teknik Sipil UNISSULA.
6. Kedua orang tua yang telah memberikan doa dan motivasi.
7. Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih memiliki banyak kekurangan baik dari segi isi maupun dari segi susunannya. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat tidak hanya bagi penulis, tetapi juga bagi pembaca.

Semarang, 12 Desember 2021

Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
BERITA ACARA	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
PERNYATAAN KEASLIAN	v
MOTTO	vi
PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvi
ABSTRAK	xx
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Maksud dan Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Sistem Klasifikasi Tanah.....	5
2.1.1 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Data Sondir	10
2.1.2 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Nilai N-SPT	12
2.2 Parameter Tanah.....	15
2.2.1 Sudut Geser Dalam.....	15
2.2.2 Kohesi.....	16
2.2.3 Kuat Geser.....	17
2.2.4 Poission Ratio.....	17

2.2.5	Modulus Young.....	18
2.2.6	Kadar Air.....	19
2.2.7	Derajat Kejenuhan.....	19
2.2.8	Porositas	19
2.2.9	Angka Pori.....	21
2.2.10	Kompresibilitas.....	21
2.2.11	Permeabilitas	22
2.3	Tanah Lunak.....	23
2.4	Geosintetik	24
2.5	Perkembangan <i>Vertical Drain</i>	32
2.5.1	<i>Vertical Drain</i>	32
2.5.2	<i>Stone Coloumn</i>	35
2.6	<i>Prefabricated Horizontal Drainage</i>	37
2.7	Instrumen Pengukuran Penurunan Tanah	38
2.7.1	<i>Inclinometer</i>	38
2.7.2	<i>Settlement Plate</i>	38
2.7.3	<i>Piezometer</i>	39
2.8	Penurunan Tanah (<i>Settlement</i>) dan Konsolidasi.....	39
2.8.1	Parameter Perhitungan Penurunan Konsolidasi	45
2.9	Stabilisasi Tanah	55
BAB III METODOLOGI		57
3.1	Tinjauan Umum.....	57
3.2	Studi Literatur	57
3.3	Teknik Pengumpulan Data.....	59
3.4	Tahapan Plaxis	61
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN		96
4.1	Data Analisis	96
4.1.1	Parameter Tahun	96

4.1.2	Parameter Timbunan	97
4.1.3	Parameter Perkerasan	97
4.1.4	Parameter Geotekstil	97
4.2	Pembebanan	98
4.3	Tahapan Perhitungan Manual Metode Terzaghi	98
4.3.1	Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer (<i>Consolidation Settlement</i>).....	99
4.3.2	Perhitungan Derajat Konsolidasi Tanah Tanpa PVD&PHD ...	101
4.3.3	Perhitungan Derajat Konsolidasi Tanah Memggunakan Prefabricated Horizontal Drainage (PVD) & PHD	103
4.3.4	Tahap Perhitungan Menggunakan Program Plaxis 8.6	106
4.4	Hasil Perhitungan	107
4.4.1	Output Konsolidasi 1 Tahun	107
4.4.2	Output Konsolidasi 3 Tahun	109
4.4.3	Output Konsolidasi 10 Tahun	111
4.5	Hasil Analisa	113
BAB V PENUTUP.....		115
5.1	Kesimpulan.....	115
5.2	Saran.....	116
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Klasifikasi Tanah AASHTO	7
Tabel 2.2	Sistem Klasifikasi USCS.....	9
Tabel 2.3	Jenis Tanah Sistem Klasifikasi USCS.....	10
Tabel 2.4	Klasifikasi Tanah dari Data Sondir	11
Tabel 2.5	Hubungan Antara Konsistensi dengan Tekanan Konus pada Tanah Lempung	12
Tabel 2.6	Korelasi Empiris antara Nilai N-SPT dengan <i>Unconfined Compressive Strength</i> dan Berat Jenis Tanah Jenuh untuk Tanah Kohesif	14
Tabel 2.7	Korelasi Berat Jenis Tanah (γ) untuk Tanah Kohesif dan Non Kohesif.....	14
Tabel 2.8	Korelasi Berat Jenis Tanah Jenuh (γ_{sat}) untuk Tanah Kohesif dan Non Kohesif	15
Tabel 2.9	Nilai Tipikal Berat Volume Tanah.....	15
Tabel 2.10	Hubungan antara Sudut Geser Dalam dengan Jenis Tanah	16
Tabel 2.11	Hubungan antara Sudut Geser Dalam, Tingkat Plastisitas, dan Jenis Tanah.....	16
Tabel 2.12	Hubungan antara Kohesi, N-SPT, dan Sudut Geser pada Tanah Lempung	16
Tabel 2.13	Hubungan Antara Jenis Tanah dari Poisson Ratio	18
Tabel 2.14	Nilai Modulus Elastisitas Tanah (E_s).....	18
Tabel 2.15	Aktivitas Mineral Lempung	22
Tabel 2.16	Nilai Permeabilitas (k) dalam Satuan (m/s)	22
Tabel 2.17	Hubungan antara Betuk dan Fungsi Geosintetik.....	32
Tabel 2.18	Konsistensi Tanah Kohesif	38
Tabel 2.19	Korelasi Parameter Tanah (Biazeri dan Favre).....	46
Tabel 2.20	Nilai Indeks Pemampatan (C_c) Berbagai Jenis Tanah Lempung	47

Tabel 2.21	Variasi Faktor Waktu Terhadap Derajat Konsolidasi	55
Tabel 4.1	Parameter Tanah.....	96
Tabel 4.2	Parameter Timbunan	97
Tabel 4.3	Parameter Material Perkerasan	97
Tabel 4.4	Parameter Geotekstil	97
Tabel 4.5	Beban Lalu Lintas untuk Analisis Stabilitas dan Beban di Luar Jalan	98
Tabel 4.6	Rekapitulasi Nilai Cv dan Cc.....	99
Tabel 4.7	Rekapitulasi Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer	101
Tabel 4.8	Rekapitulasi Derajat Konsolidasi Arah Vertikal (Cv) Tanpa PVD.....	103
Tabel 4.9	Rekapitulasi Hasil Analisis Derajat Konsolidasi Menggunakan PVD dengan Pola Segitiga dan Jarak 0,9 m	106
Tabel 4.10	Phase Perhitungan	107
Tabel 4.11	Hasil Perhitungan untuk Mencapai Derajat Konsolidasi 90%	113
Tabel 4.12	Perbandingan Penurunan Tanah.....	114



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Masterplan Proyek.....	2
Gambar 2.1	Garfik Plastisitas untuk Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO	7
Gambar 2.2	Perkiraan Kohesi antara Penetrasi Konus dengan Kuas.....	11
Gambar 2.3	Penetrasi dengan SPT	13
Gambar 2.4	Hubungan antara Kohesi dan Nilai N-SPT untuk tanah kohesif	13
Gambar 2.5	Geotekstil.....	26
Gambar 2.6	Geomembran	26
Gambar 2.7	Geogrid.....	27
Gambar 2.8	Geokomposit	28
Gambar 2.9	Non-Woven Geotextile Komposit.....	29
Gambar 2.10	Woven Geotextile Komposit.....	30
Gambar 2.11	Geotextiile- Geogrid Komposit.....	30
Gambar 2.12	<i>Geotextile</i> – Geonet Komposit	31
Gambar 2.13	<i>Geotextile</i> – Geomembran Komposit.....	32
Gambar 2.14	<i>Sand Drains</i> dan <i>Horizontal Blanket Drain</i>	34
Gambar 2.15	<i>Stone Coloumn</i>	37
Gambar 2.16	<i>Inclinometer</i>	38
Gambar 2.17	Sattlement Plate.....	39
Gambar 2.18	<i>Piezometer</i>	39
Gambar 2.19	Tahapan Penurunan Tanah (Ground Settlement).....	44
Gambar 2.20	Konsolidasi Tanah Lunak Menggunakan PVD.....	44
Gambar 2.21	Faktor Pengaruh Akibat Beban Timbunan.....	49
Gambar 2.22	Variasi Derajat Konsolidasi Rata – Rata Terhadap Faktor Waktu.....	54
Gambar 3.1	Bagan alir penelitian Tahapan pada Plaxis.....	58
Gambar 3.2	Masterplan Proyek Jalan Tol Semarang - Demak.....	59
Gambar 3.3	Plan Profil Proyek Jalan Tol Semarang – Demak.....	59

Gambar 3.4 Metode Preloading dalam Pemasangan Sistem PVD.....	60
Gambar 3.5 Bagan Tahapan pada Plaxis	63
Gambar 3.6 Halaman Awal Plaxis	64
Gambar 3.7 Dimensi Plaxis.....	65
Gambar 3.8 Satuan Plaxis	65
Gambar 3.9 Halaman Gambar Plaxis	66
Gambar 3.10 Halaman Contoh Struktur Plaxis.....	66
Gambar 3.11 Menu Material Tanah.....	67
Gambar 3.12 Pilihan Menu Material Tanah.....	67
Gambar 3.13 Pengaplikasian Material ke Gambar	68
Gambar 3.14 Menu Beban Plaxis.....	68
Gambar 3.15 Menentukan Beban Plaxis.....	69
Gambar 3.16 Beban Plaxis.....	69
Gambar 3.17 Input Beban Plaxis.....	70
Gambar 3.18 Titik Beban Plaxis.....	70
Gambar 3.19 Load Beban Plaxis.....	71
Gambar 3.20 Menu Beban Plaxis.....	71
Gambar 3.21 Contoh Beban Plaxis.....	72
Gambar 3.22 Menggambar Vertical Drain.....	72
Gambar 3.23 Menentukan Titik <i>Vertical Drain</i>	73
Gambar 3.24 Menu Drain.....	73
Gambar 3.25 Menu <i>Standar Fricties</i>	74
Gambar 3.26 Hasil setelah <i>Standar Fricties</i>	74
Gambar 3.27 Menu <i>Mesh</i>	75
Gambar 3.28 Hasil <i>Mesh</i>	75
Gambar 3.29 Menu <i>Global Coarnesses</i>	76
Gambar 3.30 <i>Global Coarnesses Very Fine</i>	76
Gambar 3.31 <i>Mesh Very Fine</i>	77
Gambar 3.32 <i>Update Mesh</i>	77

Gambar 3.33 Menu <i>Initial Condition</i>	78
Gambar 3.34 <i>Initial Condition Coloumn</i>	78
Gambar 3.35 Menentukan Tinggi MAT	79
Gambar 3.36 Garis Tinggi MAT	79
Gambar 3.37 Menu <i>Mesh Initial Condotion</i>	80
Gambar 3.38 Kolom <i>Mesh Initial Condition</i>	80
Gambar 3.39 <i>Update Mesh Initial Condition</i>	81
Gambar 3.40 Menu sebelum dan sesudah <i>PVD,PHD</i> dan Timbunan.....	81
Gambar 3.41 Menu Hilangkan Timbunan.....	82
Gambar 3.42 Menu saat <i>PVD</i> dan <i>PHD</i> menyala	82
Gambar 3.43 Kondisi saat <i>PVD</i> dan <i>PHD</i> bekerja	83
Gambar 3.44 Kondisi Timbunan Awal	83
Gambar 3.45 Halaman Plaxis.....	84
Gambar 3.46 Hasil Penentuan Gambar	84
Gambar 3.47 Kolom Simpan Pekerjaan Plaxis	85
Gambar 3.48 Menu <i>Save Plaxis</i>	85
Gambar 3.49 Menu <i>Calculation Plaxis</i>	86
Gambar 3.50 Kolom <i>Calculation Plaxis</i>	86
Gambar 3.51 Kolom <i>Update Calculation Plaxis</i>	87
Gambar 3.52 Menu <i>Update Calculation Plaxis</i>	87
Gambar 3.53 Menu <i>Phase</i> Pekerjaan Plaxis	88
Gambar 3.54 Menu Awal <i>Calculation Plaxis</i>	88
Gambar 3.55 Menu <i>Define Plaxis</i>	89
Gambar 3.56 Menu Sebelum Timbunan <i>Calculation Plaxis</i>	89
Gambar 3.57 Kondisi <i>Calculation</i> saat <i>PVD & PHD</i> Bekerja.....	90
Gambar 3.58 Menu <i>Mesh & Update Calculation Plaxis</i>	90
Gambar 3.59 Menu <i>Next Calculation</i> untuk <i>Phase Plaxis</i>	91
Gambar 3.60 Menu <i>Update Calculation Plaxis</i>	91

Gambar 3.61 Menu <i>Mesh Update Calculation</i> Plaxis.....	92
Gambar 3.62 Menu <i>Update Output</i> Gambar Plaxis.....	92
Gambar 3.63 Menu <i>Calculate</i> Plaxis	93
Gambar 3.64 Hasil <i>Calculation</i> Plaxis Tahap Awal	93
Gambar 3.65 Menu <i>Calculation</i> Plaxis jika <i>Collapse</i>	94
Gambar 3.66 Menu <i>Save Ulang</i> Plaxis.....	94
Gambar 3.67 Data Excel Tanah Asli.....	95
Gambar 4.1 Total Penurunan Tanah 1 Tahun	108
Gambar 4.2 Tekanan Air Pori Berlebih 1 Tahun	108
Gambar 4.3 Tegangan Efektif Rata-Rata 1 Tahun.....	109
Gambar 4.4 <i>Safety Factor</i> 1 Tahun.....	109
Gambar 4.5 Total Penurunan Tanah 3 Tahun	110
Gambar 4.6 Tekanan Air Pori Berlebih 3 Tahun	110
Gambar 4.7 Tegangan Efektif Rata-Rata 3 Tahun.....	111
Gambar 4.8 <i>Safety Factor</i> 3 Tahun.....	111
Gambar 4.9 Total Penurunan Tanah 10 Tahun	112
Gambar 4.10 Tekanan Air Pori Berlebih 10 Tahun.....	112
Gambar 4.11 Tegangan Efektif Rata-Rata 10 Tahun.....	113
Gambar 4.12 <i>Safety Factor</i> 10 Tahun.....	113

STUDI KASUS PERBAIKAN TANAH LUNAK PADA PROYEK TOL SEMARANG-DEMAK (STA 20+300 – STA 20+500)

ABSTRAK

Jalan tol adalah jalan yang diperuntukkan bagi lalu lintas umum dan merupakan bagian dari sistem jaringan jalan nasional yang penggunaanya diwajibkan membayar. Menurut letak geografis Indonesia yang berada di kawasan Asia Tenggara dan menjadi bagian dari Kerjasama regional ASEAN menjadikan Jalur Pantura memiliki fungsi dalam skala regional maupun skala internasional. Tugas akhir ini membahas stabilisasi tanah lunak pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang – Demak dengan tujuan mengetahui besarnya penurunan yang terjadi dengan Program Plaxis 8.6 dan Metode Terzaghi.

Pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang – Demak Seksi 2 sta 20+300 – sta 20+500, akan dihitung analisa waktu yang dibutuhkan agar tanah mencapai konsolidasi >90 % dan dengan menggunakan metode kombinasi Prefabricated Vertical and Horizontal Drain (PVD & PHD), Tekanan air pori (Pore Pressure) yang keluar dari dalam tanah tersebut, Faktor keamanan (Safety Factor) yang diperoleh dari akhir konstruksi sampai konstruksi berumur 10 tahun. Tujuan dari analisa ini adalah untuk mengetahui dan membandingkan penurunan tanah dengan timbunan antara tanpa *Prefabricated Vertical and Horizontal Drain (PVD & PHD)* dan dengan *Prefabricated Vertical and Horizontal Drain (PVD & PHD)* dengan menggunakan program Plaxis 8.2, mengetahui waktu yang dibutuhkan agar tanah mencapai konsolidasi >90% dengan menggunakan metode *Prefabricated Vertical and Horizontal Drain (PVD & PHD)*.

Berdasarkan hasil analisis permodelan timbunan dengan menggunakan Program Plaxis 8.6 diperoleh besar penurunan tanah sebesar 1,08 m, dengan menggunakan Metode Terzaghi didapatkan besar penurunan tanah sebesar 1,35 m setelah terkonsolidasi dalam waktu 1 tahun, 3 tahun dan 10 tahun. Didapatkan hasil yang hampir sama dengan penurunan yang terjadi di lapangan. Penurunan yang terjadi di lapangan adalah sebesar 1,2 m.

Kata Kunci : *Penurunan, Plaxis 8.2, Tanah Lunak, Timbunan, PHD, PVD*

- 1) Mahasiswa Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil UNISSULA
- 2) Dosen Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil UNISSULA

**STUDI KASUS PERBAIKAN TANAH LUNAK
PADA PROYEK TOL SEMARANG-DEMAK
(STA 20+300 – STA 20+500)**

ABSTRACT

A motorway is a road reserved for public traffic and is part of a national road network system that users must pay for. According to Indonesia's geographical location in Southeast Asia and is part of ASEAN regional cooperation, the Pantura Line has a function on a regional and international scale. This final task discusses the stabilization of soft soil on the Semarang – Demak Toll Road Development Project with the aim of knowing the magnitude of the decline that occurred with the Plaxis 8.6 Program and terzaghi methods.

In the Semarang Toll Road Construction Project – Demak Section 20 +300 – Sta 20 +500, it will be calculated the analysis of the time it takes the soil to achieve consolidation of >90% and using the combination method of Vertical and Horizontal Drain (PVD &PHD), Pore Pressure (Pore Pressure) that comes out of the ground, Safety Factor obtained from the end of construction to construction is 10 years old. The purpose of this analysis is to find out and compare the soil drop with the stack between the nonfabricated Vertical and Horizontal Drain (PVD &PHD) and with the Vertical and Horizontal Drain (PVD&D) Prefabrication using the plaxis 8 program. 2, know the time it takes for the soil to achieve consolidation >90% using the Vertical and Horizontal Drain (PVD &PHD) Prefabrication method.

Based on the results of stack modeling analysis using the Plaxis Program 8.6 obtained a large decrease in land by 1.08 m, using the Terzaghi Method obtained a large decrease of land of 1.35 m after consolidation within 1 year, 3 years and 10 years. This is almost the same result as the decline that occurs in the field. The decrease that occurs in the field is 1.2 m.

Keywords: Down, Plaxis 8.2, Soft Ground, Stack, PHD, PVD

- 1) Students of the Faculty of Engineering Civil Engineering Study Program UNISSULA
- 2) Lecturer of Faculty of Engineering Civil Engineering Study Program UNISSULA

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Infrastruktur dalam setiap negara memiliki peran penting dalam pemenuhan hak-hak dasar rakyat seperti sandang, pangan, keamanan, pendidikan, dan juga kesehatan. Selain itu, infrastruktur juga merupakan salah satu modal dasar sebuah negara dalam menunjang pertumbuhan ekonomi nasional serta daya saing global. Daerah yang mandiri dan maju menjadi kekuatan dalam membangun bangsa serta memperkuat daya saing antar bangsa. Oleh karena itu, pengembangan wilayah penting dilakukan agar sumber daya daerah, baik alam maupun manusia serta teknologi dapat dioptimalkan.

Pembangunan infrastruktur yang akan dibahas dalam tugas akhir ini merupakan jalan bebas hambatan atau jalan tol. Jalan bebas hambatan adalah jalan yang digunakan untuk lalu lintas umum dan merupakan bagian dari sistem jaringan jalan nasional dimana penggunaannya harus membayar biaya. Tujuan pembangunan jalan tol adalah untuk mewujudkan pembangunan dan pengembangan wilayah yang merata dan seimbang.

Berdasarkan letak geografis Indonesia yang berada di kawasan Asia Tenggara dan menjadi bagian dari ASEAN menjadikan Jalur Pantura memiliki fungsi dalam skala regional hingga internasional. Hal ini disebabkan Jalur Pantura Jawa merupakan bagian dari ASEAN dan ASIAN *Highways*. Jalur ini berada di wilayah utara Pulau Jawa dimana jika dilihat dari aspek topografinya, sisi utara Pulau Jawa relatif berkontur landai daripada sisi tengah dan selatan Pulau Jawa.

Untuk sisi maritim, wilayah utara Pulau Jawa memiliki 2 pelabuhan utama yaitu Pelabuhan Tanjung Priok yang berada di Provinsi DKI Jakarta, Pelabuhan Tanjung Perak di Provinsi Jawa Timur, serta pelabuhan *feder* yaitu Pelabuhan Tanjung Emas di Provinsi Jawa Tengah. Jika dilihat dari aspek ekonomi, laut utara Pulau Jawa merupakan Jalur Sutra Maritim, maka dari itu penting adanya untuk mengembangkan pula Jalur Pantura

menjadi salah satu Jalur Sutra Darat yang diharapkan akan mendukung perekonomian Indonesia.

Infrastruktur jalan tol akan menghubungkan Kota Semarang, Kota Demak, sampai Kota Kudus. Namun akan lebih spesifik pada seksi 2 yaitu di daerah Kota Demak. Proyek pembangunan infrastruktur jalan tol ini dilaksanakan oleh PT.PP (persero) tbk sebagai kontraktor dan Virama Karya sebagai konsultan.



Gambar 1.1. Masterplan Proyek

1.2 Rumusan Masalah

Dalam tugas akhir ini akan dilakukan analisa perbaikan tanah lunak khususnya pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang – Demak Seksi 2 sesuai dengan data tanah dan kondisi lapangan yang ada di lapangan yang digunakan sebagai data dalam menganalisa :

1. Analisa penurunan tanah dengan timbunan dengan *Prefabricated Vertical and Horizontal Drain (PVD & PHD)* menggunakan program *Plaxis 8.2* dan hitung secara teori untuk mengetahui besarnya *settlement* pada tanah dalam Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang – Demak Seksi 2 sta 20+300 – sta 20+500,
2. Analisa waktu yang dibutuhkan tanah untuk mencapai konsolidasi >90% dengan menggunakan metode timbunan kombinasi *Prefabricated Vertical and Horizontal Drain (PVD & PHD)*,
3. Tekanan air pori (*Pore Pressure*) yang keluar dari dalam tanah tersebut, serta faktor keamanan (*safety factor*) selama 1 tahun, 3 tahun, dan 10 tahun.

1.3 Maksud dan Tujuan

Maksud dan tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah untuk memberikan sumbangan berupa analisa ilmiah pada bidang teknik sipil tentang perilaku penurunan tanah (*settlement*) pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang – demak Seksi 2. Tujuan dari analisa ini adalah untuk :

1. Mengetahui serta membandingkan penurunan tanah dengan timbunan antara tanpa *Prefabricated Vertical and Horizontal Drain* (PVD & PHD) dan dengan *Prefabricated Vertical and Horizontal Drain* (PVD & PHD) dengan menggunakan program *Plaxis 8.2* untuk mengetahui besarnya penurunan tanah (*settlement*) pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang – Demak Seksi 2,
2. Mengetahui waktu yang dibutuhkan tanah untuk mencapai konsolidasi >90% dengan menggunakan metode timbunan kombinasi *Prefabricated Vertical and Horizontal Drain* (PVD & PHD),
3. Mengetahui tekanan air pori (*Pore Pressure*) yang keluar dari dalam tanah tersebut, serta faktor keamanan (*safety factor*) selama 1 tahun, 3 tahun, dan 10 tahun.

1.4 Batasan Masalah

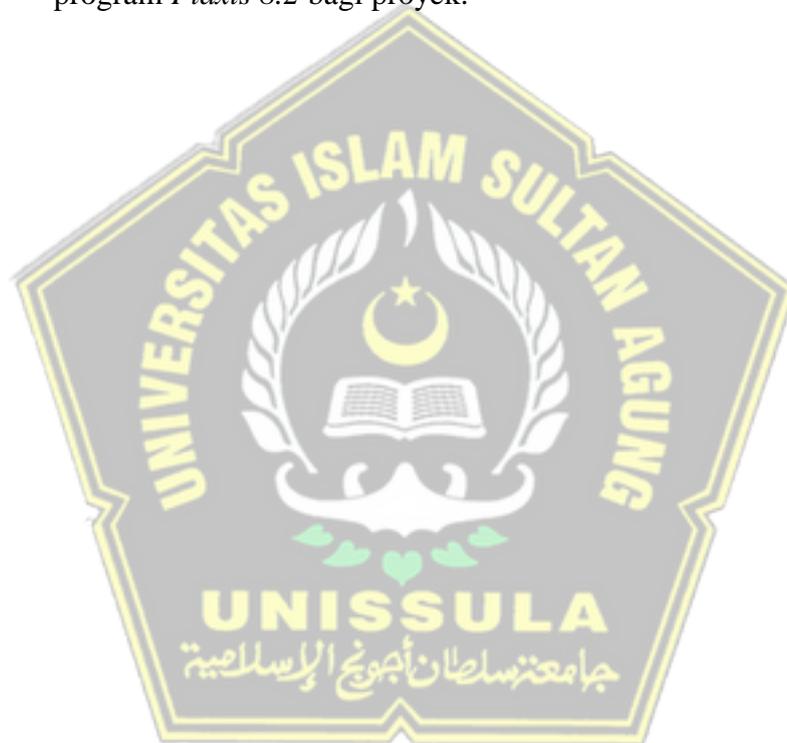
Adapun Batasan masalah yang menjadi objek penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dibatasi hanya pada permodelan dengan program *Plaxis 8.2* dan perhitungan metode *Terzaghi* untuk mengetahui besarnya penurunan tanah (*settlement*) yang terjadi,
2. Pola yang *Prefabricated Vertical and Horizontal Drain* (PVD & PHD) digunakan adalah pola segitiga dengan jarak 0,9 m.

1.5 Manfaat

Dalam penulisan tugas akhir ini didapatkan manfaat adalah sebagai berikut :

1. Menerapkan ilmu yang telah didapat penulis selama perkuliahan di Universitas Islam Sultan Agung Semarang dalam bentuk karya penulisan tugas akhir,
2. Menambah ilmu pengetahuan dan wawasan bagi pembaca terhadap aplikasi program *Plaxis 8.2*,
3. Memberikan sumbangan informasi hasil analisa menggunakan aplikasi program *Plaxis 8.2* bagi proyek.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu usaha pengelompokan berbagai jenis tanah yang berbeda namun memiliki sifat yang mirip menjadi kelompok dan subkelompok berdasarkan pemakaiannya. Sistem klasifikasi dibuat untuk menggambarkan secara ringkas sifat – sifat umum tanah yang variatif, namun tidak ada yang benar – benar dapat menjelaskan dengan jelas mengenai kemungkinan pemakainya karena sifat – sifat tanah yang sangat variatif. (Das, 1995).

Dari sudut pandang ilmu teknik sipil, tanah adalah kumpulan mineral, bahan organik dan sedimen yang relatif lepas, yang terletak diatas batuan dasar (Hardiyatmo, 1992, dalam Fitriyana, 2019).

Terdapat 2 sistem klasifikasi yang biasa digunakan dalam ilmu mekanika tanah. Kedua sistem tersebut memperhitungkan distribusi ukuran partikel dan batas – batas *Atterberg*, sistem – sistem tersebut adalah sebagai berikut :

a. Sistem Klasifikasi *American Association of State Highway and Transportation Official* (AASHTO)

Sistem ini dikembangkan pada tahun 1929 sebagai *Public Road Administration Classification System*. Sistem ini sudah mengalami beberapa perbaikan; versi saat ini adalah yang diajukan oleh *Committee on Classification of Materials for Subgrade and Granular Type Road of the Highway Research Board* pada tahun 1945 (*ASTM Standard no D-3282*, AASHTO metode M145).

Sistem klasifikasi AASHTO bertujuan untuk menentukan kualitas tanah untuk penggunaan lain yaitu lapis dasar (subbase) dan tanah dasar (subgrade). Karena sistem ini dirancang untuk pekerjaan jalan tersebut, maka penggunaan sistem ini harus mempertimbangkan maksud dan tujuan sesungguhnya.

Sistem ini membagi tanah menjadi 7 kelompok utama yaitu A-1 sampai dengan A-7. Tanah yang diklasifikasikan ke dalam A-1, A-2,

A-3 adalah tanah berbutir dimana 35% butirannya lolos ayakan no. 200. Tanah yang butirannya lolos ayakan no.200 lebih dari 35% diklasifikasikan ke dalam kelompok A-4, A-5, A-6, dan A-7.

Butiran dalam kelompok A-4 sampai dengan A-7 sebagian besar adalah lanau dan lempung.

Adapun sistem klasifikasi AASHTO dibuat berdasarkan kriteria – kriteria sebagai berikut :

1. Ukuran Butir

Kerikil : bagian tanah yang lolos ayakan 3 in (75 mm) dan tertahan di ayakan no. 10 (2mm).

Pasir : bagian tanah yang lolos ayakan no. 10 (2 mm) dan yang tertahan di ayakan no. 200 (0,075 mm)

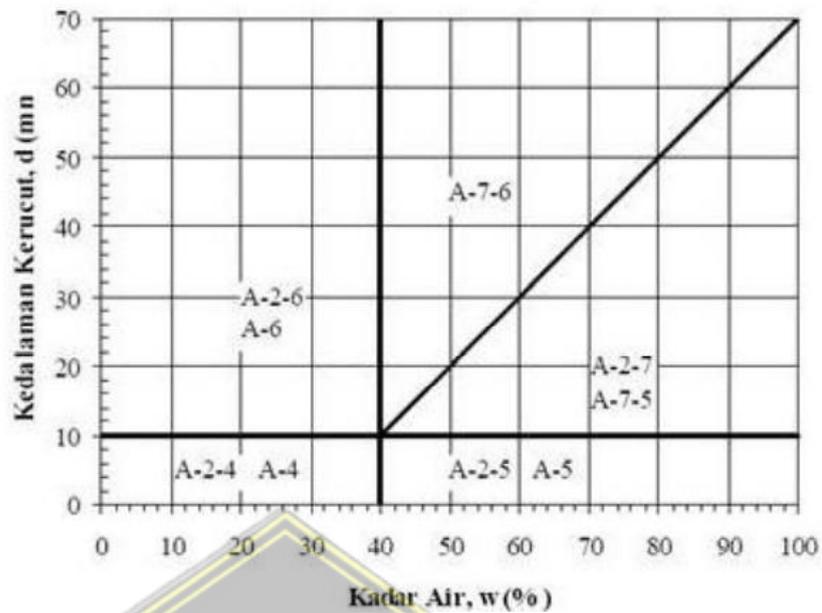
Lanau dan lempung : bagian tanah yang lolos ayakan no. 200 (0,075).

2. Plastisitas

Plastisitas adalah kemampuan tanah untuk beradaptasi terhadap perubahan bentuk pada volume yang konstan tanpa retak atau remuk. Tergantung pada kadar air, tanah dapat berbentuk cair, plastis, semi padat, atau padat.

Tingkat plastis biasanya dinyatakan sebagai nilai indeks plastisitas, yaitu selisih antara batas cair dan batas plastis suatu tanah. Nama “berlanau” digunakan ketika bagian tanah yang lebih halus memiliki indeks plastisitas (PI) dengan nilai ≤ 10 . Sedangkan “berlempung” digunakan jika bagian – bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastisitas sebesar 11 atau lebih.

3. Jika pada sampel tanah ditemukan batuan yang lebih besar dari 75 mm, untuk menentukan klasifikasinya, maka batuan tersebut harus dikeluarkan terlebih dahulu. Namun, presentase dari batuan yang disingkirkan harus dicatat.



Gambar 2.1 Grafik Plastisitas untuk Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO (Das, 1995)

Apabila sistem klasifikasi AASHTO digunakan untuk klasifikasi tanah dari data hasil pengujian dipetakan ke angka – angka yang ditunjukkan pada Tabel 2.1. dari kolom sebelah kiri ke kanan sampai ditemukan angka yang tepat (Das, 1995).

Tabel 2.1. Klasifikasi Tanah AASHTO

Klasifikasi Umum	Tanah berbutir (35 atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)							Tanah lanau-lempung (lebih dari 35 % dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)			
	A-1		A-3	A-2			A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7
Klasifikasi Kelompok	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6					A-7-5*
Analisis ayakan (% lolos)											
No. 10	≤ 50	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
No. 40	≤ 30	≤ 50	≤ 51	---	---	---	---	---	---	---	---
No. 200	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36
Sifat fraksi yang lolos ayakan No. 40 batas cair (LL) Indeks elastisitas (PI)											
	---	---	---	≤ 41	≥ 41	≤ 40	≥ 40	≤ 40	≤ 41	≤ 40	≥ 41
	≤ 6	NP	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11
Tipe material yang paling dominan	Batu pecah, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlanau atau berlempung				Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian sebagai bahan dasar tanah	Baik sekali sampai baik							sedang sampai jelek			

Keterangan : * Untuk A-7-5, $PI \leq LL - 30$
 ** Untuk A-7-6, $PI > LL - 30$

(Sumber : Das, 1995)

b. Sistem Klasifikasi Tanah *Unified Soil Classification System* (USCS)

Sistem USCS awal mulanya diperkenalkan oleh *Casagrande* pada tahun 1942 untuk digunakan dalam konstruksi lapangan terbang yang dilaksanakan oleh *The Army Corps of Engineers* selama Perang Dunia II. Namun, pada masa ini, sistem klasifikasi tersebut digunakan secara luas oleh para ahli teknik. Sistem ini membagi tanah dalam 3 kelompok, yaitu :

1. Tanah butiran kasar (*coarse grained soil*), lolos saringan no. 20 kurang dari 50%, yaitu tanah kerikil dan berpasir. Simbol kelompok ini diawali dengan huruf awal **G** untuk kerikil (*gravel*) atau tanah berkerikil dan **S** untuk pasir (*Sand*) atau tanah berpasir.
2. Tanah berbutir halus (*fine grained soil*), lolos saringan no. 200 lebih dari 50%, yaitu tanah lanau dan lempung. Simbol kelompok ini diawali dengan huruf awal **M** untuk lanau anorganik, **C** untuk lempung organik, dan **O** untuk lanau organik dan lempung organik. Simbol **Pt** digunakan untuk gambut (*Peat*), dan tanah dengan kandungan organik tinggi.
3. Tanah organik (gambut/humus), dapat ditentukan dengan cara penelitian di laboratorium jika perbedaan batas cair tanah contoh yang belum dioven dengan yang telah dioven sebesar >25%.

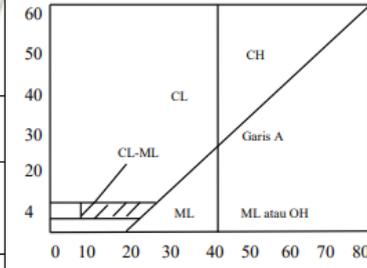
Simbol lain yang digunakan untuk klasifikasi adalah **W** untuk gradasi baik (*well graded*), **P** untuk gradasi buruk (*poorly graded*), **L** untuk plastisitas rendah (*low plasticity*), dan **H** untuk plastisitas tinggi (*high plasticity*).

Tanah butiran kasar ditandai dengan simbol kelompok seperti : GW, GP, GM, GC, SW, SP, SM, dan SC. Saat dilakukan klasifikasi, faktor – faktor berikut perlu diperhatikan :

1. Persentase butiran yang lolos ayakan no. 200 (fraksi halus)
2. Persentase fraksi kasar yang lolos ayakan no. 40
3. Koefisien keseragaman (*uniformity coefficient*, C_u) dan koefisien gradasi (*gradation coefficient*, C_c) untuk tanah dimana 0 – 12% lolos ayakan no. 200

4. Batas cair (LL) dan indeks plastisitas (PI) bagian tanah yang lolos ayakan no. 40 (untuk tanah dimana 5% atau lebih lolos ayakan no. 200)

Tabel 2.2. Sistem Klasifikasi USCS

Divisi Utama		Simbol	Nama Umum	Kriteria Klasifikasi
Tanah berbutir kasar ≥ 50% butiran tertahan saringan No. 200	Kerikil 50% ≥ fraksi kasar tertahan saringan No. 4	Kerikil bersih (hanya kerikil)	GW Kerikil bergradasi-baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $Cc = \frac{(D_{20})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW
			GP Kerikil bergradasi-buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	
		Kerikil dengan Butiran halus	GM Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau	Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$ Bila batas <i>Atterberg</i> berada didaerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai dubel simbol Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI > 7$
			GC Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung	
	Pasir ≥ 50% fraksi kasar lolos saringan No. 4	Pasir bersih (hanya pasir)	SW Pasir bergradasi-baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ $Cc = \frac{(D_{20})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW
			SP Pasir bergradasi-buruk, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	
		Pasir dengan butiran halus	SM Pasir berlanau, campuran pasir-lanau	Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$ Bila batas <i>Atterberg</i> berada didaerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai dubel simbol Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI > 7$
			SC Pasir berlempung, campuran pasir-lempung	
	Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos ayakan No. 200	Lanau dan lempung batas cair ≤ 50%	ML Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung	Diagram Plastisitas: Untuk mengklasifikasi kadar butiran halus yang terkandung dalam tanah berbutir halus dan kasar. Batas <i>Atterberg</i> yang termasuk dalam daerah yang di arsir berarti batasan klasifikasinya menggunakan dua simbol. 
			CL Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung "kurus" (<i>lean clays</i>)	
OL Lanau-anorganik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah				
Lanau dan lempung batas cair ≥ 50%		MH Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastis	Batas Cair LL (%) Garis A : $PI = 0.73 (LL - 20)$	
		CH Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" (<i>fat clays</i>)		
		OH Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi		
Tanah-tanah dengan kandungan organik sangat tinggi	PT <i>Peat</i> (gambut), <i>muck</i> , dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi	Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2488		

(Sumber : Christady, 1996)

Adapun menurut Bowles (1991) dalam Septayani (2016), kelompok – kelompok tanah utama pada sistem klasifikasi USCS ada dalam Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Jenis Tanah Sistem Klasifikasi USCS

Jenis Tanah	Prefiks	Sub Kelompok	Sufiks
Kerikil	G	Gradasi baik	W
		Gradasi buruk	P
Pasir	S	Berlanau	M
		Berlempung	C
Lanau	M		
Lempung	C	LL < 50%	L
Organik	O	LL > 50%	H
Gambut	Pt		

(Sumber : Bowles, 1991)

Keterangan :

G = Kerikil (*gravel*) atau tanah berkerikil (*gravelly soil*)

S = Pasir (*sand*) atau tanah berpasir (*sandy soil*)

M = Lanau anorganik (*inorganic silt*)

C = Lempung anorganik (*inorganic clay*)

O = Lanau dan lempung organik (*organic*)

Pt = Gambut (*peat*) dan tanah dengan kandungan organik tinggi

W = Gradasi baik (*well graded*)

P = Gradasi buruk (*poorly graded*)

L = Plastisitas rendah (*low plasticity*)

H = Plastisitas tinggi (*high plasticity*)

LL= Batas cair (*liquid limit*)

2.1.1 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Data Sondir

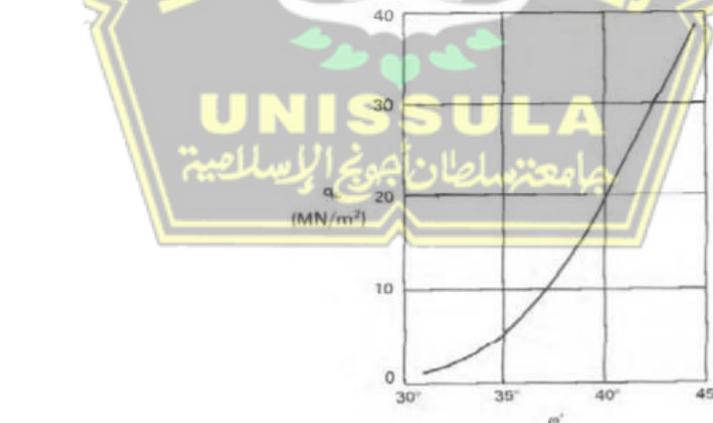
Data tekanan konus (q_c) dan hambatan pekat (f_s) yang diperoleh dari hasil uji sondir dapat digunakan untuk menentukan jenis tanah seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 2.4.

Tabel 2.4. Klasifikasi Tanah dari Data Sondir

Hasil Sondir		Klasifikasi
qc	fs	
6,0	0,15 - 0,40	Humus, lempung sangat lunak
6,0 - 10,0	0,20	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 lempung kelanauan
	0,80 - 2,0	Lempung agak kenyal
30 - 60	1,50	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, pasir kasar, pasir kelanauan sangat padat

(Sumber : Das, 1995)

Korelasi empiris yang menyatakan hubungan antara tahanan ujung dengan sudut geser tanah dikembangkan oleh Meyerhoff (1976) pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Perkiraan Koreksi Antara Penetrasi Konus dengan Kuas Geser ϕ' (G.G. Mayerhoff 1976)

Kemudian hubungan antara konsistensi terhadap tekanan konus dan kohesi *undrained* adalah berbanding lurus, seperti yang dijelaskan pada Tabel 2.5.

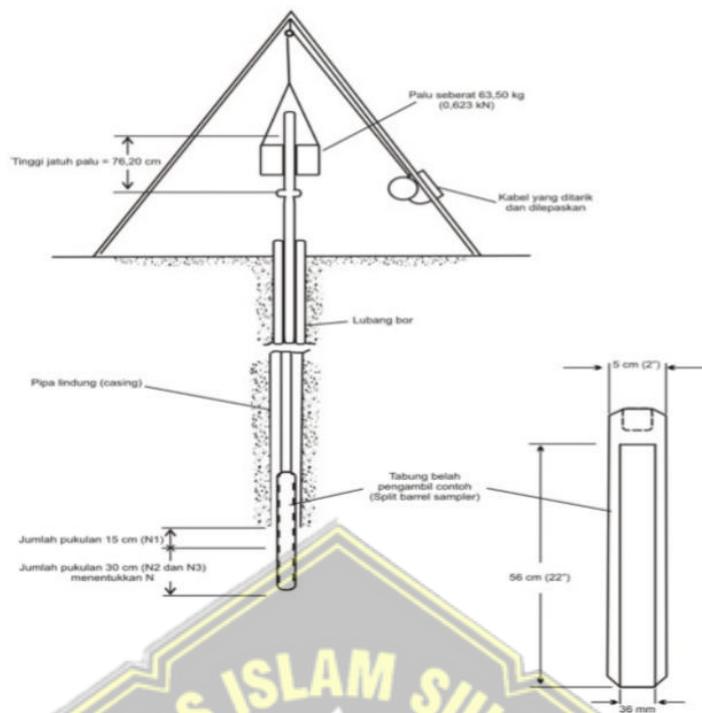
Tabel 2.5. Hubungan antara Konsistensi dengan Tekanan Konus pada Tanah Lempung

Konsistensi tanah	Tekanan Konus q_c (kg/cm ²)	Undrained Cohesion (T/m ²)
Very soft	< 2,50	< 1,25
Soft	2,50 - 5,0	1,25 - 2,50
Medium stiff	5,0 - 10,0	2,50 - 5,0
Stiff	10,0 - 20,0	5,0 - 10,0
Very stiff	20,0 - 40,0	10,0 - 20,0
Hard	> 40,0	> 20,0

(Sumber : Begemann, 1965)

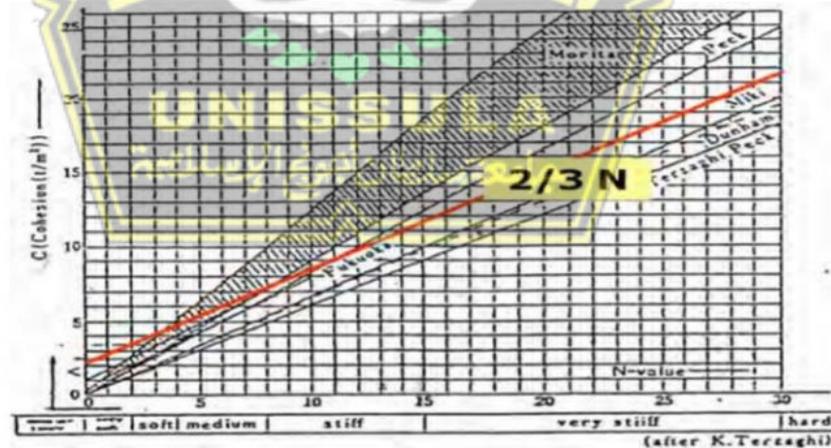
2.1.2 Klasifikasi Tanah Berdasarkan nilai N-SPT

SPT merupakan suatu metode uji guna mengetahui kekuatan dinamik tanah serta untuk mendapatkan contoh tanah terganggu dengan teknik penumbukan. Pengujian ini terdiri atas uji pemukulan tabung belah dinding tebal ke dalam tanah disertai dengan pengukuran jumlah pukulan untuk memasukkan tabung belah sedalam 300 mm secara vertikal. Digunakan hammer seberat 63,5 kg yang dijatuhkan beberapa kali dari ketinggian $\pm 0,76$ m. Pelaksanaannya terdiri dari 3 tahap, yaitu berturut – turut setebal 150 mm untuk masing – masing tahap. Tahap awal dicatat sebagai dudukan, sementara jumlah pukulan untuk memasukkan tahap kedua dan ketiga dijumlahkan untuk memperoleh nilai pukulan N atau hambatan SPT (dinyatakan dalam pukulan / 0,3 m).



Gambar 2.3. Penetrasi dengan SPT (SNI, 2008)

Untuk mengetahui hubungan antara nilai N-SPT dengan nilai kohesi untuk tanah kohesif dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Hubungan antara Kohesi dan Nilai N-SPT untuk tanah kohesif (Irsyam, 2012)

Untuk mengetahui korelasi empiris antara nilai N-SPT dengan *unconfined compressive strength* dan berat jenis tanah jenuh (γ_{sat}) untuk tanah kohesif dijelaskan pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6. Korelasi Empiris antara Nilai N-SPT dengan *Unconfined Compressive Strength* dan Berat Jenis Tanah Jenuh untuk Tanah Kohesif

N-SPT (blows/ft)	Konsistensi	q_u (unconfined compressive strength) tons/ft ²)	γ_{sat} kN/m ³
< 2,0	Very soft	< 0,25	16 - 19
2,0 - 4,0	Soft	0,25 - 0,50	16 - 19
4,0 - 8,0	Medium	0,50 - 1,00	17 - 20
8,0 - 15,0	Stiff	1,00 - 2,00	19 - 22
15,0 - 30,0	Very stiff	2,00 - 4,00	19 - 22
> 30,0	Hard	> 4,00	19 - 22

(Sumber : Lambe & Whitman, 1969)

Pada Tabel 2.7. berisi korelasi untuk menentukan berat jenis tanah (γ) dan berat jenis tanah jenuh (γ_{sat}) pada tanah kohesif dan non kohesif.

Tabel 2.7. Korelasi Berat Jenis Tanah (γ) untuk Tanah Kohesif dan Non Kohesif

cohesionless soil					
N	0 - 10,0	11,0 - 30,0	31,0 - 50,0	>50	
Unit Weight γ , kN/m ³	12,0 - 16,0	14,0 - 18,0	16,0 - 20,0	18,0 - 23,0	
Angle of Friction ϕ	25,0 - 32,0	28,0 - 36,0	30,0 - 40,0	>35,0	
State	Loose	Medium	Dense	Very dense	
cohesive					
N	<4,0	4,0 - 6,0	6,0 - 15,0	16,0 - 25,0	>25,0
Unit weight γ , kN/m ³	14,0 - 18,0	16,0 - 18,0	16,0 - 18,0	16,0 - 20,0	>20,0
q_u , kPa	<25,0	20,0 - 50,0	30,0 - 60,0	40,0 - 200,0	>100,0
Consistency	Very soft	Soft	Medium	Stiff	Hard

(Sumber : Whilliam T., Whitman, Robert V., 1962, dalam Viona, 2021)

Tabel 2.8. Korelasi Berat Jenis Tanah Jenuh (γ_{sat}) untuk Tanah Non Kohesif

Description	Very loose	Loose	Medium	Dense	Very dense
N-SPT					
Fine	1,0 - 2,0	3,0 - 6,0	7,0 - 15,0	16,0 - 30,0	
Medium	2,0 - 3,0	4,0 - 7,0	8,0 - 20,0	21,0 - 40,0	> 40,0
Coarse	3,0 - 6,0	5,0 - 9,0	10,0 - 25,0	26,0 - 45,0	> 45,0
ϕ					
Fine	26,0 - 28,0	28,0 - 30,0	30,0 - 34,0	33,0 - 38,0	
Medium	27,0 - 28,0	30,0 - 32,0	32,0 - 36,0	36,0 - 42,0	< 50,0
Coarse	28,0 - 30,0	30,0 - 34,0	33,0 - 34,0	40,0 - 50,0	
γ_{wet} (kN/m ³)	11,0 - 16,0	14,0 - 18,0	17,0 - 20,0	17,0 - 22,0	20,0 - 23,0

(Sumber : Whilliam T., Whitman, Robert V., 1962, dalam Viona, 2021)

Tabel 2.9. Nilai Tipikal Berat Volume Tanah

Jenis Tanah	γ_{sat} (kN/m ³)	γ_{dry} (kN/m ³)
Kerikil	20,0 - 22,0	15,0 - 17,0
Pasir	18,0 - 20,0	13,0 - 16,0
Lanau	18,0 - 20,0	14,0 - 18,0
Lempung	16,0 - 22,0	14,0 - 21,0

(Sumber : John Wiley & Sons, 2000)

2.2 Parameter Tanah

2.2.1 Sudut Geser Dalam

Kuat geser dalam memiliki variabel kohesi dan sudut geser dalam. Sudut geser dalam dan kohesi menentukan kekuatan tanah akibat tegangan yang bekerja berupa tekanan lateral tanah. Nilai ini didapatkan melalui pengukuran engineering properties tanah berupa *Triaxial Test* dan *Direct Shear Test*.

Tabel 2.10. Hubungan antara Sudut Geser Dalam dengan Jenis Tanah

Jenis Tanah	Sudut Geser Dalam
Kerikil kepasiran	35,0 - 40,0
Kerikil kerakal	35,0 - 40,0
Pasir padat	35,0 - 40,0
Pasir lepas	30,0
Lempung kelanauan	25,0 - 30,0
Lempung kelanauan	20,0 - 25,0

(Sumber : Das, 1998)

Tabel 2.11. Hubungan antara Sudut Geser Dalam, Tingkat Plastisitas, dan Jenis Tanah

Jenis Tanah	Tingkat Plastisitas	ϕ
Lanau	Rendah	35,0 - 37,0
Lanau berlempung	Sedang	31,0 - 35,0
Lempung	Tinggi	< 31,0

(Sumber : Bjerrum, 1960)

2.2.2 Kohesi

Kohesi merupakan gaya tarik menarik antara butiran tanah. Kohesi merupakan parameter kuat geser tanah yang menentukan ketahanan tanah terhadap deformasi akibat tegangan yang bekerja pada tanah. Nilai ini bisa didapat dari pengujian *Triaxial Test* dan *Direct Shear Test*. Nilai kohesi secara empiris dapat ditentukan dari data sondir (q_c) yaitu sebagai berikut :

$$Kohesi (c) = \frac{q_c}{20} \dots \dots \dots (2.1)$$

Tabel 2.12. Hubungan antara Kohesi, N-SPT, dan Sudut Geser pada Tanah Lempung

N-SPT	c	ϕ
0 - 2,0	12,5	0
2,0 - 4,0	12,5 - 25	0
4,0 - 8,0	25,0 - 50,0	0
8,0 - 15,0	50,0 - 100,0	0
15,0 - 30,0	100,0 - 200,0	0
> 30,0	> 200,0	0

(Sumber : Schilling, 2007, dalam Nazali, 2021)

2.2.3 Kuat Geser

Kuat geser tanah merupakan gaya perlawanan dari butiran tanah yang saling berdesakan, sehingga apabila tanah diberikan beban maka akan ditahan oleh :

1. Gaya kohesi pada tanah berdasarkan jenis tanah dan kepadatan tanah itu sendiri dan tidak bergantung pada tegangan normal yang bekerja pada bidang geser.
2. Gaya gesekan antar partikel tanah besarnya ebanding dengan tegangan snormal pada bidang gesernya.

Kuat geser tanah atau kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ) dibutuhkan untuk menghitung kapasitas daya dukung tanah, stabilitas pada lereng, dan gaya dorong pada dinding penahan tanah.

Menentukan kuat geser bisa dilakukan dengan Sebagian cara, yaitu :

- Uji geser tanah
- Tes triaksial
- Uji kuat tekan bebas

Perhitungan kuat geser tanah dapat dihitung dengan Persamaan 2.2:

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

τ = Kuat geser tanah (kN/m^2)

c = Kohesi tanah (kN/m^2)

ϕ = Sudut gesek dalam tanah atau sudut gesek intern ($^\circ$)

σ = Tegangan normal xpada bidang runtuh (kN/m^2)

2.2.4 Poisson Ratio (ν')

Nilai *poisson ratio* ditentukan sebagai perbandingan antara kompresi poros terhadap regangan pemuaian lateral. Nilai *poisson ratio* dapat ditentukan berdasarkan jenis tanah seperti yang terlihat pada Tabel 2.13 di bawah ini.

Tabel 2.13 Hubungan Antara Jenis Tanah dan Poisson Ratio

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

(Sumber : Das, 1998)

2.2.5 Modulus Young

Nilai *modulus young* menunjukkan besarnya nilai elastisitas yang dimiliki tanah, dihitung dengan membandingkan antara tegangan terhadap regangan. Penggunaan data sondir, bor log, dan grafik *triaxial* diperlukan dalam mencari besarnya nilai elastisitas tanah. Nilai modulus elastisitas (E_s) ditunjukkan pada Tabel 2.14 di bawah ini.

Tabel 2.14 Nilai Modulus Elastisitas Tanah (E_s)

Jenis Tanah	Modulus Elastisitas (Mpa)
Lempung	
Sangat lunak	2 - 15
Lunak sedang	5 - 25
Keras berpasir	15 - 40
Pasir	
Berlanau	5 - 20
Tidak padat	10 - 25
Padat	50 - 80
Pasir dan Kerikil	
Padat	100 - 200
Tidak padat	50 - 150
Lanau	2 - 20
Loses	15 - 60
Cadas	140 - 1400

(Sumber : Das, 1998)

2.2.6 Kadar Air

Analisa kadar air dapat dilakukan dengan melakukan penyelidikan tanah di laboratorium. Hasil dari uji tanah di laboratorium juga dapat digunakan dalam menghitung angka pori, porositas, derajat kejenuhan, dan berat jenis. Kadar air atau *water content* (w) didefinisikan sebagai perbandingan antara berat air dan berat butiran padat dari volume tanah yang diselidiki.

$$w = \frac{W_w}{W_s} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

w = Kadar air (%)

W_w = Berat air (gr)

W_s = Berat butiran (gr)

2.2.7 Derajat Kejenuhan

Derajat kejenuhan didefinisikan sebagai perbandingan antara volume air (V_w) dengan volume seluruh rongga pori tanah (V_v). Saat tanah dalam keadaan kering $S = 0$, sedangkan apabila tanah dalam keadaan jenuh maka $S = 100\%$ atau 1. Derajat kejenuhan atau *degree of saturation* (S) dinyatakan dengan Persamaan 2.4 berikut :

$$S = \frac{V_v}{V_w} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana :

S = Derajat Kejenuhan (%)

V_w = Berat volume air (cm^3)

V_v = Volume total rongga pori tanah (cm^3)

2.2.8 Porositas

Porositas atau porositas (n) adalah keseimbangan ruang pori tanah (pore space) yang terdapat dalam volume tanah yang dapat ditempati oleh air dan udara, sehingga merupakan indikator keadaan drainase dan aerasi tanah.

Tanah yang lebih porous berarti tanah tersebut mempunyai ruang pori yang cukup untuk air dan udara bergerak keluar masuk tanah secara bebas, sebaliknya jika tanah tersebut tidak porous.

Porositas dirumuskan dengan Persamaan 2.5 sebagai berikut :

$$n = \frac{V_v}{V} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana :

- n = Porositas (%)
- V_v = Volume rongga (cm³)
- V = Volume total (cm³)

Porositas tanah lapisan atas biasanya berkurang dengan bertambahnya ukuran partikel. Kelas porositas berikut berdasarkan kelas ukuran partikel:

- a. *Intergranuler*
Lubang Integrasi ada di antara elemen
- b. *Interkristalin*
Lubang antar kristal
- c. *Celah dan rekah*
Lubang antar retak
- d. *Pin-point porosity*
Pori-pori bersifat diskrit, titik-titik tak terlihat
- e. *Tight*
Partikel saling berdekatan dan kompak sehingga pori – pori sangat kecil dan hampir tidak ada porositas
- f. *Dense*
Batuan padat yang sangat kecil dengan hampir tidak ada porositas
- g. *Vugular*
Rongga dalam - rongga besar dengan diameter beberapa milimeter dan bentuk tidak beraturan yang sangat terlihat sehingga menghasilkan porositas yang besar
- h. *Cavernous*
Gua - gua yang sangat besar seperti gua sehingga porositasnya tinggi

2.2.9 Angka Pori

Indeks porositas (e) adalah perbandingan volume rongga (V_v) dan volume partikel (V_s) dalam tanah. Jumlah rongga menunjukkan seberapa besar ruang kosong dalam tanah yang biasa disebut dengan rongga tanah yang berasosiasi dengan ruang padat. Pori – pori ini kemudian diisi dengan air atau partikel tanah kecil, mengubah sifat-sifat tanah. Angka pori dapat dirumuskan dengan Persamaan 2.6 sebagai berikut :

$$e = \frac{V_v}{V_s} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana :

- e = Angka pori
- V_v = Volume rongga (cm^3)
- V_s = Volume butiran (cm^3)

2.2.10 Kompresibilitas

Kompresibilitas dipengaruhi oleh kadar air tanah dan jenis mineral lempung yang terkandung di dalam tanah. Kompresibilitas umumnya dikenal dengan sifat kembang dan susut tanah. Jika kadar air tanah ditingkatkan untuk membuat tanah jenuh, tegangan kapiler berkurang dan tekanan air pori sama dengan tegangan hidrostatik, tanah akan kembang ke volume aslinya. Penyusutan tanah dapat terjadi ketika pengurangan kelembaban tanah di dalam tanah mengering dan diikuti dengan peningkatan tegangan efektif pada partikel sehingga menyebabkan volume padamenyusut. Menghitung besarnya kapasitas tekan suatu tanah, ada beberapa cara, salah satunya adalah dengan menghitung bilangan aktivitas tanah . Cara lain untuk menghitung yaitu dengan rumus berikut :

$$Activity, A = \frac{Plasticity\ index}{\% \text{ dari partikel tanah yang } < 2\mu-5} \dots\dots\dots (2.7)$$

Tanah dapat dianggap mudah mengembang dan menyusut atau dikatakan tanah aktif yaitu apabila kadar air dalam tanah besarnya lebih dari 1,25 (A) atau berubah menjadi lebih besar dari 1,25.

Di bawah ini merupakan penjelasan nilai aktivitas (A) pada mineral lempung, yang disajikan dalam bentuk Tabel 2.15 :

Tabel 2.15 Aktivitas Mineral Lempung

Nama Mineral Lempung	Aktivits (A)
Montmorillonite	1 - 7
Illite	0,5 - 1
Kaolinite	0,5
Halloysitei (2H ₂ O)	0,5
Halloysitei (4H ₂ O)	0,1
Attapulgit	0,5 - 1,2
Allophane	0,5 - 1,2

(Sumber : Skempton, 1953 dalam Viona, 2021)

2.2.11 Permeabilitas

Permeabiliti merupakan salah satu sifat tanah dalam kemampuannya untuk mengalirkan air pori melalui tanah. Penentuan permeabilitas tanah memiliki pengaruh yang besar terhadap pengelolaan tanah dan air. Banyak faktor pengaruh permeabilitas tanah. Misalnya, tanah dengan tekstur rumpun memiliki permeabilitas yang rendah, sedangkan tanah yang padat memiliki permeabiliti yang tinggi. Porositas dapat pula memengaruhi permeabiliti. Tanah dengan banyak pori sangat permeabel karena air lebih permeabel ke permukaan tanah. Sementara itu, struktur tanah yang padat tidak akan mudah ditembus air, sehingga permeabilitasnya rendah.

Wesley pernah melakukan riset dan didapatkan hasil koefisien permeabiliti pada jenis tanah seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.16 di bawah ini :

Tabel 2.16. Nilai Permeabilitas (k) dalam Satuan (m/s)

Ukuran Partikel	Koefisien Permeabilitas (k)
Pasir berlempung, pasir berlanau	5,00E-5 - 1,00E-4
Pasir halus	1,00E-5 - 5,00E-5
Pasir kelanauan	1,00E-6 - 2,00E-5
Lanau	1,00E-7 - 5,00E-6
Lempung	1,00E-11 - 1,00E-8

(Sumber : Wesley, 1997)

2.3 Tanah Lunak

Tanah lunak merupakan istilah untuk tanah – tanah yang sering menyebabkan masalah ketidakstabilan dan mengalami penurunan yang seringkali tidak dapat ditolerir. Tanah lunak juga umumnya terdiri dari tanah lempung yang berasal dari pelapukan unsur – unsur kimia penyusun batu. Menurut Pedoman Konstruksi dan Bangunan 2005 (Soetjiono & Pasaribu), tanah lunak adalah tanah yang bersifat lemah, secara alamiah terbentuk dari proses pengendapan sebagai lapisan alluvial, biasanya ada di rawa dan danau. Dan ditinjau secara mekanisme kejadian adalah tanah deposit yang sangat kompresif dan rendah kuat gesernya, dimana kuat geser *undrained* lapangan < 40 kPa dan kompresibilitas tinggi.

Sedangkan menurut Bina Marga 2010, definisi tanah lunak dari sisi kekuatan adalah tanah yang memiliki nilai CBR lapangan < 2 . Tanah lunak memiliki daya dukung yang kecil, indeks plastisitas yang besar, dan ukuran partikel yang relatif halus. Tanah jenis ini memerlukan waktu yang lama untuk konsolidasi, dikarenakan tanah lunak memiliki sifat permeabilitas (kemampuan tanah untuk dilewati air) yang kecil.

Indeks plastisitas yang tinggi merupakan salah satu faktor yang melemahkan daya dukung tanah. Plastisitas ini disebabkan oleh adanya suatu lapisan dengan ukuran partikel yang membuat permukaan mempunyai muatan elektromagnetis. Lalu permukaan partikel tersebut akan membuat nilai viskositas semakin besar, nilai tersebut akan berkurang dengan semakin jauhnya jarak antar permukaan partikel. Oleh karena itu, dengan bertambahnya air maka partikel akan terpisahkan oleh cairan tersebut sehingga membuat antar partikel tersebut slip satu sama lain untuk mendapatkan posisi baru tanpa adanya kecenderungan kembali ke posisi semula dengan tidak ada perubahan volume dan tanpa mengurangi kohesi (Goldschmidt, 1952).

Sifat – sifat tanah lunak menurut Suyono (1986), Yelvi dan Adibroto (2007) adalah sebagai berikut :

- a. Gaya geser kecil,
- b. Kemampatan besar,

- c. Permeabilitas tinggi,
- d. Tanah lunak identik dengan sifat kompresibilitas yang sangat tinggi, salah satu penyebabnya adalah karena tanah jenis ini memiliki angka pori yang tinggi,
- e. Kadar air yang tinggi mampu menyebabkan tanah lunak memiliki daya dukung yang sangat rendah, sehingga terjadi penurunan. Hal inilah yang sering menjadi kendala selama konstruksi maupun selama konstruksi berlangsung.

2.4 Geosintetik

Pada umumnya, geosintetik dibagi menjadi 2 yaitu tekstil dan jaring. Berdasarkan bahannya, kedua jenis geosintetik dibagi menurut bahan sintetik dan alami. Sebagian besar geosintetik terbuat dari polimer sintetik seperti polipropilena (PP), poliester (PET) atau polietilena (PE). Material polimer tersebut tahan terhadap degradasi biologis dan kimiawi.

Geosintetik memiliki 6 fungsi seperti berikut :

- a. Filtrasi

Bahan geosintetik digunakan untuk mengalirkan air ke dalam sistem drainase dan mencegah terjadinya perpindahan partikel tanah melalui filter.

- b. Drainase

Bahan geosintetik digunakan untuk mengalirkan air dari dalam tanah.

- c. Separator

Bahan geosintetik digunakan di antara 2 material tanah yang tidak sejenis untuk mencegah terjadi pencampuran material. Sebagai contoh, bahan ini digunakan untuk mencegah bercampurnya lapis pondasi jalan dengan tanah dasar yang lunak sehingga integritas dan tebal rencana struktur jalan dapat dipertahankan.

- d. Perkuatan

Sifat tarik bahan geosintetik dimanfaatkan untuk menahan tegangan atau deformasi pada struktur tanah.

e. Penghalang

Bahan geosintetik digunakan untuk mencegah perpindahan zat cair atau gas.

f. Proteksi

Bahan geosintetik digunakan sebagai lapisan yang memperkecil tegangan lokal untuk mencegah atau mengurangi kerusakan pada permukaan atau lapisan tersebut.

Keunggulan dari geosintetik :

- Geosintetik sudah diakui sebagai material bangunan secara international oleh GSI, ISO dan ASTM
- Penggunaannya lebih ekonomis dibandingkan dengan metode konvensional seperti contohnya penggunaan beton bertulang dan lain-lain.
- Tidak mudah rusak dari mikroba karena terbuat dari bahan polimer.

Geosintetik dibagi berdasarkan bentuk dan fungsi yang berbeda – beda sebagai berikut :

a. Geotekstil

Merupakan geosintetik yang berbentuk seperti tekstil pada umumnya tetapi terdiri dari serat – serat sintetis sehingga lentur dan tidak mengalami penyusutan. Bertujuan ssebagai lapis pemisah (*separation*), lapis penyaring (*filtration*), penyaluran air (*drainage*), perkuatan tanah (*reinforcement*), dan lapis pelindung (*moisture barrier*) bila terselimuti oleh barrier. Berdasarkan cara pembuatan, geotekstil dibagi menjadi 2 yaitu, geotekstil yang dianyam (*woven geotekstil*) dan geotekstil tidak dianyam (*non-woven geotekstil*).



Gambar 2.5. Geotekstil

b. Geomembrane

Geomembrane adalah material pelapis dengan permeabilitas yang sangat rendah, sehingga dapat menahan air dengan baik. Bahan geomembran berupa lapisan tipis karet atau plastic. Fungsi utamanya untuk lapis pelindung (*moisture barrier*).



Gambar 2.6. Geomembrane

c. Geo-linear element

Berbentuk jalur – jalur tunggal yang mandiri, berbentuk pipih atau pipa. Tersusun dari serat *polyester* yang dilindungi oleh bahan *heavy duty polyethylene*.

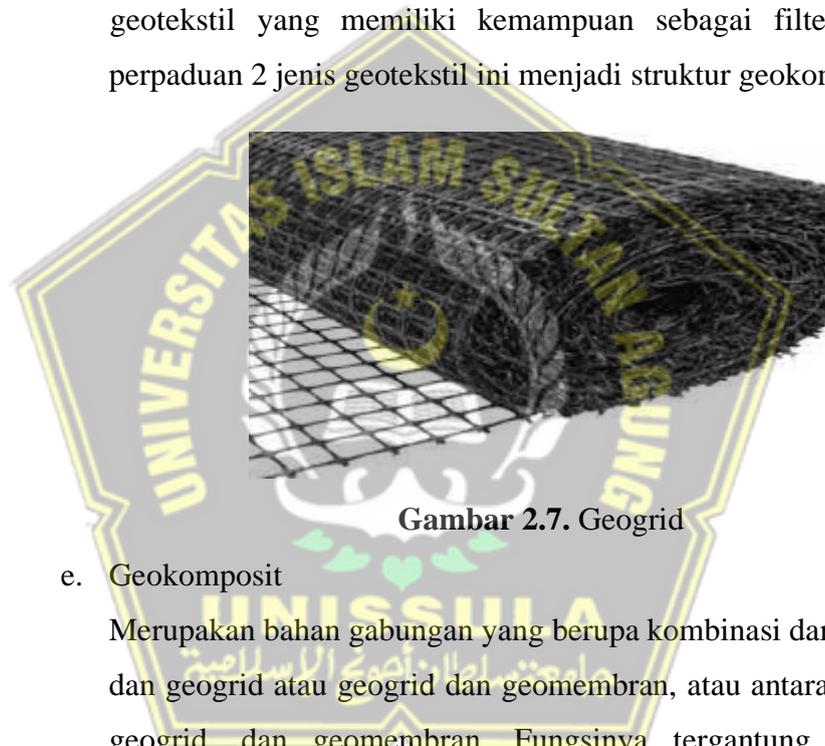
d. Geogrid

Geogrid dibuat dengan proses pemanasan dan penarikan suatu serat *polymer* pada suatu arah atau lebih. Bentuknya seperti jaring dengan jarak yang lebar antar daun – daunnya.

Daun – daun tersebut memiliki 3 variasi bentuk berdasarkan penggunaannya sebagai berikut :

- a. *Non-deformed nets*, dengan fungsi utama berkaitan dengan drainase,
- b. *Deformed grids*, diaplikasikan sebagai perkuatan dan separator,
- c. *Polymeric strips*, memiliki fungsi sebagai aplikasi perkuatan

Geogrid cenderung lebih *stiff* daripada geotekstil, sehingga fungsi dan kegunaannya akan menyesuaikan dengan karakteristik masing – masing bahan. Geogrid kurang baik jika digunakan sebagai filter karena mempunyai jarak antar jaring yang besar, maka jika digunakan sebagai drainase biasanya akan dilapisi dengan geotekstil yang memiliki kemampuan sebagai filter sehingga perpaduan 2 jenis geotekstil ini menjadi struktur geokomposit.



Gambar 2.7. Geogrid

- e. Geokomposit
Merupakan bahan gabungan yang berupa kombinasi dari geotekstil dan geogrid atau geogrid dan geomembran, atau antara geotekstil, geogrid, dan geomembran. Fungsinya tergantung komponen pembentuknya, jadi dapat berfungsi sebagai lapis pemisah (*separation*), perkuatan tanah (*reinforcement*), penyaring (*filtration*), penyaluran air (*drainage*), dan pelindung (*moisture barrier*).



Gambar 2.8. Contoh bentuk geokomposit

Filosofi dasar di balik bahan geokomposit adalah menggabungkan fungsi terbaik dari bahan geosintetik yang berbeda sedemikian rupa sehingga didapatkan material dengan fungsi yang dibutuhkan dan dengan biaya minimum. Dengan demikian, rasio manfaat / biaya dimaksimalkan. (Sumber: Wikipedia)

Aplikasi geokomposit dalam dunia konstruksi :

- Lapis perkuatan timbunan badan jalan.
- Lapis pemisah / separator “*subballast*” pembuatan rel kereta api.
- Perkuatan dinding penahan tanah.
- Perkuatan dasar timbunan pada lapangan penumpukan kontainer.
- Reklamasi pantai.
- Konstruksi pelabuhan laut.
- Pembangunan bandar udara.

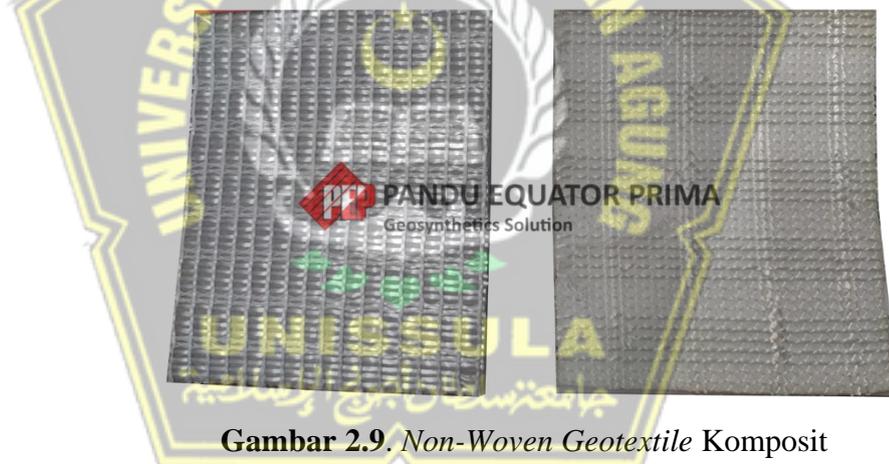
Keunggulan geokomposit :

- Geokomposit memiliki sifat separasi dan perkuatan dalam satu material, sehingga lebih ekonomis.
- Memiliki sifat rangkai yang kecil, sehingga struktur perkuatan lebih stabil untuk jangka panjang.
- Ringan dan fleksibel, pemasangan lebih mudah dan cepat.
- Dari pertimbangan teknis dan biaya konstruksi, penggunaan geocomposite relatif lebih murah dibanding dengan sistem penanganan yang lain.

Berikut ini adalah jenis-jenis Geokomposit :

a. *Geotextile* komposit

Composite geotextile berfungsi sebagai lapis perkuatan dasar timbunan dan perkuatan lereng. *Geocomposite* jenis ini memiliki sifat perkuatan sekaligus separasi yang mampu mengalirkan air secara horisontal (*inplane drainage*). *Composite geotextile* sangat cocok untuk aplikasi perkuatan dengan urugan tanah merah (*laterite soil/clay*), sehingga perkuatan dari mekanisme kohesi antara tanah timbunan dengan *Geocomposite* maksimal. *Geotextile* komposit ini material yang paling dikenal di pasaran, berbentuk menyerupai *geotextile non-woven* yang ditambah dengan jahitan benang *polyester* untuk memperkuat. Ada juga yang berupa perpaduan dari lembaran *woven geotextile* dan *non-woven geotextile* yang dijahit jadi satu. Sehingga fungsi sebagai perkuatan menjadi lebih baik.



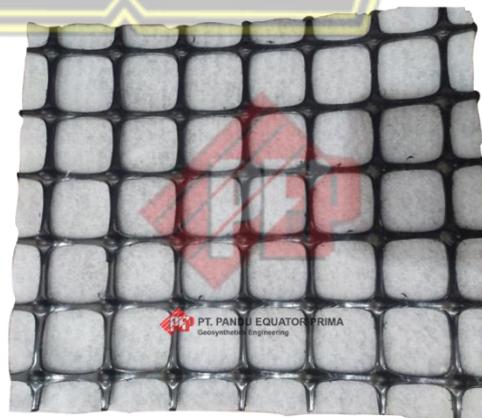
Gambar 2.9. *Non-Woven Geotextile* Komposit



Gambar 2.10. *Woven Geotextile* Komposit

b. *Geotextile* – Geogrid Komposit

Jenis geokomposit ini adalah gabungan dari *geotextile non-woven* dan geogrid. Fungsi *geotextile* adalah sebagai filter dan drainase. *Composite geogrid*, memiliki peran sebagai perkuatan dari geogrid. Sementara fungsi separasi dari *geotextile* adalah memiliki kelebihan mampu mengalirkan air secara horizontal (*inplane drainage*). Sedangkan geogrid berperan sebagai *reinforcement* atau perkuatan, umumnya diaplikasikan pada perkuatan tanah lereng dan timbunan. *Geocomposite* jenis ini sangat sesuai untuk aplikasi dengan bahan urugan material berbutir/sirtu dan sejenisnya, agar perkuatan yang ditimbulkan dari mekanisme “*interlocking*” timbunan granular dengan geogrid maksimal.



Gambar 2.11. *Geotextile* – Geogrid Komposit

c. *Geotextile* – Geonet Komposit

Geokomposit ini adalah kombinasi dari *geotextile non-woven* dan geonet dimana satu sisi ataupun kedua sisi geonet dilapisi dengan *geotextile* sehingga fungsi pemisah dan filtrasi menjadi maksimal. Geokomposit umumnya dikenal sebagai geokomposite drainase. Geokomposit ini akan dilalui oleh air melewati pori-pori *geotextile* yang kemudian mengalir secara horizontal dalam geonet dan mengarah ke *collecting drain*. *Composite Geonet* banyak digunakan sebagai penghantar lindi (*Leachate*) di tempat pembuangan sampah dan untuk mengalirkan uap atau air di bawah lapisan kolam dan lain sebagainya.



Gambar 2.12. *Geotextile* – Geonet Komposit

d. *Geotextile* – Geomembran Komposit

Geokomposit yang satu ini adalah kombinasi antara *geotextile non-woven* dengan *geomembrane*, dimana satu atau kedua sisi *geomembrane* dilapisi dengan *geotextile*. Hal ini dapat meningkatkan ketahanan *geomembrane* serta meningkatkan kuat tarik.



Gambar 2.13. *Geotextile* – Geomembran Komposit

Tabel 2.17. Hubungan antara Bentuk dan Fungsi Geosintetik

Bentuk	Fungsi
Geotextile	1. Perkuatan tanah (<i>soil reinforcement</i>) 2. Penyaringan (<i>filtration</i>) 3. Lapisan pemisah (<i>separation</i>) 4. Pengendali erosi (<i>erosion control</i>) 5. Penyalur air (<i>drainage</i>)
Geomembrane	1. Lapisan pemisah (<i>separation</i>) 2. Perkuatan tanah (<i>soil reinforcement</i>)
Geogrid	1. Perkuatan tanah (<i>soil reinforcement</i>) 2. Pengendali erosi (<i>erosion control</i>)
Geoliner	1. Perkuatan tanah (<i>soil reinforcement</i>)
Geokomposit	1. Penyalur air (<i>drainage</i>) 2. Pengendali erosi (<i>erosion control</i>) 3. Penyaringan (<i>filtration</i>) 4. Perkuatan tanah (<i>soil reinforcement</i>)

(Sumber : Exxon, 1990)

2.5 Perkembangan *Vertical Drain*

2.5.1 *Vertical Drain*

Prefabricated vertical drain (PVD) adalah teknik stabilisasi tanah lunak yang lebih kurang 20 tahun sudah menggantikan *sand drain*. Jika suatu konstruksi berdiri diatas tanah lunak yang mampu – mampat, maka otomatis akan timbul *settlement* pada tanah yang akan memengaruhi kestabilan dari struktur diatasnya. Waktu terjadinya pemampatan atau *time rate of settlement* akan berlangsung dalam waktu yang cenderung sangat

lama. Penggunaan *vertical drains* inilah yang bertugas mempersingkat *time rate of settlement*.

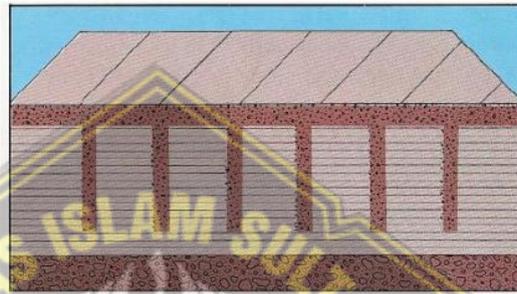
Penggunaan *vertical sand drains* pertama kali dikembangkan di California sekitar tahun 1930. Pada dasawarsa yang sama, Kjellman dari Sweden mempresentasikan *prototype* dari *prefabricated vertical drain* yang terdiri dari pelat datar (Jamiolkowski dkk, 1983). Setelah dikembangkan bentuk *prototype* tersebut, beberapa tipe *prefabricated vertical drain* mulai berkembang, ada yang tersusun dari lapisan selaput plastik menggunakan bahan tembus air yang berperan sebagai penyaring.

Sebelum tahun 1980an, perbaikan tanah lunak sebagian besar dilakukan dengan menggunakan *sand drains* dan *horizontal sand blankets drains* untuk pengaliran air arah lateral seperti pada Gambar 2.14. Langkah ini tentu berhasil, namun proses pelaksanaannya memakan waktu yang tidak sebentar dan juga lebih mahal. Selain itu hambatan lain yang muncul adalah terjadinya penyumbatan (penutupan rongga pasir) akibat partikel lanau atau partikel tanah dengan diameter yang lebih kecil dari pasir yang dapat menghambat laju air keluar dari tanah.

Sand drains dengan langkah pengisian *boreholes* dalam tanah dengan pasir juga memiliki beberapa kekurangan. Selama pemasangan, peralatan untuk pengeboran dimasukkan kedalam tanah sehingga dapat menyebabkan terjadinya perpindahan secara vertikal maupun horizontal. Beberapa kesulitan dan kerugian dari penggunaan *sand drains* oleh Yeung (1997) sebagai berikut:

- a. Pasir yang digunakan sebagai material adalah pasir yang memenuhi standar yang kemungkinan sulit diperoleh di lingkungan proyek,
- b. Aliran air mungkin tidak seperti yang direncanakan karena proses pemasangan yang tidak tepat,
- c. Dalam proses penambahan material pasir ke dalam tanah ada peluang terjadinya keruntuhan pada lubang,

- d. Diameter *sand drains* yang tidak sesuai dengan desain awal karena tanah lunak dapat menyebabkan pasir meluap di luar diameter desain,
- e. Kondisi tanah di sekitar *sand drains* akan terganggu dan mungkin dapat penyebab berkurangnya nilai rembesan dalam tanah sehingga air tidak mampu mengalir sesuai rencana,
- f. Dampak perkuatan menggunakan *sand drains* dapat mengakibatkan berkurangnya efektifitas preloading.



Gambar 2.14. *Sand Drains dan Horizontal Blanket Drain*

Pada awal tahun 1980, *prefabricated plastic vertical drain* mulai dikembangkan dan diterapkan sebagai pengganti pemakaian *sand drains*. Pengaplikasian pemasangan *plastic drain* berjalan jauh lebih singkat dan lebih murah dibandingkan dengan *sand drains*. *Horizontal blanket drain* masih dimanfaatkan untuk mengalirkan air arah lateral.

Pada akhir tahun 1980 kemudian *prefabricated drain* atau yang umumnya dikenal dengan *strip drain* mulai berkembang dan diterapkan secara luas. Tipe ini mirip seperti *vertical drain* namun memiliki kapasitas kemampuan aliran yang lebih tinggi dan memiliki *compressive strengths* yang lebih. Pada tahun 1987, *strips drain* dipakai bersama dengan *horizontal blanket drain* di lapangan yaitu di Jacksonville, Florida. Kemudian pemakaian metode ini berkembang di Massachusetts dan beberapa negara lainnya.

Strip drain memiliki kelebihan jika dibandingkan dengan penerapan *sand drains*. Berikut adalah beberapa kelebihannya :

- a. *Strip drain* lebih murah dibanding *sand drains*. Perbandingannya adalah misal satu truk mampu mengangkut *strip drain* 12” (300mm) sebanyak 18000 ft panjang drain (5500 m) untuk dipasang di lapangan, maka jumlah tersebut sebanding dengan 800 truk pasir, jika menggunakan *sand drains*,
- b. Pemasangan *strip drain* jauh lebih cepat dan tanpa menggunakan banyak pekerja dan juga peralatan,
- c. Pengaliran air yang terjadi jauh lebih baik dan lebih terkontrol dengan *strip drain*. Selain itu adanya filter pada *strip drain* dapat menghindari terjadinya *clogging*.

2.5.2 *Stone Coloumn*

Stone coloumn adalah suatu upaya penggalian yang dilakukan untuk menggantikan sebagian tanah yang akan digunakan sebagai dasar konstruksi dengan kolom *vertical* yang dipadatkan. Fungsi utama penggunaan *stone coloumn* adalah untuk meningkatkan daya dukung tanah yang buruk sehingga dapat menahan beban yang lebih besar dan mengurangi *settlement*.

Selain untuk meningkatkan daya dukung tanah, fungsi tambahan dari *stone coloumn* adalah :

1. Meminimalisir total *settlement* tanah
2. Mempersingkat waktu konsolidasi
3. Meminimalisir bahaya *liquifaction*

Stone Coloumn adalah salah satu metode perbaikan tanah yang masuk dalam kategori “*reinforcement*” atau perkuatan tanah yang mana menggunakan agregat berupa kerikil atau batu pecah untuk membuat kolom dengan diameter tertentu dan kedalaman tertentu di dalam lapisan tanah yang bertujuan meningkatkan daya dukung tanah dan mengurangi *settlement* baik di tanah kohesif maupun di pasir lepas. *Stone Coloumn* sangat efektif untuk perbaikan tanah pada area yang luas dan membutuhkan daya dukung yang cukup besar.

Metode dalam membuat *stone coloumn* menggunakan metode *vibro-replacement*, yaitu dengan cara memasukkan *probe* bergetar di dalam lapisan tanah sehingga akan membentuk rongga pada lapisan tanah sesuai kedalaman desain selanjutnya diisi dengan kerikil atau batu pecah dan dipadatkan dengan getaran. Sehingga terbentuk kolom di dalam lapisan tanah.

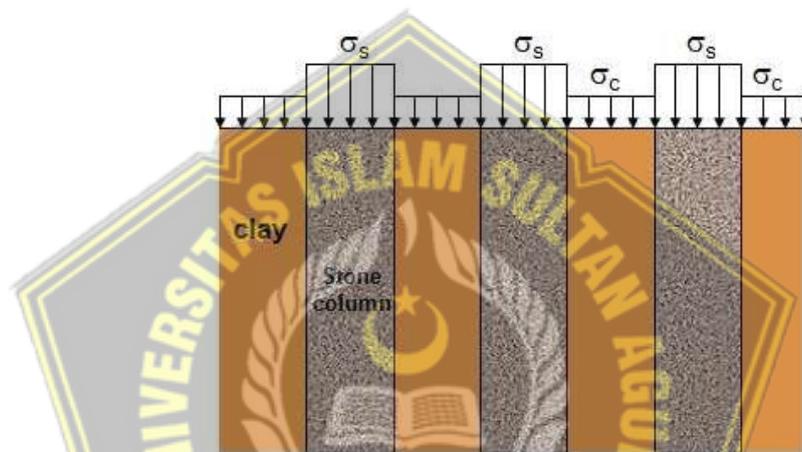
Kinerja *stone coloumn* ditentukan oleh diameter kolom, kedalaman kolom, sudut gesek agregat, dan jarak antar kolom serta propertis tanah di sekitarnya. Propertis tanah sekitar ini yang menjadikan *stone coloumn* masuk dalam kategori perbaikan tanah tipe "*reinforcement*", karena prinsip dasar *stone coloumn* adalah menaikkan daya dukung dan menurunkan settlement tanah yang diperbaiki. Sehingga sifatnya tidak berdiri sendiri seperti pondasi tiang melainkan kombinasi antar kedua-nya.

Teknik pelaksanaan *stone coloumn* yaitu memasukkan agregat ke dalam tanah jelek dengan cara di-getarkan sehingga akan terbentuk rongga yang terisi agregat padat dengan diameter tertentu. Diameter *stone coloumn* dipengaruhi oleh kapasitas probe vibro dan modulus tanah, semakin besar kapasitas probe, semakin besar diameter kolom yang bisa dibuat. Sama halnya dengan modulus tanah, semakin kecil modulus tanah, semakin mudah pula kolom dibuat.

Dengan adanya *stone coloumn*, distribusi tegangan akibat beban dapat tersalurkan melalui dua komponen, yaitu kolom agregat dan lapisan tanah di sekitar kolom. *Stone coloumn* berperilaku seperti elemen kaku untuk membawa tegangan geser yang lebih besar untuk mengurangi penurunan dan memperbaiki sifat deformabilitas serta tegangan pada tanah.

Pada umumnya, ada dua potensi kegagalan yang berlaku pada *stone coloumn* dan selanjutnya dijadikan kriteria desain dalam

perencanaan *stone coloumn*. Yaitu “*bulging failure*” dan “*punching failure*”. *Bulging Failure* ialah kegagalan yang diakibatkan terjadinya deformasi lateral pada kolom sehingga kolom menjadi mengembung atau bengkak. Pada umumnya, potensi terbesar terletak di lapisan tanah terluak dan pada kedalaman 2 – 3 kali diameter kolom. Yang kedua, “*punching failure*” yaitu kegagalan yang diakibatkan terjadinya pergeseran kolom secara vertikal ke bawah akibat tegangan geser antara sisi kolom dan sisi tanah yang bersinggungan dengan kolom.



Gambar 2.15. *Stone coloumn*

2.6 Prefabricated Horizontal Drainage

Kedalaman PVD juga dapat ditentukan menggunakan tabel konsistensi tanah kohesif pada Tabel 2.14. Tanah kohesif yang berkemampumampatan tinggi adalah tanah yang domain mengandung lanau (*silt*) dan lempung (*clay*) dengan konsistensi sangat lunak (*very soft*), lunak (*soft*) dan menengah (*medium*). Dalam praktek, biasanya ditentukan dengan nilai $N-SPT \leq 10$ atau $C_u \leq 40$ kPa.

Tabel 2.18. Konsistensi Tanah Kohesif

Konsistensi Tanah	Taksiran harga kekuatan geser undrained, C_u		Taksiran harga SPT, harga N
	kPa	ton/m ²	
Sangat lunak (very soft)	0 - 12,5	0 - 1,25	0 - 2,5
Lunak (soft)	12,5 - 25,0	1,25 - 2,5	2,5 - 5,0
Menengah (medium)	25,0 - 50,0	2,5 - 5,0	5,0 - 10,0
Kaku (stiff)	50,0 - 100,0	5,0 - 10,0	10,0 - 20,0
Sangat kaku (very stiff)	100,0 - 200,0	10,0 - 20,0	20,0 - 40,0
Keras (hard)	> 200,0	> 20,0	> 40,0

(Sumber : Mochtar, 2012)

2.7 Instrumen Pengukuran Penurunan Tanah

2.7.1 *Inclinometer*

Inclinometer termasuk instrumen monitoring geoteknik yang memiliki fungsi membaca pergerakan tanah (kemiringan tanah). Alat ini dipasangkan di dalam pipa *inclino* dengan Panjang lebih dari 20 meter. Pipa ini bersifat elastis, mampu melindungi instrument pada saat ditanam di tanah.



Gambar 2.16. *Inclinometer*

2.7.2 *Settlement Plate*

Settlement plate digunakan untuk memantau pergerakan vertikal tanah, yaitu perubahan vertikal yang terjadi, ke bawah maupun ke atas akibat perubahan tegangan dan regangan serta pemampatan di dalam lapisan tanah.



Gambar 2.17. *Settlement Plate*

2.7.3 Piezometer

Piezometer adalah alat yang dipakai untuk mengetahui nilai desakan air pori di kedalaman tertentu yang sekaligus bisa diperluas untuk mengetahui tinggi depan air tanah.



Gambar 2.18. *Piezometer*

2.8 Penurunan Tanah (*Settlement*) dan Konsolidasi

Dalam proses penahanan beban, tanah memiliki daya dukung yang bergantung dari jenis tanah yang ada. Apabila suatu lapisan tanah diberi penambahan beban, maka tanah akan mengalami penurunan (*settlement*). Penurunan ini disebabkan oleh berubahnya susunan tanah termasuk pengurangan air di dalam tanah yang menyebabkan perubahan pula pada rongga pori tanah. Pada tanah berpasir yang mudah ditembus air (*permeable*), air dapat mengalir dengan cepat sebagai akibat dari kenaikan tekanan air pori. Keluarnya air dari dalam pori selalu disertai dengan berkurangnya volume tanah, turunya volume tanah tersebut menjadi penyebab dari turunya lapisan tanah di atasnya. Karena air pori di dalam

tanah berpasir dapat mengalir ke luar dengan cepat, maka penurunan segera dan penurunan konsolidasi terjadi bersamaan.

Jika lapisan tanah lempung jenuh air yang dapat dikompres mengalami penambahan tegangan, maka penurunan (*settlement*) akan terjadi. Koefisien permeabiliti lempung sangat kecil jika dibandingkan dengan koefisien permeabiliti pasir sehingga penambahan tekanan air pori akibat pembebanan akan berkurang secara lambat laun dalam waktu yang lama. Jadi, untuk tanah lempung perubahan volume yang disebabkan oleh keluarnya air dari dalam pori (konsolidasi) akan terjadi setelah penurunan segera. Penurunan konsolidasi tersebut biasanya jauh lebih besar dan lebih lambat serta lama jika dibandingkan dengan penurunan segera.

Dalam ilmu geoteknik, penurunan tanah dikenal berdasarkan 3 jenis penurunan sebagai berikut :

1. Penurunan segera (*immediate settlement*)

Penurunan segera adalah penurunan yang ada seketika saat adanya beban. Pada tanah dengan kondisi jenuh air dan permeabiliti rendah, beban yang ada diterima seluruhnya oleh tegangan air pori. Sedangkan pada tanah dengan permeabiliti tinggi, tegangan air pori yang terjadi kemunculannya hanya sesaat karena tegangan air pori terdisipasi dengan segera. Perhitungan penurunan didasarkan pada hukum elastisitas material (contoh, hukum Hooke)

Proses penurunan segera terjadi ketika diberikan beban di atas yang menyebabkan tegangan pada tanah mengalami kenaikan sehingga tanah tertekan ke arah vertikal disertai Bergeraknya tanah ke arah lateral, maka terjadilah penurunan elevasi pada tanah dasar. Perubahan elastis pada tanah itanpa disertai dengan perubahan pada kadar air menjadi penyebab penurunan segera.

Beban timbunan dan besarnya modulus elastisitas kekakuan tanah memengaruhi besarnya penurunan elastisitas ini. Berikut persamaan untuk penurunan seketika :

$$S_i = \Delta\sigma B \frac{1-\nu^2}{E_s} I_p \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana :

- Si = Penurunan segera (m)
- $\Delta\sigma$ = Beban timbunan (kN/m^2)
- Es = Modulus elastisitas tanah (MPa)
- ν' = *Poisson's ratio*
- B = Lebar atau diameter timbunan (m)
- Ip = *Non-dimensional influence factor*

2. Penurunan konsolidasi/primer (*consolidation settlement*)

Penurunan konsolidasi adalah penurunan pada tanah kohesif yang diakibatkan terdisipasinya tegangan air berlebih dalam tanah, dan pada akhirnya akhirnya menyebabkan perubahan volume. Penurunan ini terjadi bersamaan dengan berlalunya waktu. Tegangan air pori yang berlebih ditransfer mengarah ke butiran tanah menjadi tegangan efektif ($\sigma' = \sigma - u$). ketika tegangan air pori berlebih = 0, konsolidasi berakhir dan tanah menjadi *drained*.

Penurunan konsolidasi primer terjadi pada saat aliran air pori dalam tanah atau selama masa konsolidasi terjadi akibat perubahan volume tanah. Dalam penurunan konsolidasi ini, keluarnya air pori mengakibatkan tegangan air pori secara terus – menerus diubah menjadi tegangan efektif. Pada tanah jenuh air, penambahan total tegangan akan diteruskan ke air pori dan partikel tanah. Hal ini mengakibatkan penambahan tegangan total ($\Delta\sigma$) akan terbagi menuju tegangan efektif dan tegangan air pori.

Dari prinsip tegangan efektif, dapat diambil korelasi sebagai berikut :

$$\Delta\sigma = \Delta\sigma' + \Delta u \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimanax:

- $\Delta\sigma'$ = Penambahan tegangan efektif
- Δu = Penambahan tegangan air pori

Karena tanah lempung memiliki sifat permeabiliti yang sangat kecil dan air tidak termampatkan dibandingkan dengan partikel tanah, maka pada saat $t = 0$ seluruh penambah tegangan ($\Delta\sigma$) akan ditahan oleh air ($\Delta u = \Delta\sigma$) pada kedalaman lapisan tanah. Penambahan tegangan ini

tidak ditahan oleh partikel tanah ($\Delta\sigma' = 0$). Setelah lapisan lempung mendapat tambahan tegangan ($\Delta\sigma$), air akan mengalir keluar karena tekanan yang diberikan air dalam rongga pori. Selama proses ini, tiap kedalaman lapisan lempung, air yang terkandung dalam pori mengalami tekanan yang menyebabkan lapisan lempung menurun secara perlahan, dan tegangan yang dibawa oleh partikel tanah meningkat.

Besaran nilai $\Delta\sigma'$ dan Δu berbeda pada setiap kedalaman, yang dipengaruhi oleh jarak minimum yang harus dicapai air pori saat mengalir keluar dari lapisan pasir di bawahnya serta di atas lapisan lempung. Kelebihan air pori pada lapisan lempung sudah hilang seluruhnya ketika $t = \infty$, jadi $\Delta u = 0$. Pada peristiwa ini tegangan total ($\Delta\sigma$) akan ditahan oleh partikel tanah (tegangan efektif $\Delta\sigma'$), sehingga $\Delta\sigma = \Delta\sigma'$.

Menurut riwayat pembebanan, terdapat tiga jenis tahap konsolidasi primer, antara lain :

- a. *Normally Consolidated*, dimana tegangan efektif *overburden* menjadi tegangan maksimum yang dialami oleh tanah. Tanah yang mengalami konsolidasi secara normal dapat dihitung dengan Persamaan 2.10:

$$S_c = \frac{C_c \cdot H}{1+e_0} \log \frac{P_{o'} + \Delta p}{P_o} \dots\dots\dots (2.10)$$

- b. *Over Consolidated*, dimana tegangan efektif *overburden* lebih kecil dibanding tegangan yang pernah diperoleh tanah sebelumnya. Tegangan efektif *overburden* maksimum yang pernah dialami sebelumnya dinamakan tegangan perkonsolidasi (*preconsolidation pressure/PC*). Berikut adalah Persamaan 2.11 untuk *over consolidated*

:

$$S_c = \frac{C_c \cdot H}{1+e_0} \log \frac{P_{c'}}{P_{o'}} + \frac{C_s \cdot H}{1+e_0} \log \frac{P_{o'} + \Delta p}{P_{o'}} \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana :

- S_c = Penurunan konsolidasi primer
- C_c = Indeks pemampatan
- C_s = Indeks pemuai/mengembang
- H = Tebal lapisan tanah

e_o = Angka pori

P_o' = Tekanan *overburden* efektif

P_c' = Tekanan perkonsolidasi

Δp = Distribusi tekanan

c. *Under Consolidated*, dimana tegangan efektif *overburden* dalam kondisi ini belum mencapai maksimal, sehingga proses konsolidasi masih berlangsung pada waktu sampel tanah diambil.

3. Penurunan rangkai/sekunder (*creep/secondary settlement*)

Konsolidasi sekunder juga dikenal dengan penurunan rangkai (*creep*) adalah pemampatan yang terjadi setelah hilangnya semua tekanan udara dan air dalam pori – pori tanah. Pemampatan ini terjadi karena perpindahan partikel yang bersifat plastis dalam tanah. Pemampatan ini membutuhkan waktu yang sangat lama akibat telah terdisipasinya tekanan air pori berlebih, juga tegangan efektif tanah yang tidak mengalami perubahan. Penurunan konsolidasi skunder dapat dihitung dengan Persamaan 2.12 sebagai berikut.

$$S_c = H \cdot C'_a \cdot \log \frac{t_2}{t_1} \dots \dots \dots (2.12)$$

$$C'_a = \frac{C_a}{1+e_p} \dots \dots \dots (2.13)$$

Dimana :

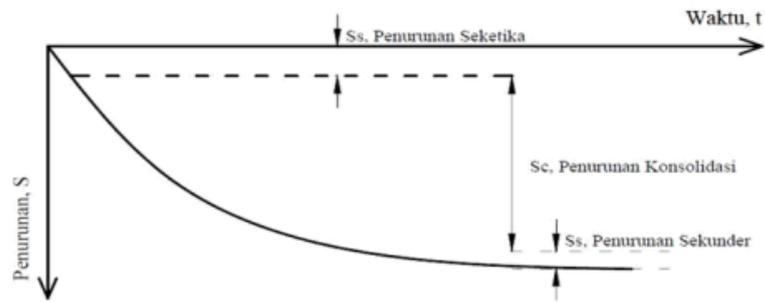
S_s = Penurunan konsolidasi sekunder

H = Tebal lapisan tanah

C_a = indeks pemampatan

$t_1 = t_2$ = Waktu saat konsolidasi primer selesai

Pada saat penurunan konsolidasi selesai, terjadilah penurunan konsolidasi sekunder ketika tegangan air pori berlebih ($u = 0$). Gambar 2.19 di bawah ini adalah tahapan penurunan tanah :



Gambar 2.19. Tahapan Penurunan Tanah (*Ground Settlement*)

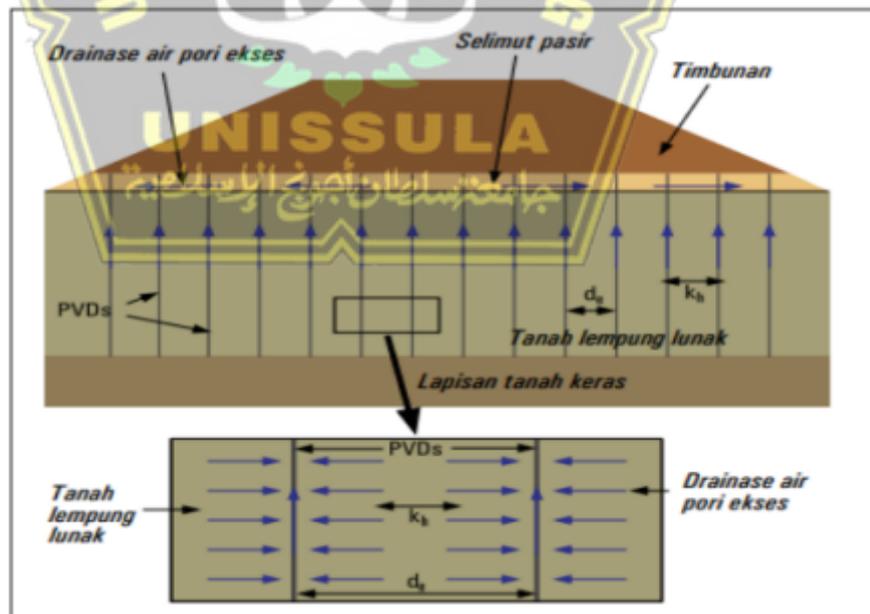
(Das, 1995)

Besarnya penurunan total yang terjadi pada tanah dapat dilihat pada Persamaan 2.14 berikut :

$$S = S_i + S_c + S_s \dots\dots\dots (2.14)$$

Dimana :

- S = Penurunan total (m)
- S_i = Penurunan seketika (m)
- S_c = Penurunan konsolidasi primer (m)
- S_s = Penurunan konsolidasi sekunder (m)



Gambar 2.20. Konsolidasi Tanah Lunak dengan PVD

(Manihuruk, 2019)

2.8.1 Parameter Perhitungan Penurunan Konsolidasi

Penurunan pada tanah asli karena adanya beban timbunan di atasnya dapat dianalisa dengan rumus konsolidasi menurut *Terzaghi* menggunakan beberapa parameter perhitungan antara lain :

A. Koefisien Konsolidasi

1) Koefisien Konsolidasi Arah Vertikal (C_v)

Koefisien konsolidasi arah vertikal (C_v) berfungsi untuk menentukan kecepatan aliran air secara vertikal di dalam tanah. Konsolidasi umum dikenal terjadi pada satu arah, yaitu arah vertikal, sehingga laju terjadinya kecepatan konsolidasi bergantung pada koefisien konsolidasi. Nilai C_v dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.15 sebagai berikut.

$$C_v = \frac{T_v \cdot H^2}{t} \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana :

C_v = Koefisien konsolidasi vertikal (cm^2 /detik)

T_v = Faktor waktu, tergantung pada derajat konsolidasi akibat pengaliran arah vertikal (detik)

H = Panjang aliran yang harus ditempuh oleh air pori selama proses konsolidasi (cm)

t = Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi (detik)

2) Koefisien Konsolidasi Arah Horizontal (C_H)

Dikutip dari jurnal “*Aspects on the modelling of Smear Zone around Vertical Drain*” oleh *Muller* dan *Larsson*, nilai konsolidasi untuk material tanah jenis lempung homogen adalah sebagai berikut.

$$C_H = (1 \text{ s/d } 2) C_v \dots\dots\dots (2.16)$$

Dimana :

C_H = Koefisien konsolidasi horizontal (cm^2 / detik)

3) Koefisien Konsolidasi Arah Vertikal Gabungan

Nilai koefisien konsolidasi vertikal (C_v) dapat dianalisa dengan interpolasi linier berdasarkan nilai di Tabel 2.19 berikut :

Tabel 2.19 Korelasi Parameter Tanah (Biarezzi dan Favre)

Sifat Tanah		γ_{sat}		e	n	Wsat	γ_{sat}	K			Cv		gamma		mv+I/E	
		g/cm3	lb cb ft					cm/s	ft/year	lugeon	cm2/s	ft^2/year	bars	psi	cm2/kg	ft2/ton
Silt, Clay	Junak	0.5	31.25	4.4	0.8	163	1.31	1E-09	0.001	0.0001	0.00001		0.01	0.142	100	97.6
		0.6	37.5	3.5	0.78	129.6	1.38						0.05	0.71	20	19.52
		0.7	43.75	2.86	0.74	105.8	1.44	1E-08	0.0103	0.001	0.0001	3.4				
		0.8	50	2.38	0.7	88	1.5				0.0002	6.8	0.1	1.42	10	9.76
		0.9	56.25	2	0.67	74.1	1.57	1E-07	0.0103	0.01	0.0003	10.1	0.5	7.05	2	1.952
											0.0004	11.1	1	14.2	1	0.976
	rata-rata	1	62.5	1.7	0.63	63	1.63	1E-06	1.03	0.1	0.0005	16.9	2	28.4	0.5	0.488
		1.1	68.75	1.45	1.45	53.9	1.69	2E-06	2.06		0.0006	20.3	3	42.6	0.33	0.32208
		1.2	75	1.25	1.25	46.3	1.76	3E-06	3.1		0.0007	23.6	4	56.8	0.25	0.244
		1.3	81.25	1.08	1.08	39.9	1.82	4E-06	4.13		0.0008	27	5	71	0.2	0.1952
Gravel, Sand		1.4	87.5	0.93	0.93	34.4	1.88	5E-06	5.17		0.0009	30.4	6	85.2	0.17	0.16592
	sand	1.5	93.75	0.8	0.8	29.6	1.94	6E-06	6.2		0.001	338	7	99.4	0.14	0.13664
		1.6	100	0.69	0.69	25.5	2.04	7E-06	7.24				8	113.6	0.12	0.11712
		1.7	106.25	0.59	0.59	21.8	2.07	8E-06	8.26				9	127.8	0.11	0.10736
		1.8	112.5	0.5	0.5	18.5	2.13	9E-06	9.3		0.01	3380	10	142	0.1	0.0976
		1.9	118.75	0.42	0.42	15.6	2.2	0.00001	10.33	1			11	156.2	0.091	0.08882
								0.0001	103	10	0.1	338000	12	170.4	0.083	0.08101
	gravel	2	125	0.35	0.35	13	2.26	0.001	1030	100			13	184.6	0.077	0.07515
		2.1	131.25	0.29	0.29	10.6	2.32	0.01	10300	1000			14	198.8	0.073	0.07125
		2.2	137.5	0.23	0.23	8.4	2.39	0.1	103000	10000			15	213	0.064	0.06246
	2.3	143.75	0.17	0.17	6.4	2.45						20	284	0.05	0.0488	
	2.4	150	0.13	0.13	4.63	2.51						50	710	0.02	0.01952	
	2.5	156.25	0.08	0.08	2.96	2.57						100	1420	0.01	0.00976	
	2.6	162.5	0.038	0.038	1.42	2.64						500	7100	0.002	0.00195	
	2.7	168.75	0	0	0	2.7						1000	14200	0.001	0.00098	

(Sumber : Faizal, 2017)

Untuk tanah dengan lapisan dan kedalaman berbeda, nilai Cv gabungan dapat dianalisa menggunakan rumus berikut.

$$Cv \text{ gabungan} = \frac{(H_1+H_2+\dots+H_n)^2}{\left(\frac{H_1}{\sqrt{Cv_1}} + \frac{H_2}{\sqrt{Cv_2}} + \dots + \frac{H_n}{\sqrt{Cv_n}}\right)^2} \dots\dots\dots (2.17)$$

Dimana :

H₁ = Kedalaman lapisan ke-1

H_n = Kedalaman lapisan ke-n (cm)

Cv_n = Nilai Cv pada lapisan ke-n (cm² /detik)

B. Indeks Pemuaihan (Cs)

Indeks pemuaihan memiliki nilai lebih kecil dibanding indeks pemampatan dengan nilai yang ditentukan di laboratorium menggunakan ketentuan di bawah ini.

$$Cs = 1/5 \text{ sampai } 1/10 Cc \dots\dots\dots (2.18)$$

Dimana :

Cs = Indeks pemuaihan

Cc = Indeks pemampatan

C. Indeks Pemampatan (Cc)

Indeks pemampatan berfungsi untuk menghitung nilai penurunan aktual akibat dari konsolidasi. Hal ini dapat diketahui dari kurva yang menunjukkan hubungan antara angka pori dan tekanan yang didapat melalui uji konsolidasi yang dilakukan di laboratorium.

Menurut penelitian *Holtz* dan *Kovacs* pada tahun 1981, besarnya indeks pemampatan berbagai jenis tanah lempung dengan klasifikasi menurut *Unified Soil Classification (USC)* dapat dilihat pada Tabel 2.20 dibawah ini.

Tabel 2.20. Nilai Indeks Pemampatan (Cc) Berbagai Jenis Tanah Lempung

Jenis Tanah	Indeks Pemampatan (Cc)
Normally consolidated medium sensitive clays	0,2 - 0,5
Chicago silt clay (CL)	0,1 - 0,3
Boston blue clay (CL)	0,3 - 0,5
Swedish medium, sensitive clays (CLi - i CH)	1 - 3
Canadian leds clay (Cli - i CH)	1 - 4
Mexico city clay (MH)	7 - 10
Organic clays (OH)	> 4
Peats (Pt)	10 - 15
Organics silt and clayey silts (ML - MH)	1,5 - 4
San Fransisco bay mud (CL)	0,4 - 1,2
San Fransisco old bay clays (CH)	0,7 - 0,9
Bangkok clay (CH)	0,4

(Sumber : Kovacs, 1981)

Sedangkan tanah lempung *undisturbed* dan *remolded*, *Terzaghi* dan *Peck* (1967) menganjurkan untuk menggunakan rumus yang ditunjukkan pada Persamaan 2.19 dan Persamaan 2.20 sebagai berikut.

$$Cc = 0,009 (LL - 10) \dots\dots\dots (2.19)$$

$$Cc = 0,007 (LL - 10) \dots\dots\dots (2.20)$$

Dimana :

Cc = Indeks pemampatan

LL = Batas cair (%)

D. Tekanan *Overburden* Efektif (P_o')

Tekanan *overburden* efektif adalah tekanan efektif vertikal yang dimiliki tanah asli akibat beban atau lapisan tanah di atas titik tanah asli yang ditinjau (Winner, 2017). Tekanan *overburden* efektif dapat dianalisa menurut Persamaan 2.21 berikut ini.

$$P_o' = \gamma' \cdot H \dots\dots\dots (2.21)$$

Dimana :

P_o' = Tekanan *overburden* efektif

γ' = Berat volume tanah efektif ($\gamma_{sat} - \gamma_w$) (gr/m³)

H = Tebal lapisan tanah yang terkonsolidasi (m)

E. Distribusi Tegangan Tanah (Δp)

Winner (2017) menyatakan bahwa penyebaran tegangan tanah adalah tegangan tambahan yang disebabkan oleh pengaruh beban timbunan di atas tanah. Distribusi tegangan tanah dapat diketahui menggunakan persamaan di bawah ini :

$$\Delta p = q_0 \cdot I \dots\dots\dots (2.22)$$

Dengan :

$$q_0 = \gamma_{Timbunan} \cdot H_{Preloading} \dots\dots\dots (2.23)$$

$$I = \frac{(a+b)}{a} (a_1 + a_2) - \frac{b}{a} (a_2) \dots\dots\dots (2.24)$$

Dimana :

Δp = Penyebaran tegangan

q_0 = Beban ekuivalen

$\gamma_{Timbunan}$ = Berat volume tanah timbunan (gr/m³)

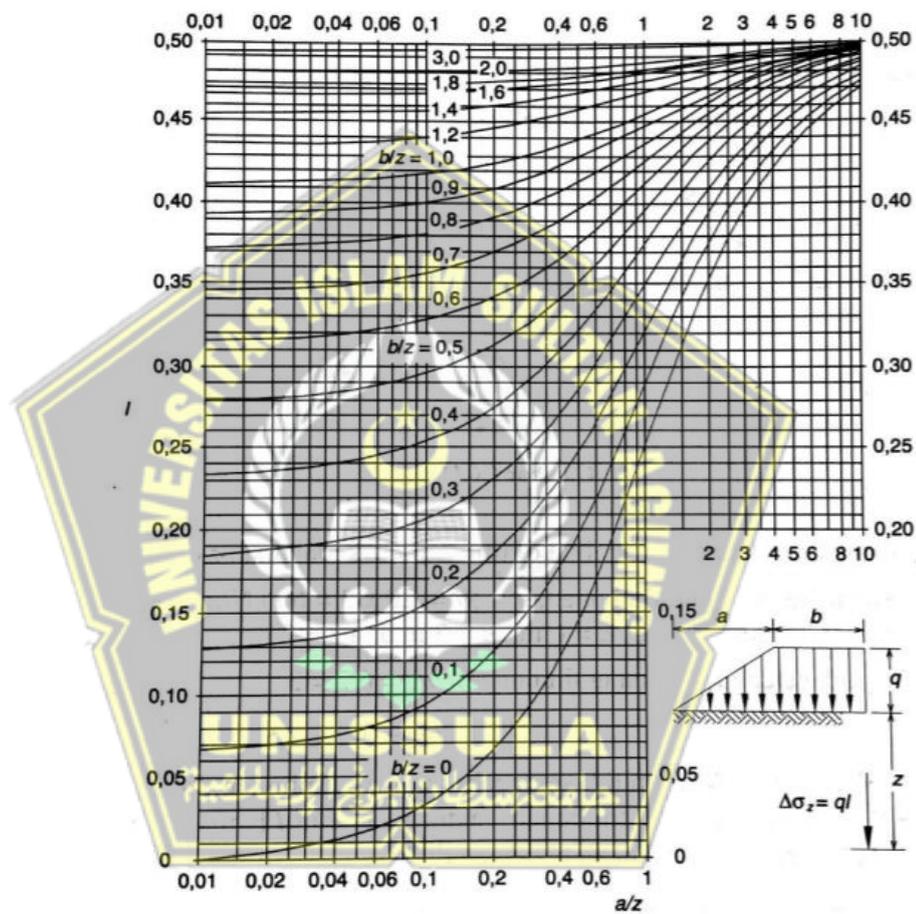
$H_{Preloading}$ = Tinggi timbunan *preloading* (m)

I = Faktor pengaruh

a = Panjang horizontal kemiringan timbunan (m)

- b = Lebar setengah timbunan (m)
 a_1 = $[\tan^{-1} \{(a+b)/z\} - \tan^{-1} (b/z)]$
 a_2 = $[\tan^{-1} (b/z)]$

Dalam menentukan nilai I juga dapat dilihat dengan menggunakan grafik Osterberg (1957) pada Gambar 2.21 berikut :



Gambar 2.21. Faktor Pengaruh Akibat Beban Timbunan (Osterberg, 1957) dalam (Hadiyatmo, 2002)

F. Faktor Waktu

1) Faktor Waktu Konsolidasi Arah Vertikal (T_v)

Aliran yang terjadi pada tanah yang tidak dikonsolidasi menggunakan PVD hanya akan mengalir pada arah vertikal saja. Faktor waktu konsolidasi yang terjadi di lapangan dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.25 sebagai berikut.

$$T_v = \frac{c_v \times t}{H^2} \dots\dots\dots (2.25)$$

Dimana :

T_v = Faktor waktu, tergantung dari derajat konsolidasi (U)

H = Panjang maksimum lintasan drainase (cm)

c_v = Koefisien konsolidasi (cm^2/detik)

t = Waktu konsolidasi (detik)

2) Faktor Waktu Konsolidasi Arah Horizontal (T_h)

Konsolidasi horizontal akan terjadi ketika melibatkan drainase terhadap suatu sumber pusat, seperti pada suatu PVD yang digunakan di bawah timbunan untuk mempercepat drainase air pori dengan mengurangi jarak drainase dan dengan kemudian mempersingkat waktu konsolidasi. Faktor waktu konsolidasi arah horizontal dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.26.

$$T_h = \frac{c_h \times t}{d_e^2} \dots\dots\dots (2.26)$$

Dimana :

T_h = Faktor waktu arah radial, tergantung dari derajat konsolidasi

c_h = Koefisien konsolidasi arah vertikal

d_e = Diameter jangkauan PVD (1,05s untuk konfigurasi segitiga dan 1,13s untuk konfigurasi segi empat)

t = Waktu ke-n

G. Kecepatan Waktu Konsolidasi (t)

Laju waktu penurunan merupakan parameter dalam memperkirakan penurunan konsolidasi. Panjang aliran yang dilewati air pori untuk terdisipasi berpengaruh pada kecepatan waktu penurunan. Menurut *Terzaghi* (1943) kecepatan waktu konsolidasi dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.27 sebagai berikut.

$$t = \frac{T_v \times H_{dr}^2}{c_v} \dots\dots\dots (2.27)$$

Dimana :

t = Waktu konsolidasi (tahun)

H_{dr} = Jarak air pori (m)

T_v = Faktor waktu

C_v = Koefisien konsolidasi (m²/tahun)

Tanah lunak stabilisasi dengan PVD memiliki waktu penurunan yang lebih singkat. Lama waktu penurunan menggunakan *vertical drain* dapat dianalisa menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$T_c = \frac{t_h \times D^2}{c_h} \dots\dots\dots (2.28)$$

Dimana :

T_h = Faktor waktu untuk drainase arah radial

D = Diameter zona pengaruh satu drain

C_h = Koefisien konsolidasi dengan drainase arah radial

T_c = Waktu konsolidasi dengan PVD

H. Derajat Konsolidasi

1) Derajat Konsolidasi Arah Vertikal (U_v)

Analisa konsolidasi satu dimensi (1-D) *Terzaghi* untuk mendapatkan nilai U_v dapat dihitung dengan rumus di bawah ini :

Untuk $U_v < 60\%$, maka U_v adalah :

$$U_v = \frac{\sqrt{\frac{n \cdot 4Tv}{\pi}}}{(1 + (\frac{4Tv}{\pi})^{2,8})^{0,1790}} \dots\dots\dots(2.29)$$

Untuk $U_v > 60\%$, maka U_v adalah :

$$U_v = 1 - \frac{8}{\pi^2} \sum_m^{\infty} = 0 \frac{1,0}{(2m+1)^2} \text{Exp} - [\frac{\pi^2(2m+1)^2}{4}]Tv \dots\dots\dots(2.30)$$

Dimana :

U_v = Derajat konsolidasi arah vertical

T_v = Faktor waktu, tergantung pada derajat konsolidasi arah vertical

m = Bilangan interger = 0

Exp = Bilangan eksponen = 2,7182818

2) Derajat Konsolidasi Arah Horizontal (U_H)

Analisa derajat konsolidasi arah horizontal (U_H) dapat dihitung dengan menggunakan metode “*equal strain consolidation*” sebagai berikut :

$$U_H = 1 - \frac{u_{av}}{u_i} = 1 - \text{Exp} (\frac{-8Th}{F(n)}) \dots\dots\dots(2.31)$$

Dimana :

U_H = Derajat konsolidasi arah radial

T_h = Faktor waktu radial

$F(n)$ = Faktor hambatan

Nilai faktor hambatan akibat jarak PVD dengan menggunakan Persamaan 2.32 sebagai berikut.

$$F(n) = \ln\left(\frac{De}{Dw}\right) - \frac{3}{4} \dots\dots\dots (2.32)$$

De = Diameter jangkauan PVD

Dw = Diameter ekivalen PVD

$$Dw = \frac{2(a+b)}{\pi} \dots\dots\dots (2.33)$$

a = Lebar PVD

b = Tebal PVD

3) Derajat Konsolidasi Rata – Rata (U)

Derajat konsolidasi tanah (U) adalah perbandingan waktu penurunan tanah terhadap penurunan total. Menurut *Carillo* (1942), persamaan derajat konsolidasi pada tanah stabilisasi menggunakan metode PVD adalah sebagai berikut :

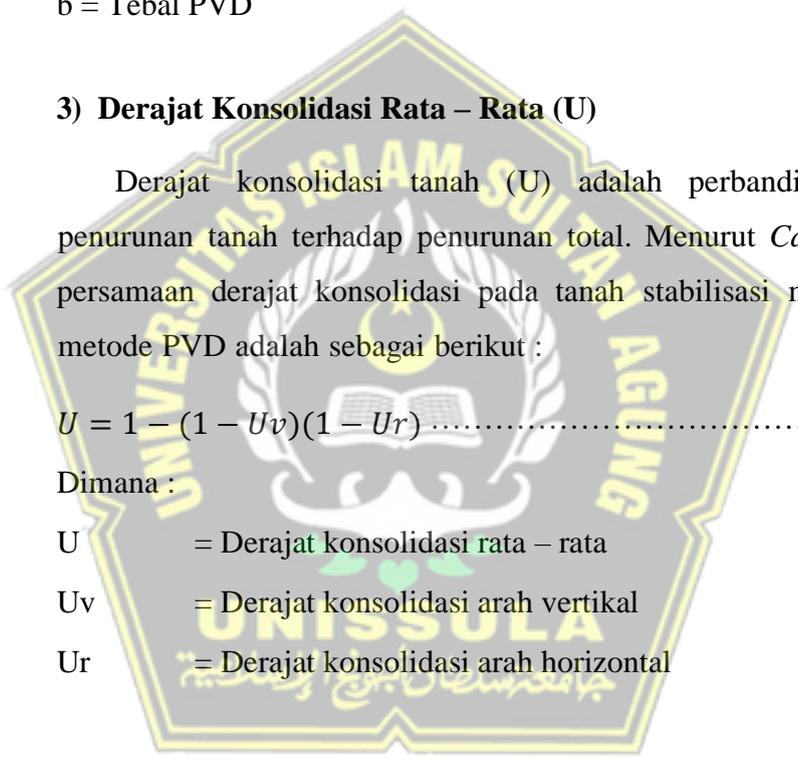
$$U = 1 - (1 - Uv)(1 - Ur) \dots\dots\dots (2.34)$$

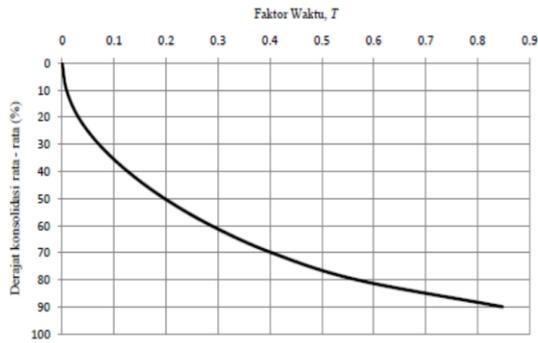
Dimana :

U = Derajat konsolidasi rata – rata

Uv = Derajat konsolidasi arah vertikal

Ur = Derajat konsolidasi arah horizontal





Gambar 2.22 Variasi Derajat Konsolidasi Rata – Rata Terhadap Faktor Waktu (Das, 1993)

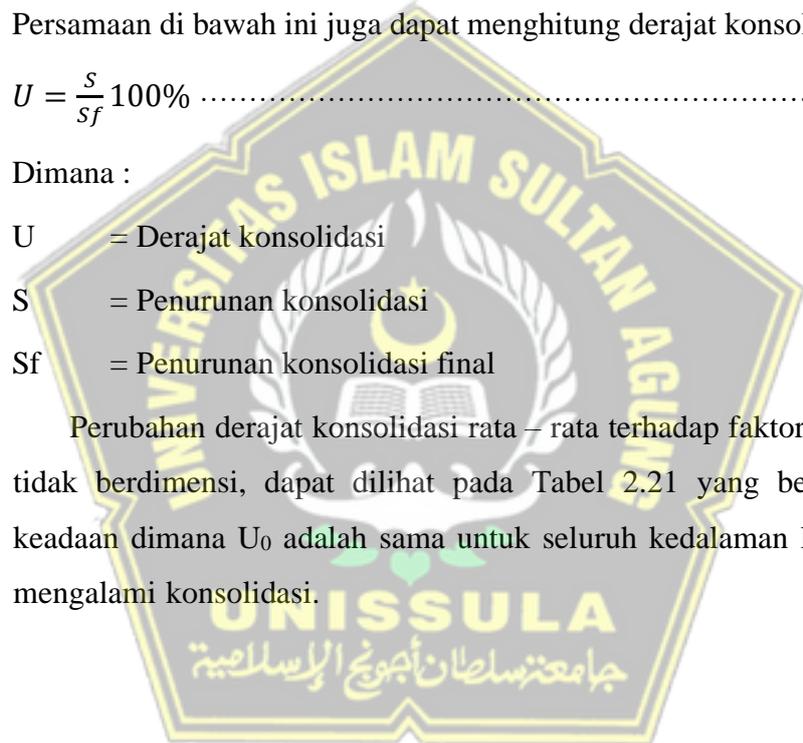
Persamaan di bawah ini juga dapat menghitung derajat konsolidasi

$$U = \frac{S}{S_f} 100\% \dots\dots\dots (2.35)$$

Dimana :

- U = Derajat konsolidasi
- S = Penurunan konsolidasi
- S_f = Penurunan konsolidasi final

Perubahan derajat konsolidasi rata – rata terhadap faktor waktu yang tidak berdimensi, dapat dilihat pada Tabel 2.21 yang berlaku untuk keadaan dimana U₀ adalah sama untuk seluruh kedalaman lapisan yang mengalami konsolidasi.



Tabel 2.21 Perubahan Faktor Waktu Terhadap Derajat Konsolidasi

$U_{av}\%$	T_v
0	0
10	0,008
20	0,0314
30	0,0707
40	0,126
50	0,196
55	0,239
60	0,286
65	0,304
70	0,403
75	0,477
80	0,567
85	0,684
90	0,848
95	1,129
100	∞

(Sumber : Das, 1993)

2.9 Stabilisasi Tanah

Sebagai salah satu pendukung konstruksi agar tetap aman, tanah sebagai penahan beban haruslah memiliki daya dukung yang baik untuk menahan beban dari konstruksi. Namun tidak semua tanah memiliki daya dukung yang cukup untuk sebuah konstruksi, maka dari itu diadakanlah sebuah usaha untuk memperkuat tanah yaitu stabilisasi tanah. Stabilisasi tanah adalah proses untuk memperbaiki sifat – sifat tanah dengan menambahkan atau memodifikasi struktur lapisan tanah agar daya dukung tanah semakin tinggi, mempertahankan kekuatan geser, dan mengurangi terjadinya deformasi tanah. Secara umum stabilisasi tanah dilakukan untuk:

- Meningkatkan kerapatan tanah,
- Meningkatkan daya dukung dan kuat geser,
- Menambah material yang tidak aktif sehingga meningkatkan kohesi dan tahanan gesek yang terjadi,
- Menambah bahan untuk menyebabkan perubahan – perubahan kimiawi atau fisik pada tanah,
- Mengontrol stabilitas volume (*shrinking and swelling*),

f. Mengurangi kerentanan terhadap liquifasi.

Stabilisasi tanah dapat terdiri dari salah satu kombinasi dari pekerjaan berikut (*Ingel and Metcalf, 1977*) :

- a. Stabilisasi mekanik
- b. Stabilisasi fisik
- c. Stabilisasi kimiawi

Pada kasus ini, usaha stabilisasi tanah yang digunakan adalah stabilisasi secara mekanis dengan menggunakan kombinasi *Prefabricated Vertical and Horizontal Drain* (PVD & PHD).



BAB III

METODOLOGI

3.1 Tinjauan Umum

Pada penyusunan tugas akhir ini, pokok bahasan yang akan diteliti adalah penggunaan PVD yang merupakan bahan gosintetis yang digunakan di Jalan Tol Semarang - Demak sebelum pelaksanaan proses konstruksi dimulai.

Didalam pelaksanaan kegiatan penelitian harus sudah menentukan metode apa yang akan dipakai karena menyangkut langkah-langkah yang harus dilakukan untuk mengarahkan ke pokok bahasan dan sebagai pedoman penyusunan laporan. Berdasarkan hal tersebut, maka langkah-langkah dalam rangkaian kegiatan studi analisis perhitungan penggunaan *vertical drains* yang dilakukan di Jalan Tol Semarang - Demak ini, disajikan dalam bagan alir (*flow chart*) seperti dibawah ini.

3.2 Studi Literatur

Sumber pustaka atau sumber *literature* bias didapatkan dari beberapa diktat, makalah, jurnal, pedoman peraturan-peraturan, buku panduan, maupun sumber referensi bacaan lain untuk memperoleh landasan teori dan informasi nomor yang diperlukan untuk memahami mekanisme tanah tak jenuh, dan metode perbaikan tanah. terutama yang berkaitan dengan metode penggunaan PVD, serta penelitian-penelitian sebelumnya yang membahas tentang model penjadwalan pada Plaxis.



Gambar 3.1. Flow chart penelitian Tahapan pada Plaxis

3.3 Teknik Pengumpulan Data

Penelitian ini dimulai dengan pengumpulan beberapa data yang diperlukan termasuk segala jenis data yang menunjang proses penelitian, untuk diolah sesuai teori sehingga tujuan dari penelitian ini dapat tercapai. Beberapa data yang didapatkan merupakan data sekunder, diantaranya seperti dibawah ini :

1. Masterplan Proyek

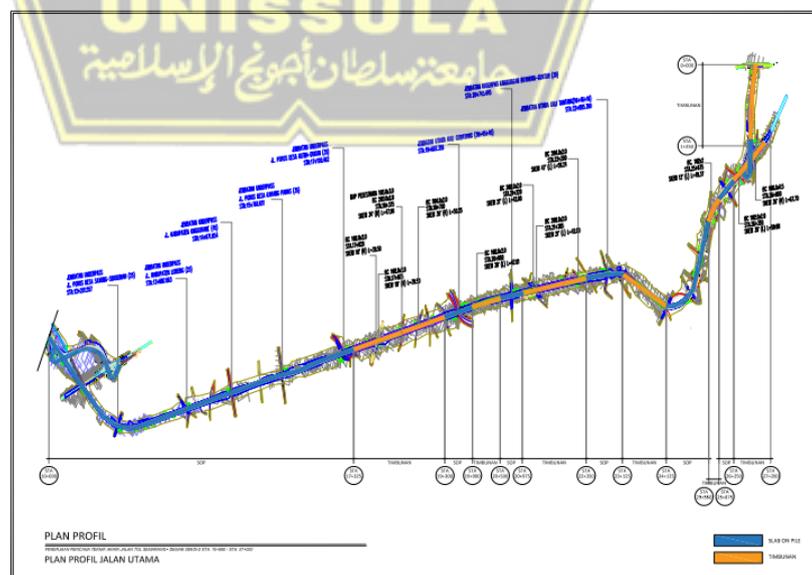
Masterplan menggambarkan denah rencana jalan tol dari Kota Semarang sampai akhir jalan tol di Demak, Jawa Tengah.



Gambar 3.2 Masterplan Proyek Jalan Tol Semarang – Demak

2. Plan Profil Proyek

Masterplan menggambarkan detail timbunan dan jembatan rencana jalan tol dari Kota Semarang sampai akhir jalan tol di Demak, Jawa Tengah.



Gambar 3.3. Plan Profil Proyek Jalan Tol Semarang – Demak

3. Evaluasi dan Analisa Parameter Tanah Dasar

Evaluasi dan analisa parameter tanah dilaksanakan menurut data-data tanah dasar yang didapatkan dari lapangan dan juga pengujian. Data tanah dasar yang didapat dari lapangan dan data – data yang diperoleh dari hasil penelitian yang dilakukan di laboratorium yaitu seperti berikut :

- a. Sondir
- b. Bor log
- c. *Settlement plate*
- d. *Inclinometer*
- e. *Piezometer*

4. Data Timbunan

Metode timbunan ini adalah salah satu metode untuk dapat mempercepat proses konsolidasi tanah di proyek, sebab tanah akan mengeluarkan air pori akibat dari tekanan yang diberikan oleh preloading pada Gambar 3.5 seperti berikut ini.



Gambar 3.4. Contoh Metode Pemasangan *Prefabricated Vertical Drain System*

5. Bacaan *Settlement Plate*

Data - data tanah yang didapatkan dikelompokkan sesuai kedalaman sehingga dapat dilakukan evaluasi dan analisa parameter tanah dasar sebagai berikut:

- a Dari data sondir dan data *bor log*, tanah dasar di lapangan di-plot menjadi beberapa lapisan sesuai kekerasannya.
 - b Data timbunan yang diperoleh, meliputi sifat fisik timbunan, dimensi timbunan dan jadwal penimbunan material tanah.
 - c Dari data parameter tanah lainnya dapat dianalisa pada masing - masing lapisan tanah.
 - d Data pemasangan dan material PVD diperoleh berupa pola pemasangan PVD, jarak antar PVD, serta kedalaman pemasangan PVD.
 - e Penurunan tanah dipantau dengan sistem PVD menggunakan instrumen geoteknik.
6. Analisa Data

Data yang diperoleh adalah jenis tanah lunak yang akan dianalisis dengan analisis reklamasi tanah untuk mendapatkan daya dukung tanah, serta besarnya konsolidasi tanah yang akan terjadi. Dalam hal ini, operasi reklamasi tanah dilakukan sesuai dengan opsi yang ada, dan kemudian diperlakukan sedemikian rupa sehingga reklamasi tanah paling efisien dan ekonomis.

3.4 Tahapan Plaxis

Plaxis adalah program aplikasi komputer yang dapat menghitung konsolidasi menggunakan dasar teori konsolidasi biot. Program ini melaksanakan perhitungan berdasarkan metode elemen hingga yang khusus digunakan untuk melakukan analisis regangan dan stabilitas untuk berbagai aplikasi geoteknik. Kondisi aktual dapat dimodelkan dalam regangan datar atau asimetris. Program ini mengadopsi metode antarmuka grafis yang mudah digunakan sehingga *user* dapat dengan cepat dan efisien membuat model geometris dan mesh berdasarkan dari penampang melintang kondisi yang akan direncanakan atau dianalisis. Program ini terdiri atas empat subprogram yaitu input, kalkulasi, output dan kurva.

Kondisi di lapangan yang disimulasikan ke dalam program Plaxis ini bertujuan untuk mengimplementasikan tahapan pelaksanaan di lapangan ke

dalam tahapan pengerjaan pada program, dengan harapan pelaksanaan di lapangan dapat didekati sedekat mungkin pada program, sehingga respon yang dihasilkan dari program dapat diasumsikan sebagai cerminan dari kondisi yang sebenarnya terjadi di lapangan dengan tahapan sebagai berikut.

Step 1 : Plaxis → *New file* → *Input data*

Step 2 : Pembentukan mesh secara keseluruhan meliputi *mesh* lapisan tanah asli, *vertical drain*, dan timbunan,

Step 3 : Pendefinisian dan input parameter, meliputi parameter tanah, *vertical drain*, dan timbunan,

Step 4 : Initial condition (menyatakan kondisi asli tanah per lapis dan tinggi muka air tanah,

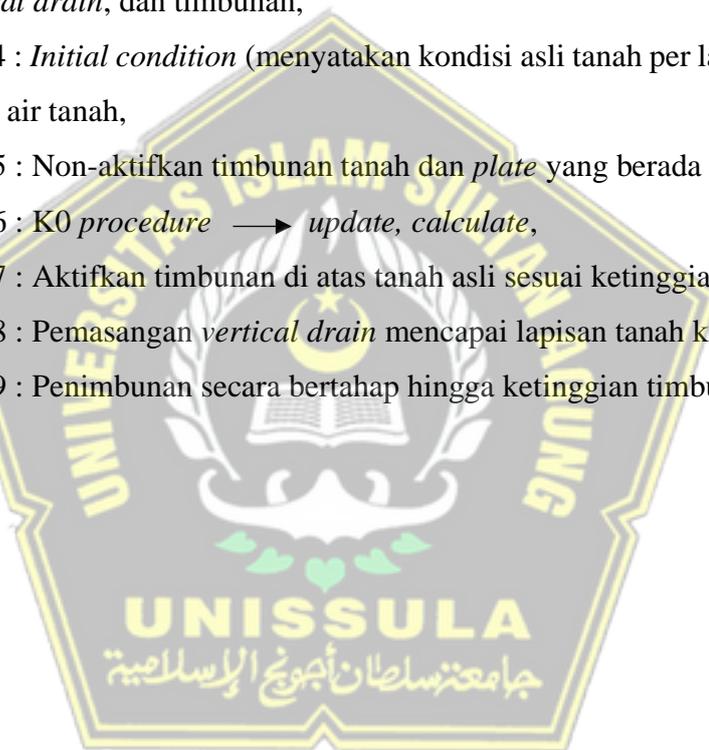
Step 5 : Non-aktifkan timbunan tanah dan plate yang berada di tanah asli

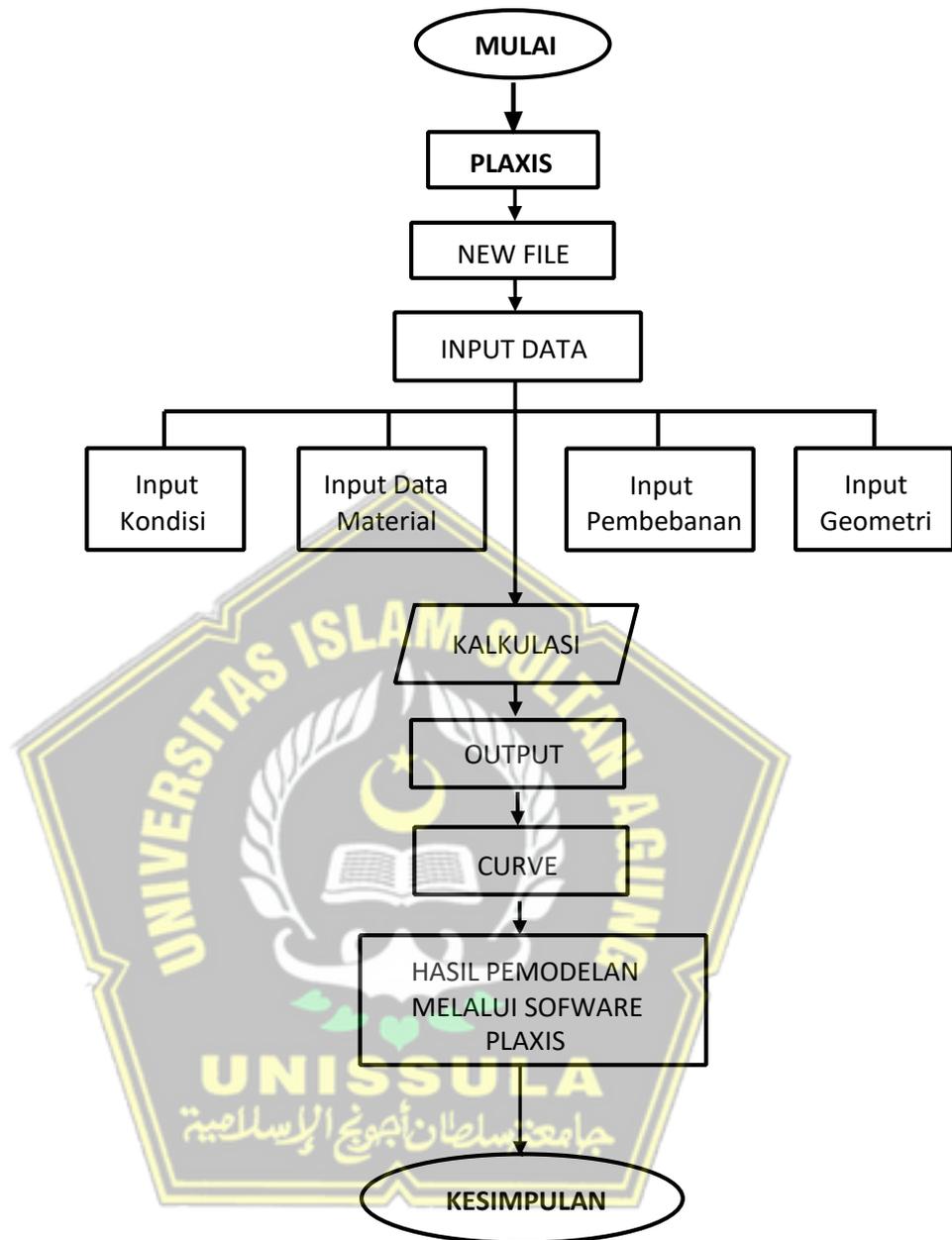
Step 6 : K0 procedure → *update, calculate*,

Step 7 : Aktifkan timbunan di atas tanah asli sesuai ketinggian timbunan,

Step 8 : Pemasangan vertical drain mencapai lapisan tanah kohesif lunak,

Step 9 : Penimbunan secara bertahap hingga ketinggian timbunan



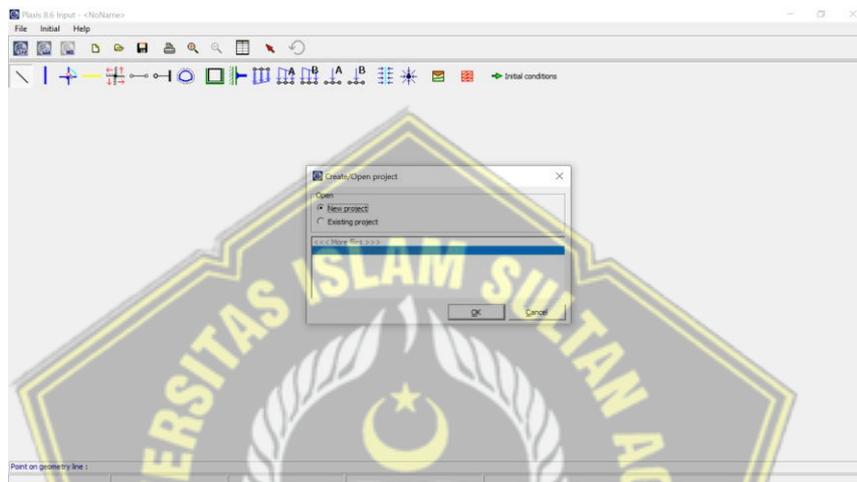


Gambar 3.5. Bagan Tahapan pada Plaxis

Langkah – langkah proses kalkulasi pada Program Plaxis 8.6 adalah sebagai berikut :

1. Klik *New Project*.

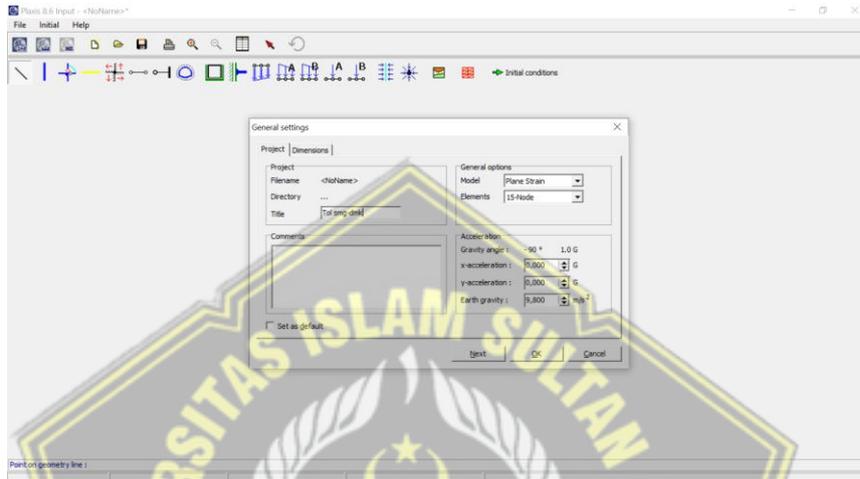
Berikut ini adalah halaman awal aplikasi plaxis saat pertama kali aplikasi terbuka. Klik New Project untuk membuat proyek baru dalam aplikasi plaxis.



Gambar 3.6 Halaman Awal Plaxis

2. Masukkan judul plaxis.

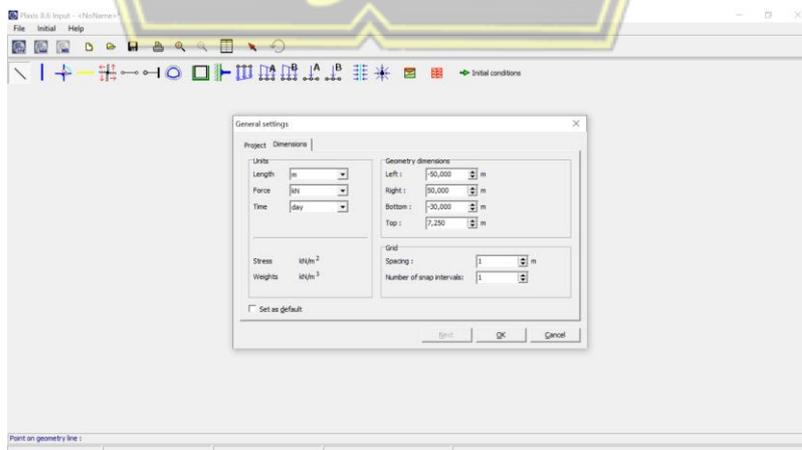
Setelah klik New Project , maka akan muncul halaman seperti di bawah ini. Halaman ini adalah untuk memasukkan judul proyek dalam aplikasi plaxis dan juga memudahkan kita untuk membuka kembali proyek yang sudah dikerjakan sebelumnya dan akan dilanjutkan atau diubah kembali.



Gambar 3.7 Dimensi Plaxis

3. Masukkan parameter dan dimensi yang sesuai.

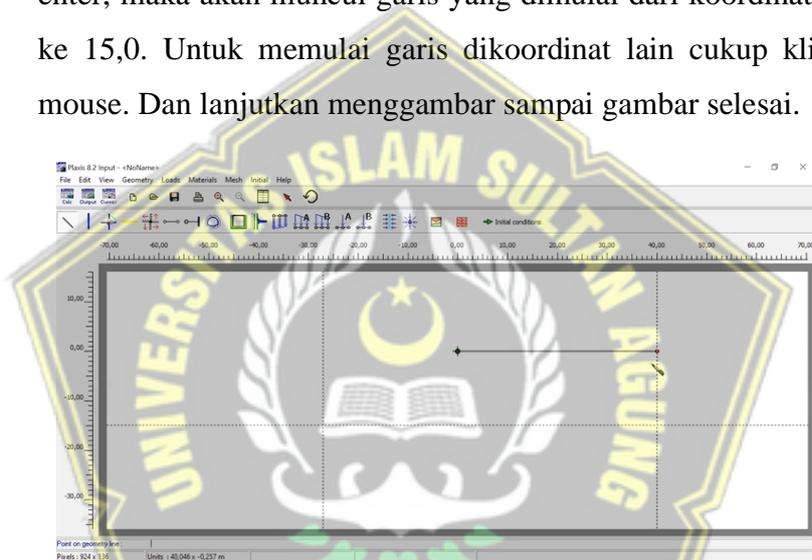
Pada halaman dibawah ini muncul satuan dan juga dimensi yang akan digunakan. Pilihlah dimensi dan satuan yang sesuai yang akan digunakan di dalam perhitungan gambar proyek pada plaxis, agar memudahkan perhitungan.



Gambar 3.8 Satuan Plaxis

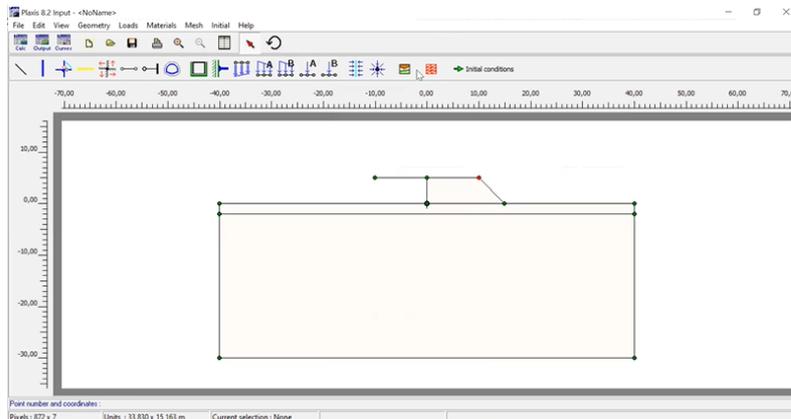
4. Lalu sesuaikan dimensi sesuai dengan gambar yang diinginkan.

Pada halaman selanjutnya, terbuka halaman untuk menggambar seperti apa gambar proyek yang akan diperhitungkan. Untuk memasukan titik yang akan digambar klik garis miring yang berada pada kiri atas, lalu ketik koordinat yang sesuai, untuk awal masukan “0 0” dahulu lalu enter , maka akan muncul garis yang dimulai dari koordinat 0,0, lalu lanjutkan ketik koordinat garis yang akan dituju sesuai dengan gambar perencana, misal jarak 15 dari titik 0,0 maka masukan koordinat x dahulu lalu spasi koordinat y yang akan dituju, maka ketik “15 0” lalu enter, maka akan muncul garis yang dimulai dari koordinat 0,0 menuju ke 15,0. Untuk memulai garis dikoordinat lain cukup klik kiri pada mouse. Dan lanjutkan menggambar sampai gambar selesai.



Gambar 3.9 Halaman Gambar Plaxis

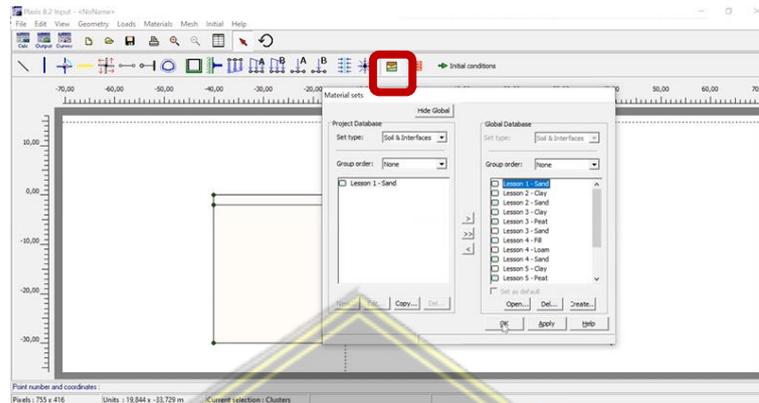
5. Lanjutkan sampai membentuk gambar yang sesuai dengan rencana. Seperti ini adalah contoh gambar yang masih separuh selesai.



Gambar 3.10 Halaman Gambar Plaxis

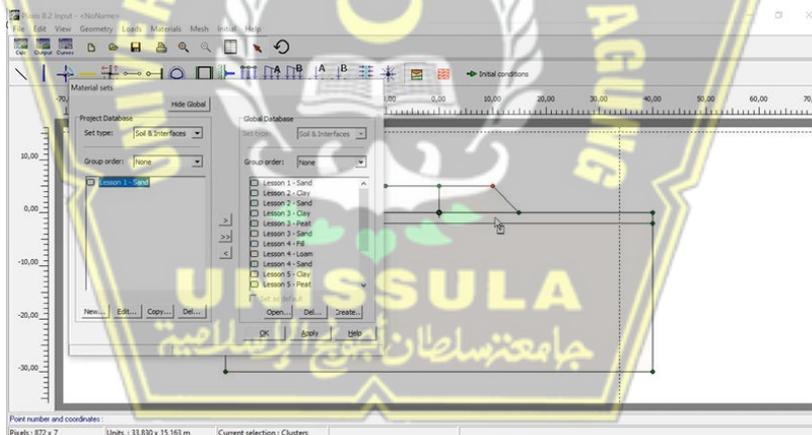
6. Lalu masukan material , seperti contoh dibawah ini.

Dengan mengklik tanda kotak merah. Maka akan muncul jendela baru yang akan memuat beberapa material yang sudah mendasar berada pada aplikasi plaxis.



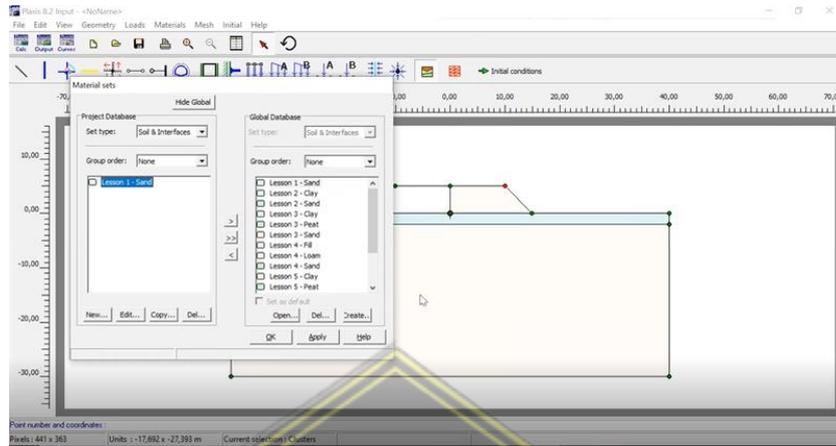
Gambar 3.11 Menu Material Tanah

7. Lalu pilih bahan yang sesuai dengan yang akan dihitung, lalu drag ke tempat yang diinginkan.



Gambar 3.12 Pilihan Menu Material Tanah

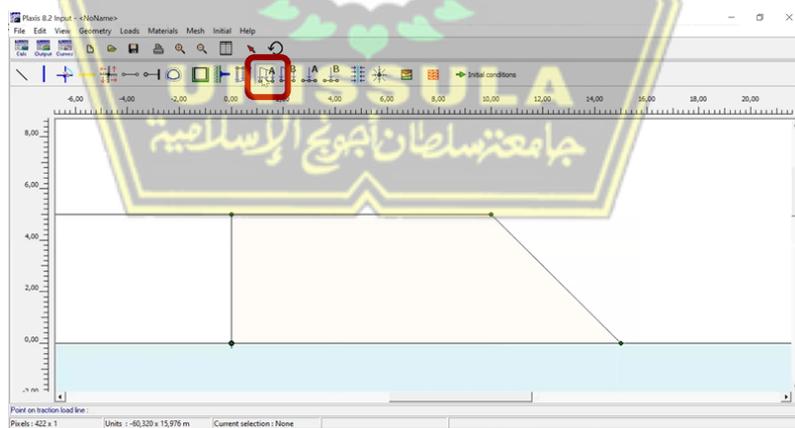
8. Jika sudah diberi jenis tanah, maka area akan berubah warna.
Warna tersebut untuk memnandai jenis tanah apa yang sudah dipilih dan akan menjadi dasar perhitungan plaxis pada tahap selanjutnya.



Gambar 3.13 Menu Material Tanah

9. Lalu masukan beban dengan mengklik tanda kotak merah seperti dibawah ini.

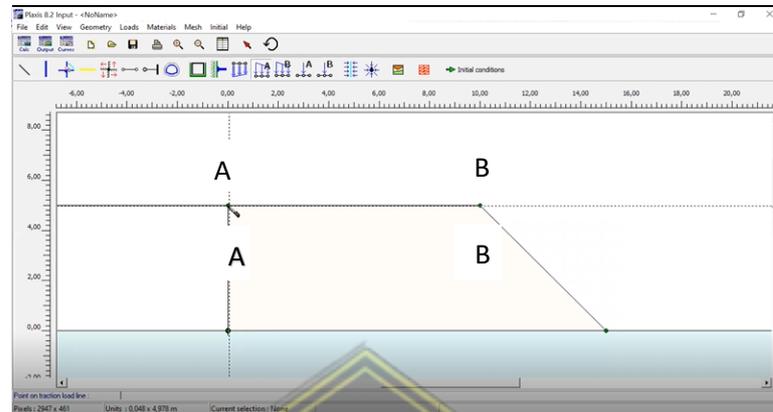
Jika ingin menambahkan beban pada gambar struktur, klik ikon pada kotak merah dibawah ini. Ada berbagai macam jenis beban yang dapat dimasukkan seperti terpusat ataupun merata. Sesuaikan dengan kebutuhan struktur yang akan dihitung.



Gambar 3.14 Menu Beban Plaxis

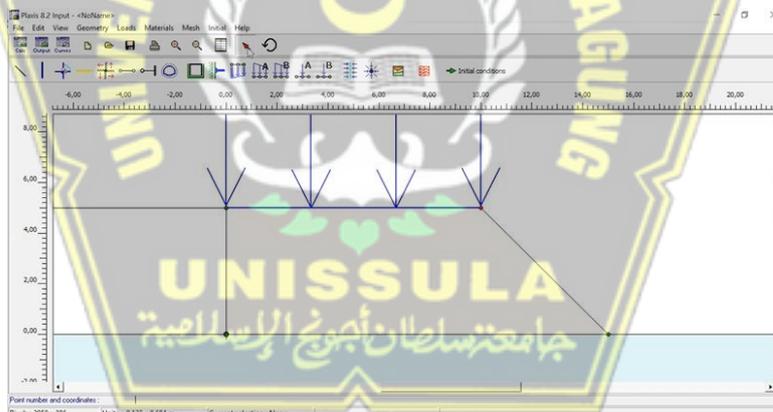
10. Lalu klik titik yang akan diberi beban, seperti dibawah ini dari titik A ke titik B, dengan cara klik titik A dahulu lalu klik titik B.

Berikut ini adalah contoh untuk memilih titik yang akan diberi beban.



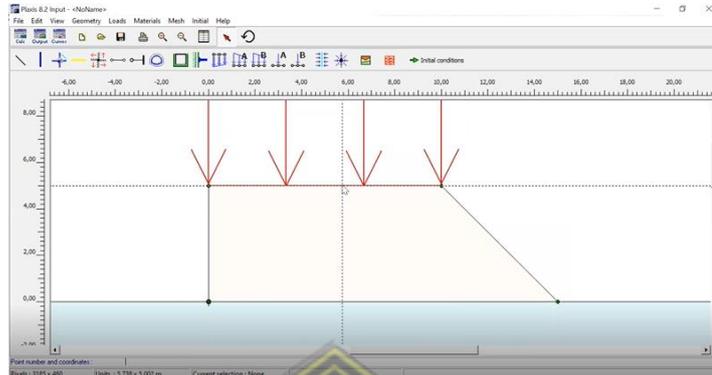
Gambar 3.15 Menentukan Beban Plaxis

11. Berikut ini contoh titik yang sudah diberi beban yang akan dihitung. Tetapi belum dimasukan besaran bebannya. Untuk memasukan besarnya beban lihat gambar 3.17.



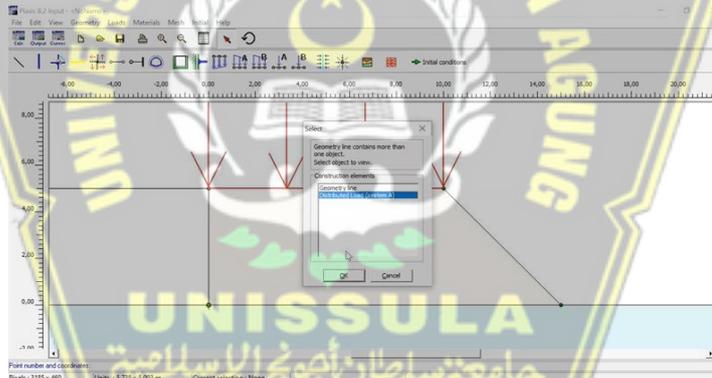
Gambar 3.16 Beban Plaxis

12. Klik dua kali pada garis yang akan diberi detail beban, seperti dibawah ini. Maka panah akan berubah menjadi warna merah, seperti gambar dibawah ini.



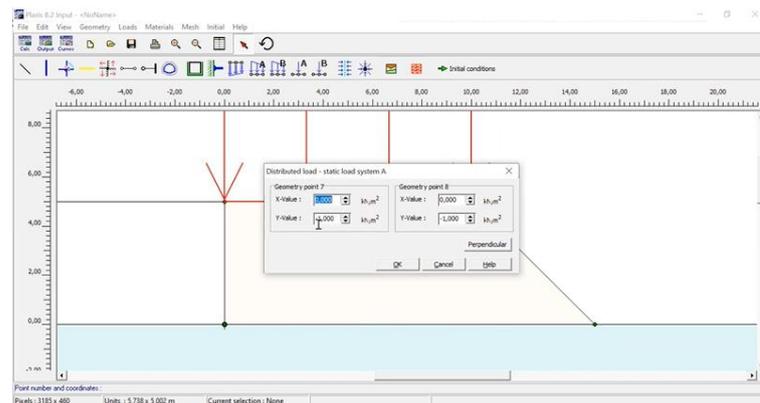
Gambar 3.17 Input Beban Plaxis

13. Dan akan muncul kolom seperti dibawah ini untuk memasukan besarnya beban. Pilihlah Distributed Load yaitu beban dengan kondisi merata di bagikan ke semua permukaan struktur. Lalu klik OK.



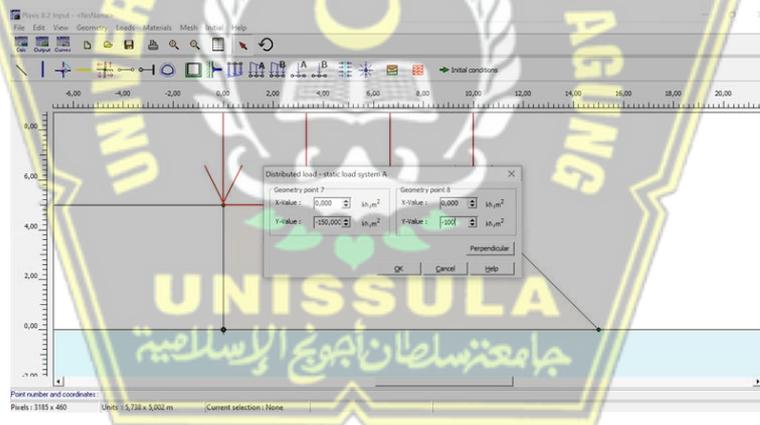
Gambar 3.18 Titik Beban Plaxis

14. Setelah klik *distribution load* dan OK. Maka akan muncul kolom seperti dibawah ini, kolom ini untuk meng-*input* beban perencanaan.



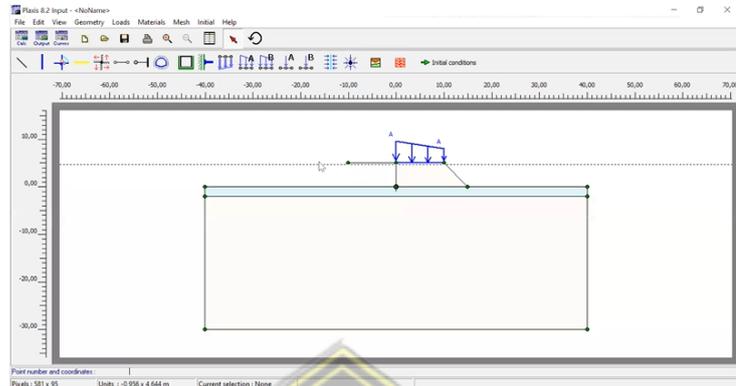
Gambar 3.19 Load Beban Plaxis

15. Lalu isi dan sesuaikan dengan data yang akan dihitung di plaxis. Masukkan beban yang akan diperhitungkan. Perhatikan contoh dibawah ini, pada titik 7 beban yang akan direncanakan adalah sebesar 100kN dan untuk titik ke 8 beban yang akan dimasukkan adalahh 150kN .



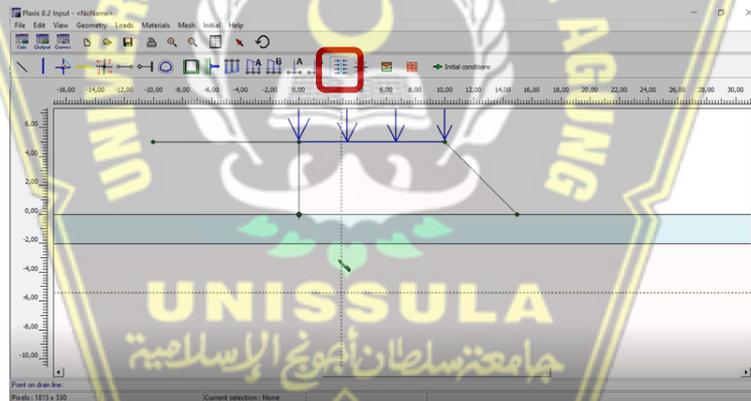
Gambar 3.20 Menu Beban Plaxis

16. Berikut contoh beban yang sudah dimasukkan dengan pada titik 7 beban yang akan direncanakan adalah sebesar 100kN dan untuk titik ke 8 beban yang akan dimasukkan adalahh 150kN.



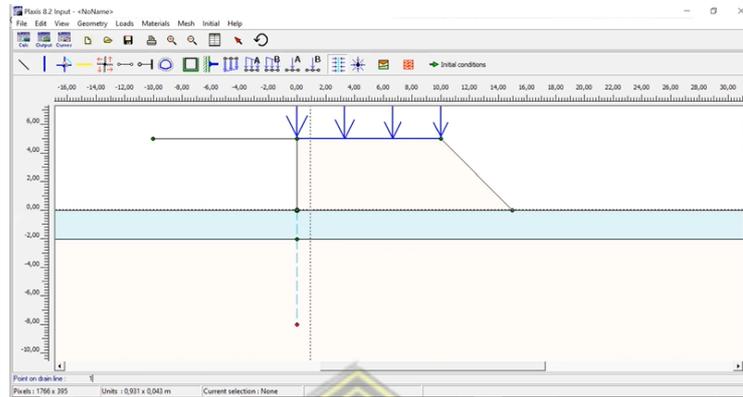
Gambar 3.21 Contoh Beban Plaxis

17. Setelah semua beban selesai, maka masukan *PVD* dengan klik ikon kotak merah seperti dibawah ini. Lalu masukan koordinat *PVD PHD* sesuai dengan yang akan diperhitungkan.



Gambar 3.22 Menggambar *Vertical Drain*

18. Lalu masukan titik PVD dengan jarak sesuai dengan yang akan direncanakan agar hasil perhitungan dapat menghasilkan data dengan keakuratan yang hampir sama dengan di lapangan nantinya.



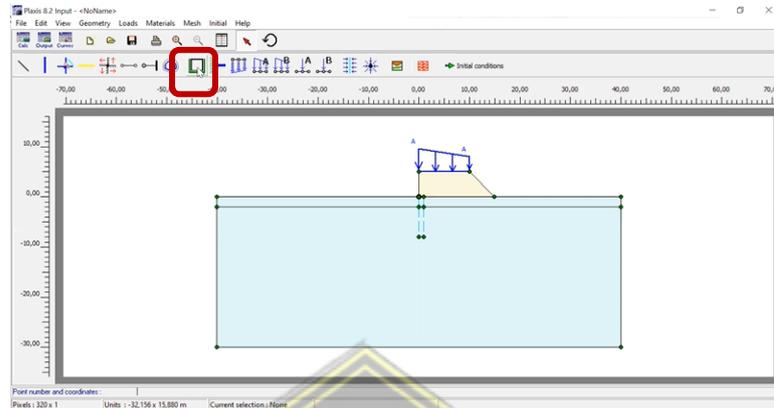
Gambar 3.23 Menentukan Titik *Vertical Drain*

19. Lalu masukan semua PVD yang ada dengan cara yang sama seperti sebelumnya. Lalu masukan semua material yang ada, seperti contoh dibawah ini. Sehingga semua area berwarna, itu menandakan bahwa sudah terisi material.



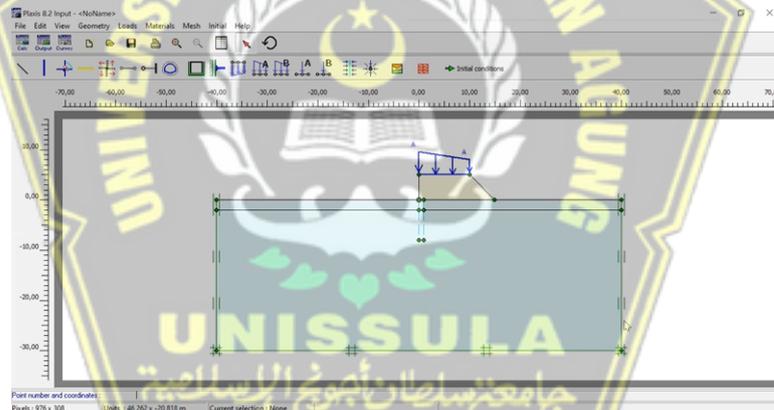
Gambar 3.24 Menu *Drain*

20. Setelah semua beban dan material selesai diinput. Lalu klik *standar fricties*, kotak merah seperti dibawah ini, tujuannya dalah untuk membatasi perhitungan gaya yang terjadi.



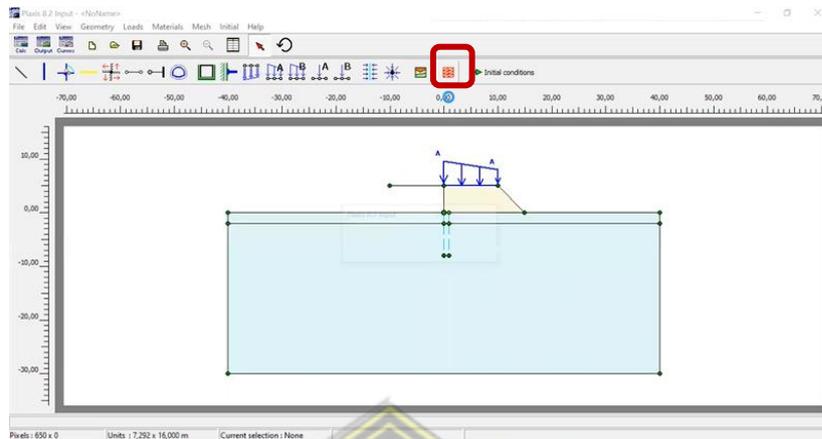
Gambar 3.25 Menu *Standar Fricties*

21. Lalu akan menghasilkan gambar seperti dibawah ini. Garis hijau menandakan batas tanah yang akan dihitung penurunannya.



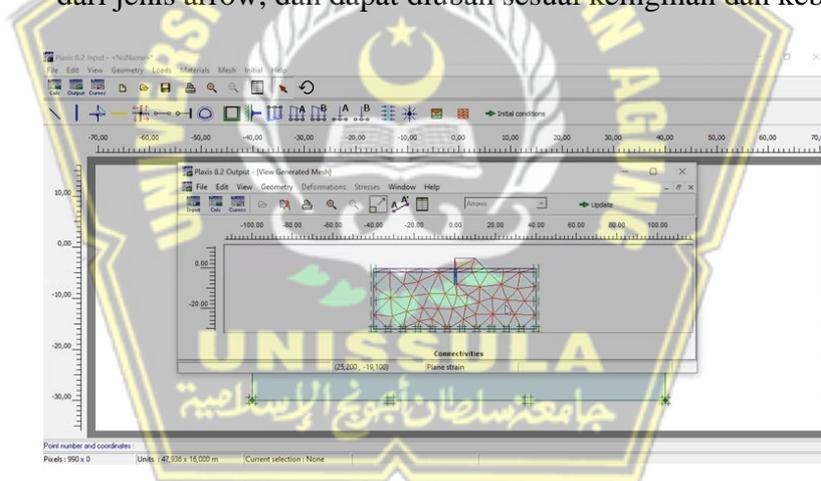
Gambar 3.26 Hasil setelah *Standar Fricties*

22. Selanjutnya adalah klik ikon *mesh* , klik tombol kotak merah seperti dibawah ini. Untuk melihat perubahan tanah yang terjadi.



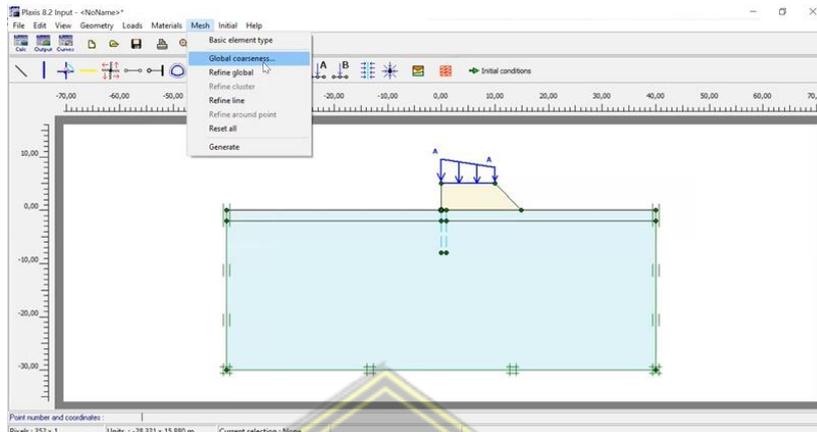
Gambar 3.27 Menu *Mesh*

23. Lalu akan muncul kolom seperti ini. Ini merupakan hasil mesh untuk melihat penurunan tanah yang terjadi di lapangan. Ini merupakan hasil dari jenis arrow, dan dapat diubah sesuai keinginan dan kebutuhan.



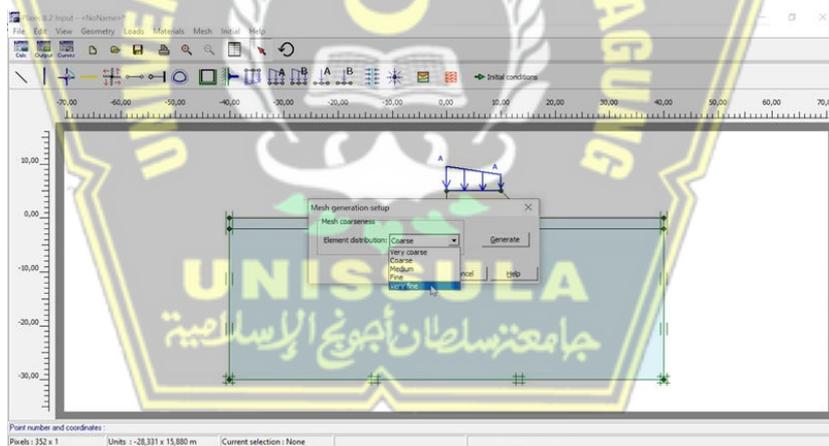
Gambar 3.28 Hasil *Mesh*

24. Karena garis masih berjarak jauh, maka diperhalus agar kita dapat melihat secara lebih baik seperti apa penurunan tanah yang terjadi dengan cara klik ikon menu *mesh* , lalu klik *global coarsness*.



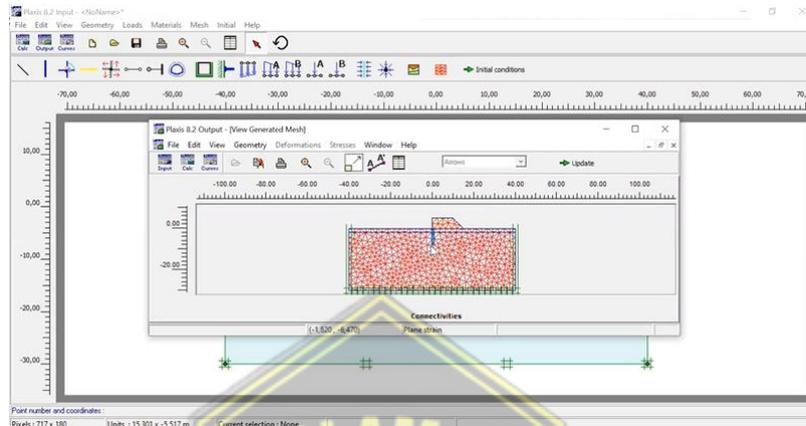
Gambar 3.29 Menu *Global Coarsnes*

25. Lalu akan keluar kolom seperti dibawah ini, dan pilih yang *very fine*. Menu ini akan menjadikan hasil mesh penurunan tanah menjadi lebih baik dan garis menjadi lebih rapat.



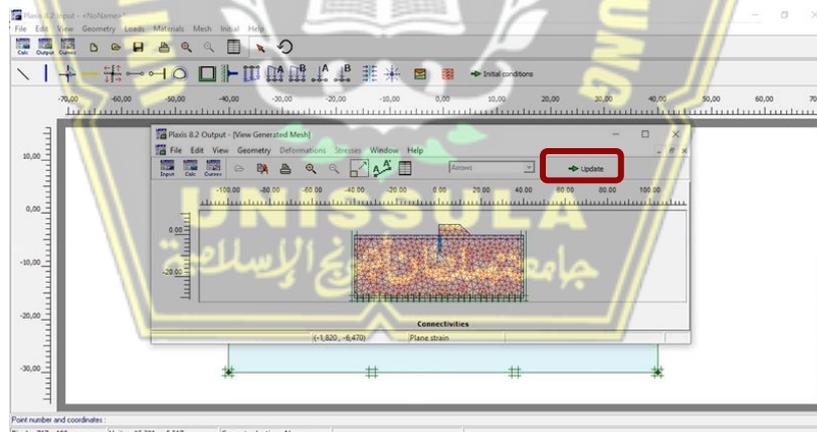
Gambar 3.30 *Global Coarsnes Very Fine*

26. Lalu klik ikon *mesh* lagi, dan akan keluar kolom dengan garis yang lebih rapat seperti dibawah ini. Berikut ini adalah hasil dari mesh *very fine*, dapat dilihat bahwa garisnya menjadi lebih halus dan juga lebih rapat dari sebelumnya.



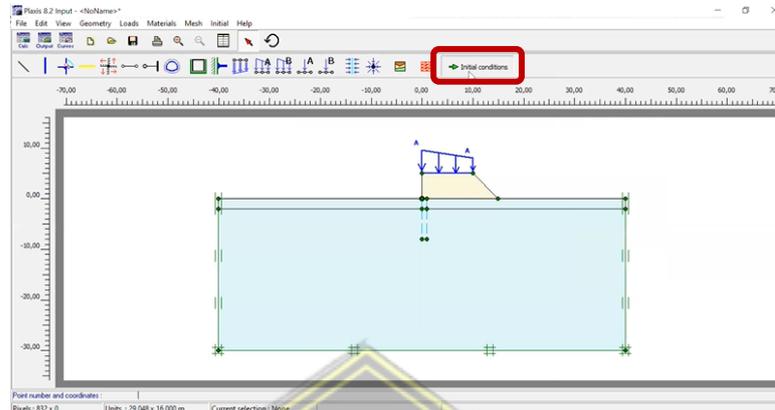
Gambar 3.31 Mesh Very Fine

27. Lalu klik update (ikon dengan kotak merah) seperti dibawah ini. Ini adalah untuk meng-update hasil mesh yang akan digunakan untuk tahapan selanjutnya.



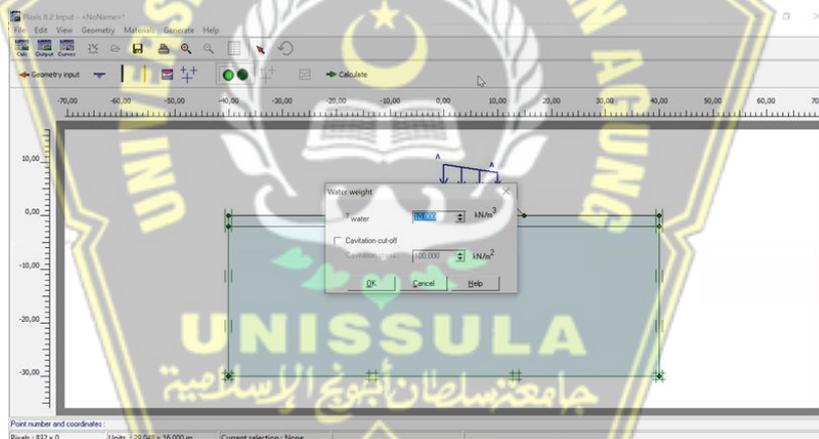
Gambar 3.32 Update Mesh

28. Lalu klik *initial condition* (ikon garis kotak merah) seperti dibawah ini. *Initial condition* ini adalah untuk memasukan kondisi air tanah yang ada pada lapangan, seperti kedalaman air tanah.



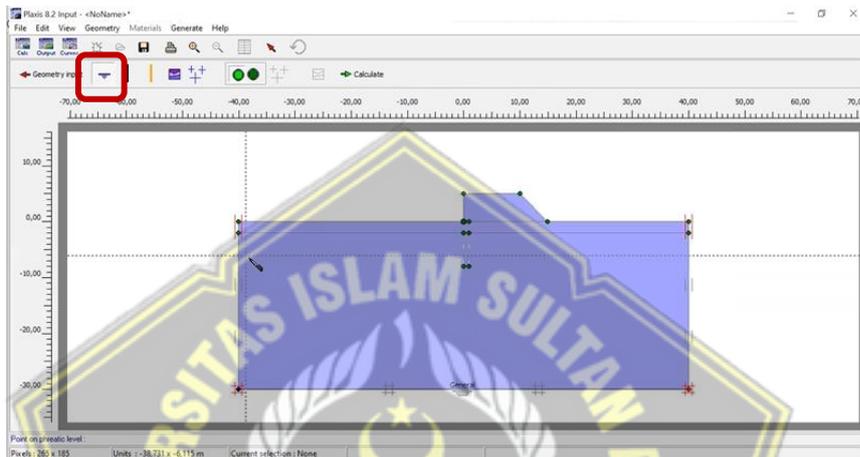
Gambar 3.33 Menu *Initial Condition*

29. Dan akan muncul kolom seperti ini, dan klik OK. Kolom ini untuk memasukan berat jenis air atau gamma air, yaitu sebesar 10 Kn/m^3 .



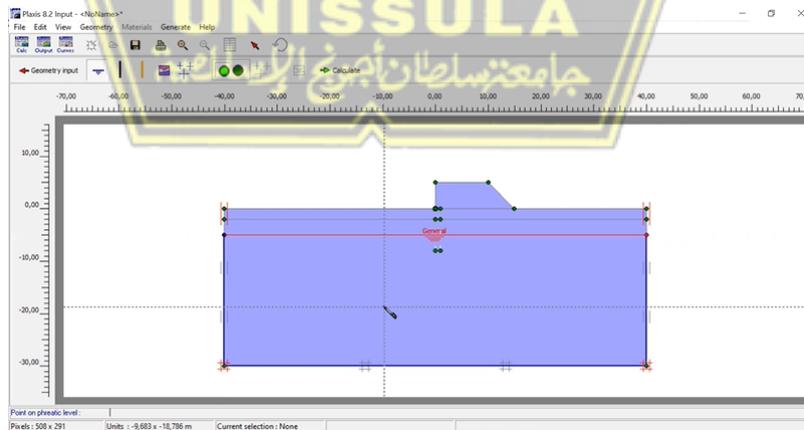
Gambar 3.34 Menu *Initial Condition*

30. Lalu gambar akan berubah warna, dan klik ikon dengan kotak merah seperti dibawah ini untuk memasukan kedalaman muka air tanah, masukan data sesuai keadaan yang akan dihitung dan sesuai dengan ketentuan garis ordinat, missal jika permukaan air tanah berada pada kedalaman 5m dan garis batas kiri sepanjang 40m, maka tulis -40-5. Lalu beri batas kanan untuk kedalaman muka air tanah dengan cara klik enter lalu masukan 40 -5, lalu klik kanan.



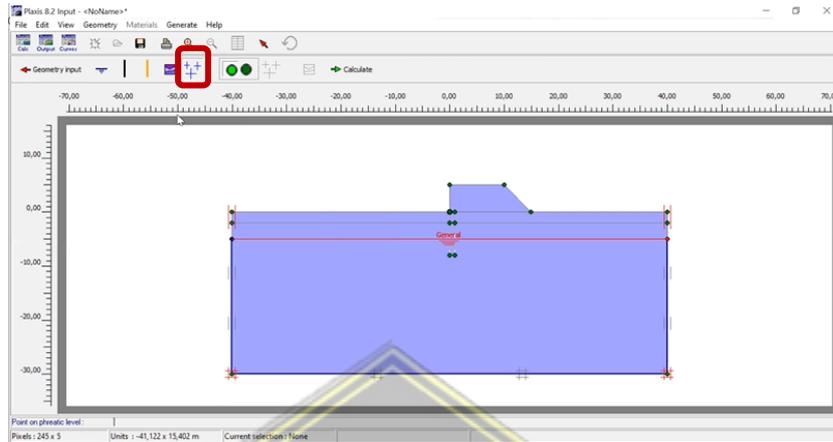
Gambar 3.35 Menentukan tinggi MAT

31. Maka akan keluar gambar seperti dibawah ini. Berikut ini sudah keluar garis dengan kedalaman yang dimasukan sebelumnya sesuai dengan kondisi di lapangan yang diambil dari data bor log.



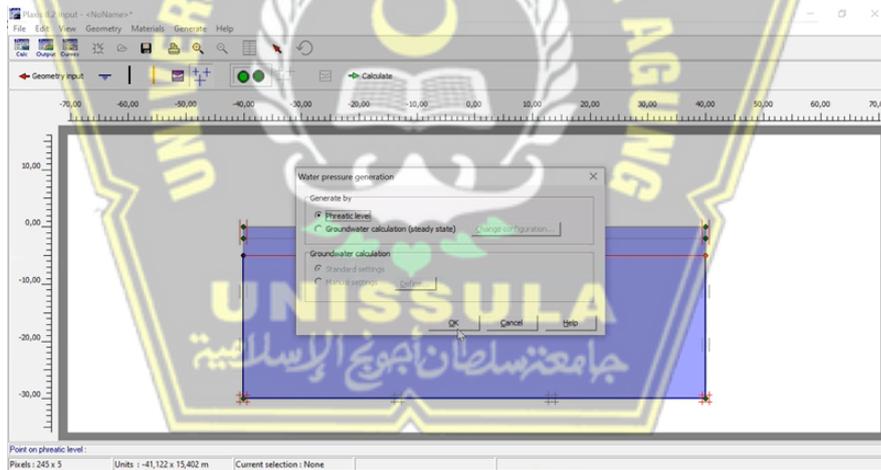
Gambar 3.36 Garis tinggi MAT

32. Setelah itu kita *mesh* lagi dengan cara klik ikon kotak merah seperti contoh dibawah ini. Ikon tersebut adalah untuk mengetahui kondisi penurunan tanah setelah dimasukan data air tanah.



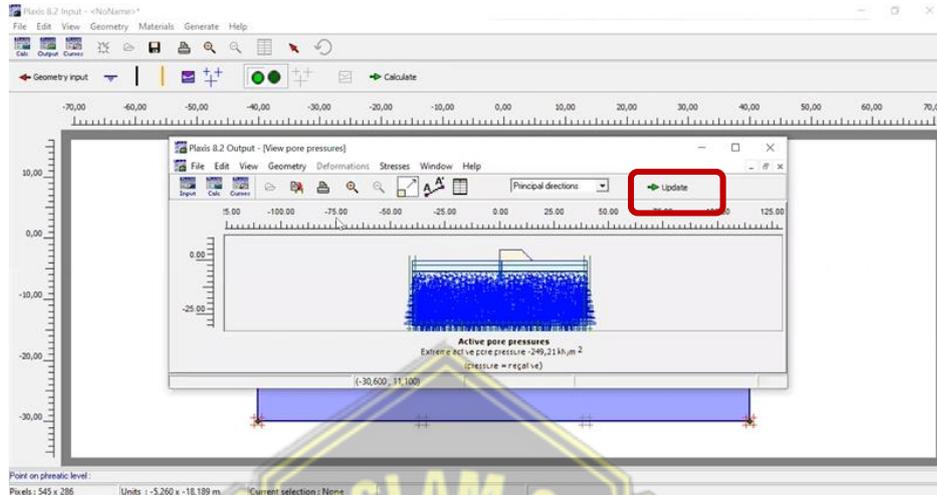
Gambar 3.37 Menu *Mesh Initial Condition*

33. Akan muncul kolom seperti ini, untuk generate by pilih phreatic level. Lalu klik OK.



Gambar 3.38 Kolom *Mesh Initial Condition*

34. Setelah itu akan muncul gambar baru seperti dibawah ini, lalu klik *update* (kotak merah). Kolom ini untuk meng-*update* hasil mesh penurunan tanah setelah kondisi air tanah dimasukkan ke dalam gambar.



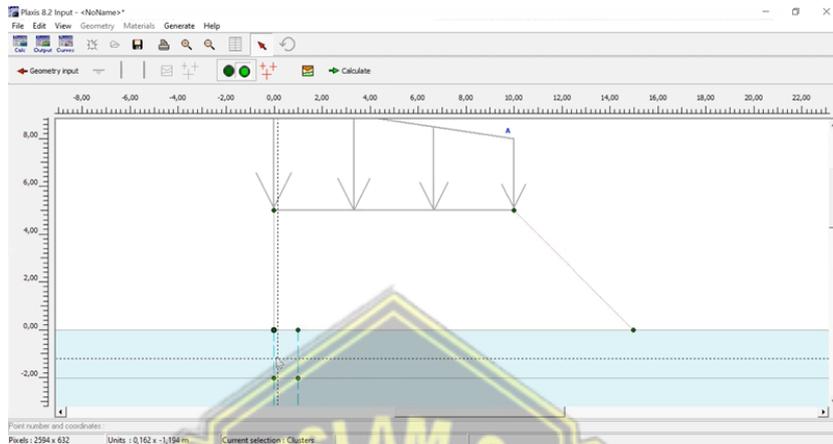
Gambar 3.39 *Update Mesh Initial Condition*

35. Lalu klik ikon dibawah ini (kotak merah) untuk menjadikan keadaan seperti tanah asli dan belum ada timbunan. Untuk lingkaran hijau di kiri untuk mengatur gambar struktur saat awal kondisi tanah asli sebelum adanya timbunan atau apapun.



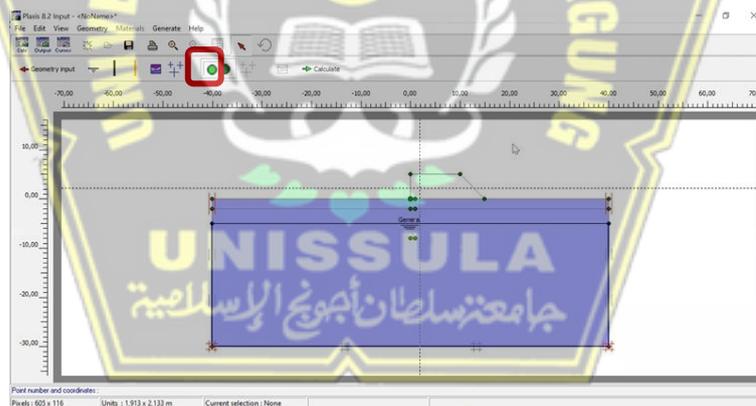
Gambar 3.40 Menu Sebelum dan Sesudah *PVD,PHD* dan Timbunan

36. Setelah itu, hilangkan timbunan dan juga PVD, karena seperti keadaan tanah asli sebelumnya yang tidak ada PVD dan juga tanah timbunan. Menjadikan area timbunan dan PVD menjadi tidak berwarna atau kembali putih lagi , seperti contoh dibawah ini.



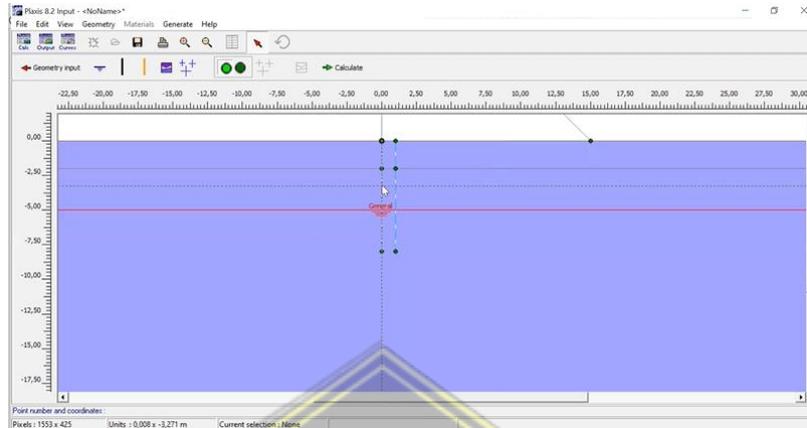
Gambar 3.41 Menu Hilangkan Timbunan

37. Setelah itu, klik tombol hijau sebelah kiri untuk menjadikan tanah setelah ada timbunan dan juga PVD, klik kotak merah dibawah ini.



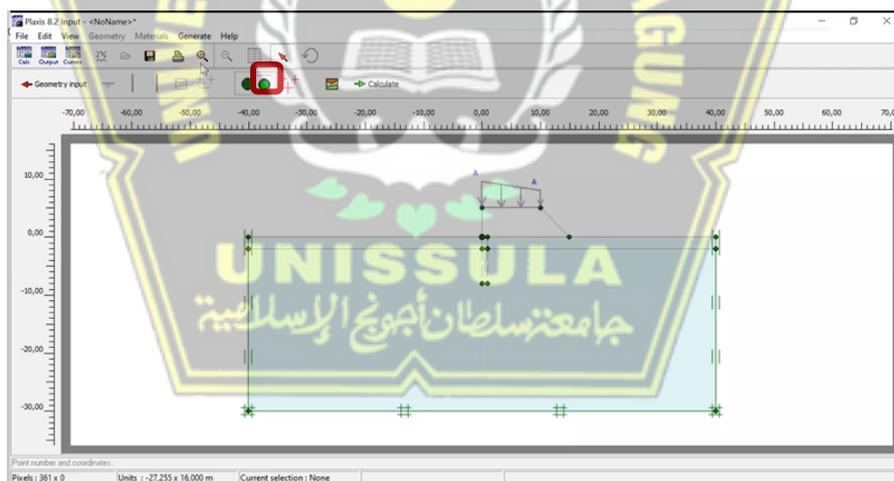
Gambar 3.42 Menu saat *PVD* dan *PHD* menyala

38. Lalu hidupkan kembali PVD dengan cara klik PVD , contohnya menjadi seperti dibawah ini, yang awalnya warna PVD abu-abu menjadi warna biru.



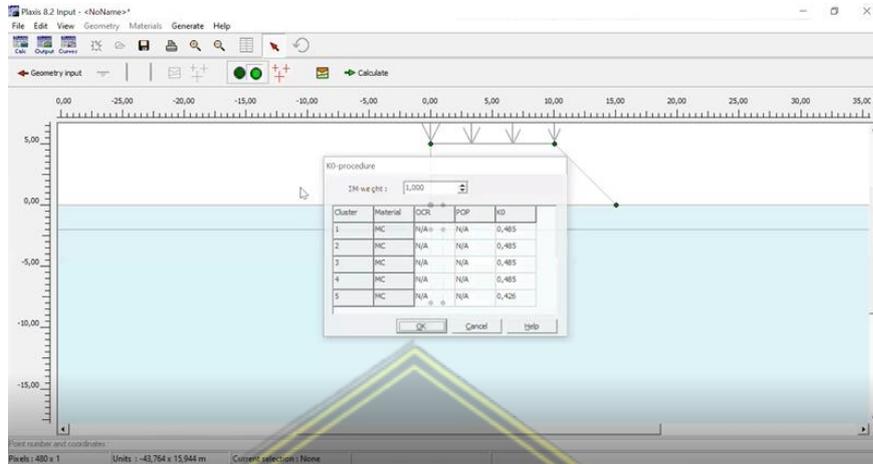
Gambar 3.43 Kondisi saat PVD dan PHD bekerja

39. Lalu klik kembali ikon hijau bagian kanan pada kotak merah, lalu akan menjadi seperti ini. Berikut ini kondisi akhir yang akan dihitung pada tahap selanjutnya yaitu *calculation*.



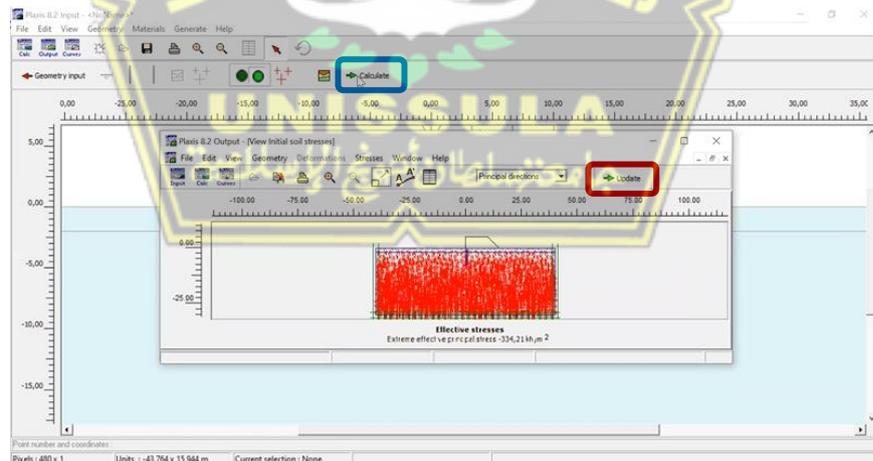
Gambar 3.44 Kondisi Timbunan Awal

40. Selanjutnya klik ikon *mesh* atau ikon dengan tanda plus merah sebanyak tiga buah. Berikut ini adalah kolom K0-procedure. Maka langsung saja klik OK.



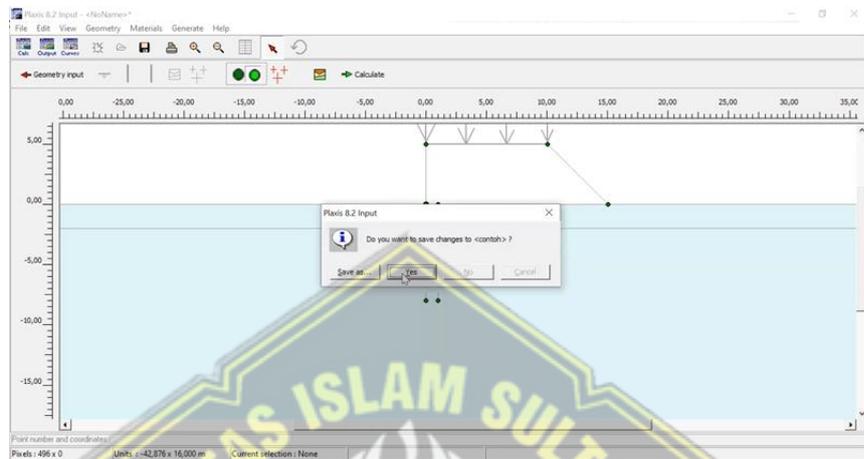
Gambar 3.45 Halaman Plaxis

41. Maka akan muncul gambar seperti ini, lalu klik *update* (kotak merah), setelah itu klik *calculate* (kotak biru). Ikon *update* untuk meng-*update* atau memperbarui keadaan tanah pada lapangan setelah dilakukan perubahan. Ikon *calculate* adalah untuk menghitung penurunan tanah pada tahap-tahap selanjutnya.



Gambar 3.46 Hasil Penentuan Gambar

42. Setelah muncul kolom ini, klik *yes*. Berikut ini adalah kolom yang digunakan untuk menyimpan proyek pada aplikasi plaxis agar tidak perlu mengulang pekerjaan lagi dari awal. Dan jika ingin membuka kembali, hanya perlu membuka aplikasi lalu klik nama dokumen yang akan dituju.



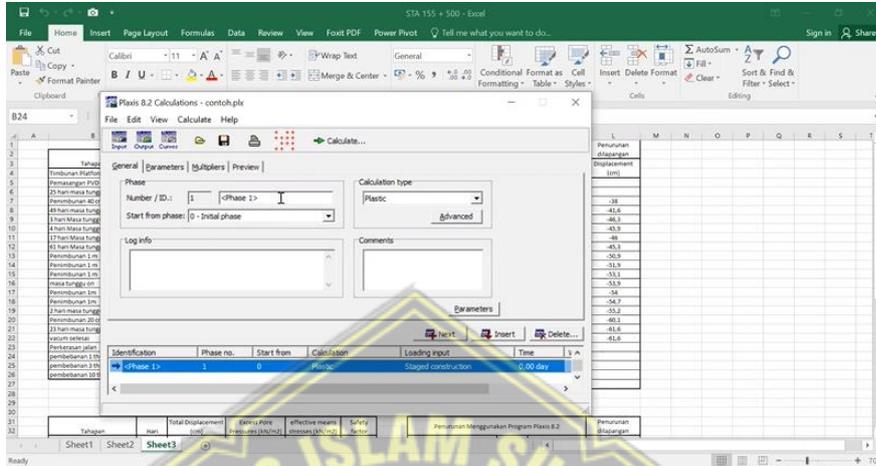
Gambar 3.47 Kolom Simpan Pekerjaan Plaxis

43. Lalu akan muncul kolom seperti ini, dan klik *save* untuk menyimpan *file*. Kolom ini untuk memilih tempat penyimpanan proyek pada aplikasi plaxis, selalu ingat dimana menyimpan *file* agar tidak kesulitan saat membuka kembali proyek ataupun mengedit proyek untuk diperbaiki.



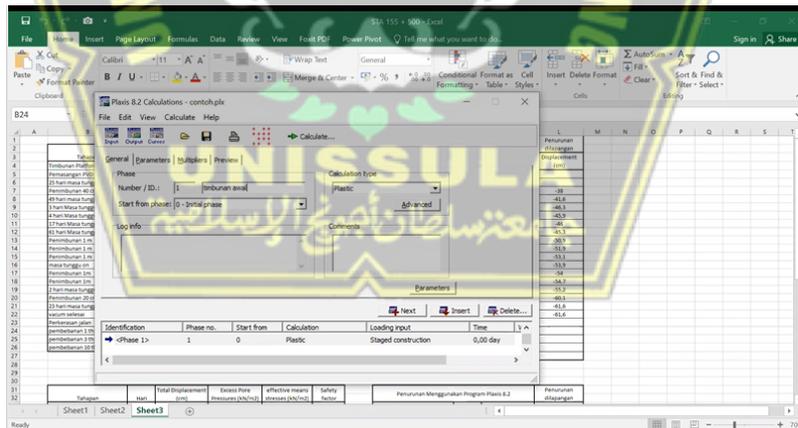
Gambar 3.48 Menu *Save* Plaxis

44. Maka akan muncul kolom seperti ini, setelah itu kita kalkulasikan waktu timbunan seperti contoh dibawah ini. Sesuaikan dengan jadwal yang ada pada lapangan. Data yang dibutuhkan yaitu seperti waktu timbunan, masa tunggu, masa konsolidasi, dll.



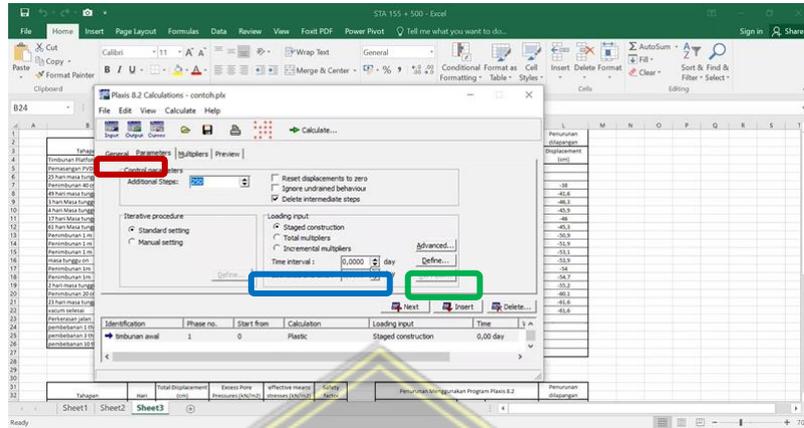
Gambar 3.49 Menu *Calculation Plaxis*

45. Misal timbunan awal, maka masukan number/ID seperti contoh dibawah ini. Number/ID ini adalah untuk menamai tahapan yang sebelumnya sudah dibuat.



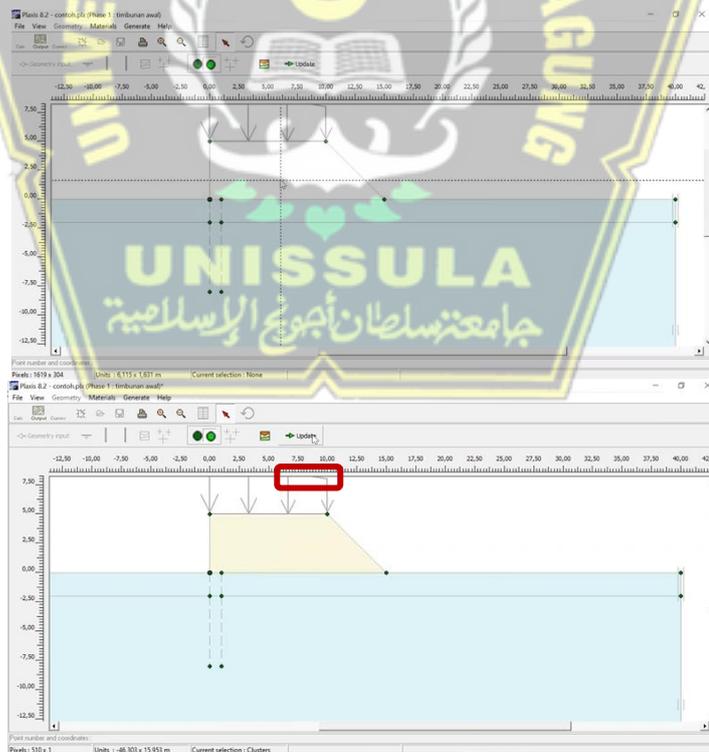
Gambar 3.50 Kolom *Calculation Plaxis*

46. Lalu klik menu *parameter* (kotak merah) dan masukan jumlah hari pada *time interval* (kotak biru) seperti contoh dibawah ini, lalu klik *define* (kotak hijau).



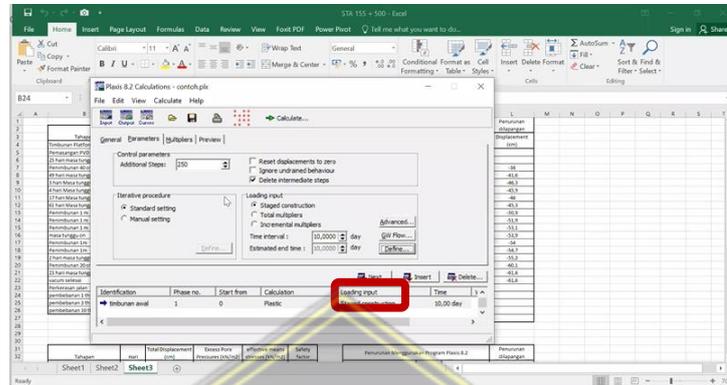
Gambar 3.51 Kolom *Update Calculation* Plaxis

47. Lalu untuk pekerjaan selanjutnya klik dahulu pekerjaan hingga berubah warna lalu klik *update* (kotak merah). Update untuk memperbarui kondisi tahapan dan juga kondisi di lapangan yang paling baru.



Gambar 3.52 Menu *Update Calculation* Plaxis

48. Lalu akan muncul kolom seperti ini, untuk langkah selanjutnya klik *next* (kotak merah). Ikon ini adalah untuk menambahkan tahapan baru pada tahapan yang sudah dibuat selanjutnya, sesuai dengan apa yang terjadi di lapangan.



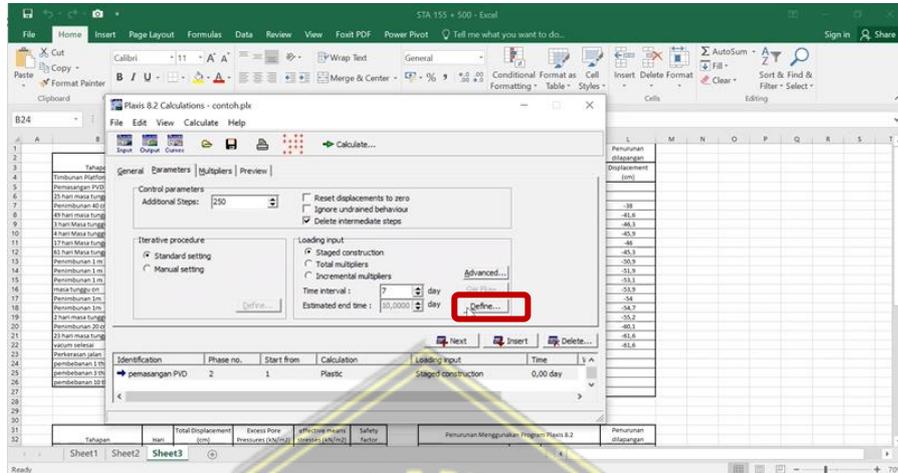
Gambar 3.53 Menu *Phase* Pekerjaan Plaxis

49. Lalu akan keluar kolom seperti ini, selanjutnya langkah pemasangan PVD, maka tulis seperti berikut dan masukan *parameter* hari seperti contoh sebelumnya.



Gambar 3.54 Menu Awal *Calculation* Plaxis

50. Lalu masukan *parameter* hari lalu klik *define* (kotak merah), define untuk mendefinisikan dimana posisi gambar atau tahapan yang sedang dihitung.



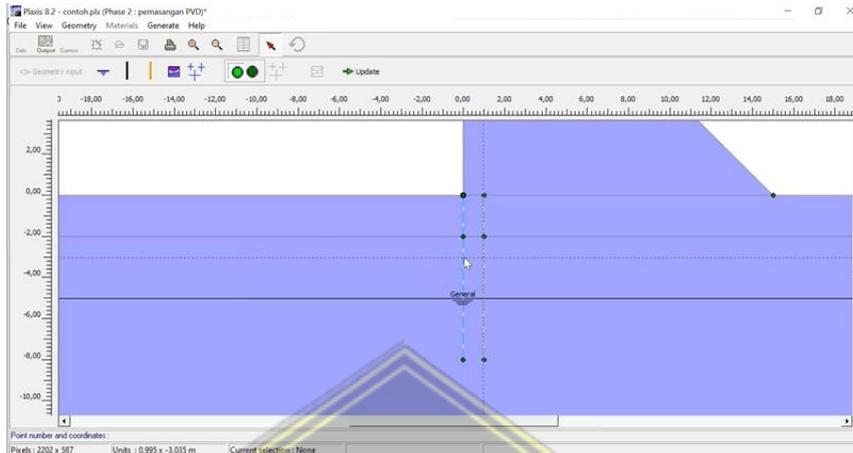
Gambar 3.55 Menu *Define* Plaxis

51. Lalu akan muncul gambar seperti ini, kondisi awal PVD belum terpasang, maka warna PVD abu abu, lalu klik ikon hijau yang ada di kiri (kotak merah).



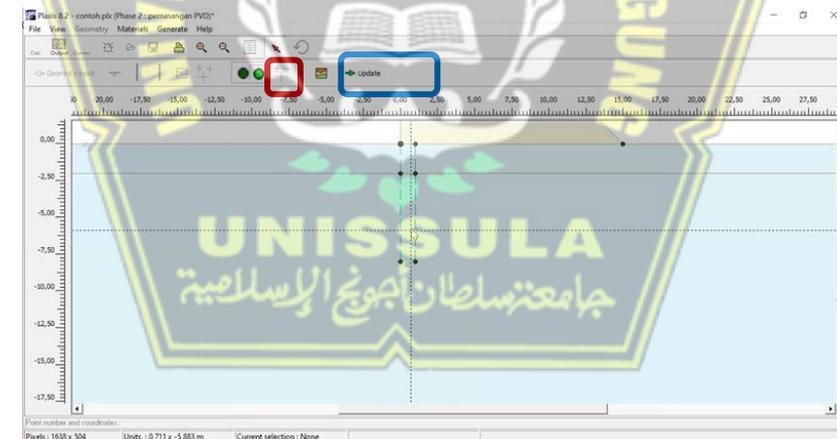
Gambar 3.56 Menu Sebelum Timbunan *Calculation* Plaxis

52. Lalu klik pada *PVD* dan *PHD* yang akan dipasang yang awalnya berwarna biru, menjadi warna abu abu, seperti contoh dibawah ini. Ini menandakan bahwa *PVD* dan *PHD* sudah menyala.



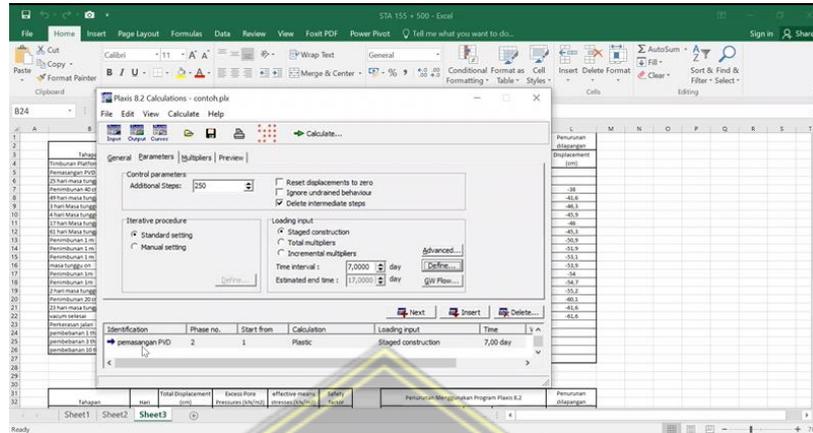
Gambar 3.57 Kondisi Calculation saat *PVD* & *PHD* Bekerja

53. Lalu klik kembali ikon hijau yang kanan (kotak merah), dan gambar menjadi seperti dibawah ini, yang awalnya *PVD* berwarna abu menjadi warna biru, lalu klik *update* (kotak biru).



Gambar 3.58 Menu *Mesh* & *Update Calculation* Plaxis

54. Lalu akan muncul kolom seperti ini dan klik *next* untuk melanjutkan ke tahap berikutnya, dan masukan lagi tahap berikutnya sampai selesai dengan cara yang sama.



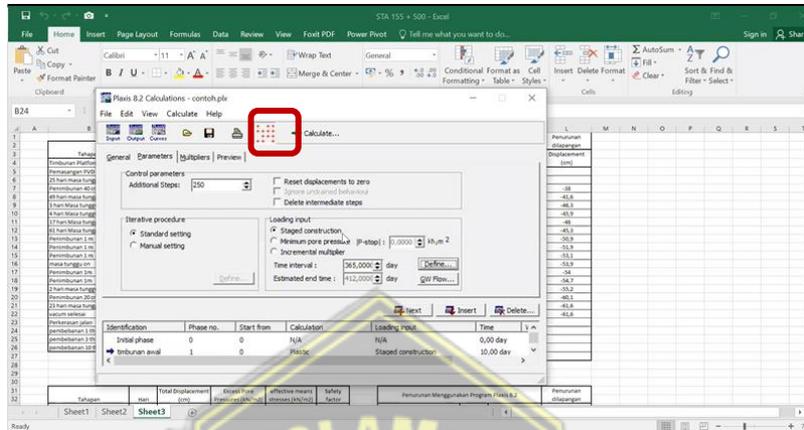
Gambar 3.59 Menu *Next Calculation* untuk *Phase Plaxis*

55. Dan untuk masa tunggu hanya klik *define*, tidak perlu klik area timbunan atau apapun. Untuk beban, *calculation type* nya adalah *consolidation*, dan aktifkan beban seperti dibawah ini, yang awalnya berwarna abu-abu menjadi warna biru, lalu klik *update* (kotak merah).



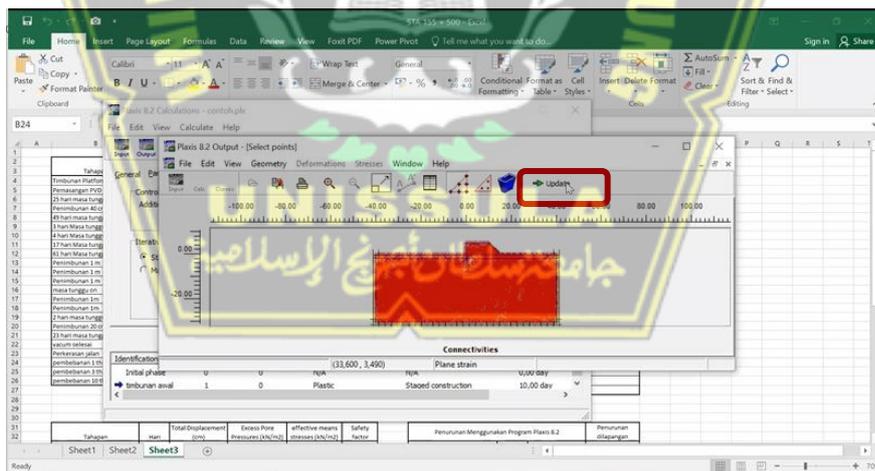
Gambar 3.60 Menu *Update Calculation Plaxis*

56. Lalu kita *mesh* lagi, dengan cara klik *mesh* (kotak merah) seperti di bawah ini. Seperti yang sudah diketahui sebelumnya, mesh adalah untuk mengetahui bagaimana kondisi tanah ataupun penurunan tanah yang terjadi di lapangan.



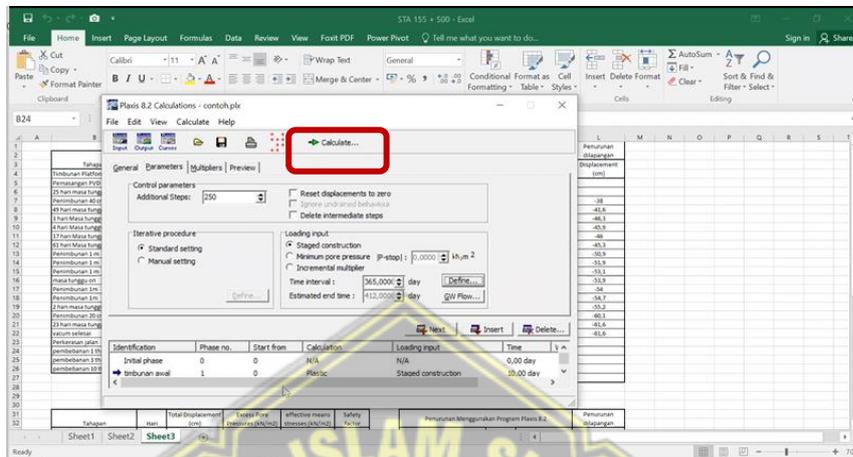
Gambar 3.61 Menu *Mesh Update Calculation* Plaxis

57. Lalu keluar gambar seperti ini, lalu klik *update* (kotak merah). Update untuk memperbarui kondisi tanah yang diperkirakan akan terjadi di lapangan.



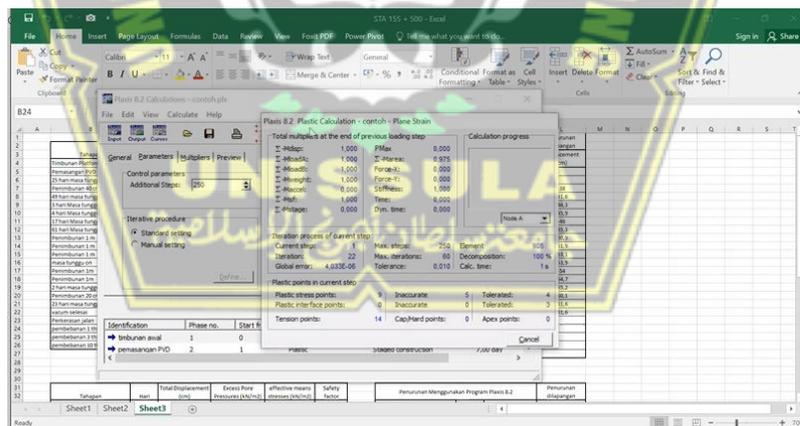
Gambar 3.62 Menu *Update Output* Gambar Plaxis

58. Lalu akan keluar kolom seperti ini, dan klik *calculate*. *Calculate* adalah ikon untuk menghitung seberapa besar penurunan tanah yang akan terjadi di lapangan yang menghasilkan penurunan berupa angka yang nantinya dapat dilihat pada *output*.



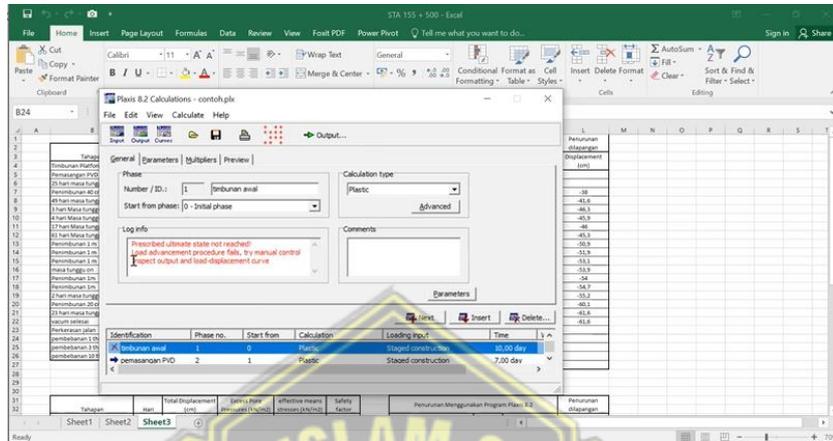
Gambar 3.63 Menu *Calculate* Plaxis

59. Lalu akan muncul kolom seperti ini, ini adalah hasil perhitungannya. Berikut dapat dilihat angka penurunan dan juga apakah kondisi tanah aman atau tidak.



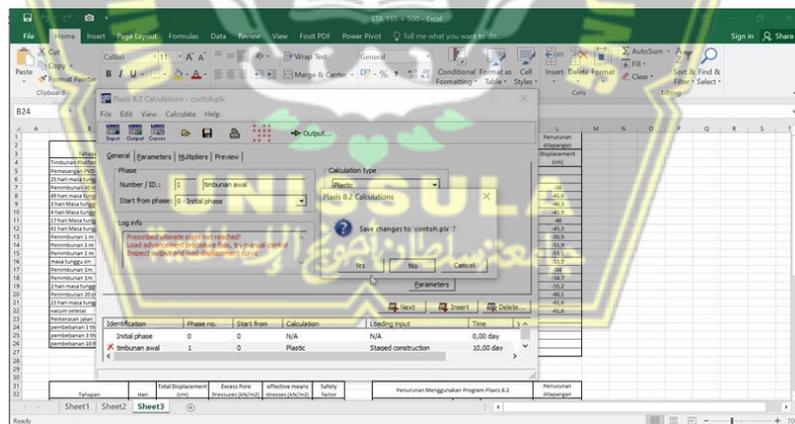
Gambar 3.64 Hasil *Calculation* Plaxis Tahap Awal

60. Jika struktur masih kurang aman, akan keluar keterangan seperti ini. Berikut adalah contoh dimana kondisi kurang aman dan struktur akan *collapse*. Maka struktur bangunan harus diperhitungkan kembali atau perbaikan tanah harus diperbaiki lagi.



Gambar 3.65 Menu *Calculation* Plaxis jika *Collapse*

61. Dan jika struktur sudah aman, maka akan keluar grafik dan jika sudah selesai jangan lupa *save*. Klik *save* agar pekerjaan yang terbaru atau yang sudah diubah dapat tersimpan.

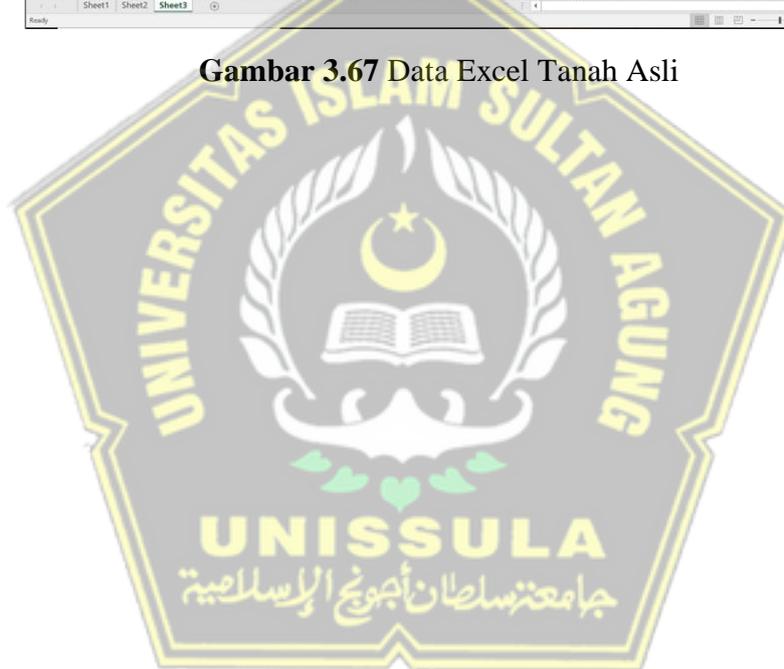


Gambar 3.66 Menu *Save Ulang* Plaxis

62. Lalu rangkum menjadi data *excel* dengan contoh seperti ini. Data dibawah ini adalah data yang didapatkan dari output yang dihasilkan dari perhitungan pada aplikasi *plaxis*.

Tahapan	Jari	Total Displacement (mm)	Excess Pore Pressure (kN/m2)	Effective mean stress (kN/m2)	Safety factor
Terdusun Platform	7	4.5	-25.87	272.67	1.66
Penurunan PVD	14	4.5	-21.87	278.67	1.25
12 hari masa tunggu on	20	14.5	-6.89	313.69	0.76
Penurunan 80 cm	8	37.6	-3.44	318.68	1.82
12 hari masa tunggu on	49	22.9	-6.93	314.67	1.88
12 hari masa tunggu off	3	11.1	-52.77	276.14	1.16
12 hari masa tunggu on	4	23.3	-1	311.69	1.46
12 hari masa tunggu off	17	61.7	81.83	277.17	0.93
12 hari masa tunggu on	13	37.6	-2.48	314.69	1.51
Penurunan 1 m	12	42.6	-2.1	310.69	0.51
Penurunan 1 m	8	48.2	3.63	306.68	0.87
Penurunan 1 m	6	53.2	-4.93	301.1	0.84
masa tunggu on	2	53.9	-3.53	301.9	0.87
Penurunan 1 m	4	59.2	-4.22	296.68	0.45
Penurunan 1 m	5	64.6	-1.51	341.3	2.25
12 hari masa tunggu on	11	63.7	-4.43	344.69	2.22
Penurunan 20 cm	1	66.6	8.41	342.2	2.27
12 hari masa tunggu on	21	66.2	-0.104	342.19	2.2
lapisan isolasi	1	51.1	76.2	306.17	1.89
Perencanaan jalan	18	52.9	-7.4	302.64	1.81
Perencanaan 1 tim	365	46.6	0.184	335.51	1.56
Perencanaan 1 tim	1460	46.6	0.00001	335.51	1.56
Perencanaan 1 tim	2315	46.6	0.0000112	335.51	1.56

Gambar 3.67 Data Excel Tanah Asli



BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Analisis

4.1.1 Parameter Tanah

Tabel 4.1 Parameter Tanah

No	Kedalaman (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 ³)	γ _{sat} (kN/m ³)	PI	LL
1	0,00 - 4,50	soft	3	1500	3,236	21,72	9,77E-08	9,77E-08	0,35	12,690	17,211	14,56	27
2	4,50 - 8,00	soft	2	1000	3,236	28,32	9,77E-08	9,77E-08	0,35	12,690	17,211	11,88	22
3	8,00 - 22,00	soft	4	2000	3,236	26,2	9,77E-08	9,77E-08	0,35	8,708	14,573	12,58	29
4	22,00 - 25,00	medium	5	2500	3,236	21,72	9,77E-08	9,77E-08	0,35	8,708	14,573	12,20	29
5	25,00 - 29,00	dense	10	5000	5,786	26,2	1,75E-07	1,75E-07	0,35	9,385	15,553	11,17	41
6	29,00 - 34,00	dense	12	6000	5,786	29,35	1,75E-07	1,75E-07	0,35	11,395	16,622	12,21	39
7	34,00 - 52,00	dense	27	13500	9,120	22,86	1,10E-06	1,10E-06	0,35	8,365	14,092	11,66	37
8	52,00 - 57,50	dense	39	19500	4,707	27,27	1,10E-06	1,10E-06	0,30	9,110	15,347	12,33	24
9	57,50 - 67,50	hard clay	35	17500	2,354	29,35	1,10E-06	1,10E-06	0,30	9,669	14,151	19,13	35
10	67,50 - 70,50	hard clay	56	28000	9,905	32,31	1,10E-06	1,10E-06	0,30	8,914	14,318	8,39	22

Dari tabel parameter tanah di atas dapat disimpulkan bahwa lapisan tanah pada kedalaman 0-22 m merupakan tanah lempung berkonsistensi *soft*, lapisan tanah pada kedalaman 22-25 m merupakan tanah lempung konsistensi *medium*, dan pada lapisan tanah pada kedalaman 25-57,5 m tersebut merupakan jenis tanah lempung konsistensi *dense*, yang terakhir pada kedalaman 57,7- 70,5 m merupakan tanah lempung konsistensi *hard*. Dapat dilihat dari PI-nya lempung lanau dari nilai PI yang ada berkisar antara 10-15.

4.1.2 Parameter Timbunan

Tabel 4.2 Parameter Timbunan

No	Parameter	Model	Tipe	kx (m/day)	ky (m/day)	γ_{dry} (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	E (kN/m ²)	v	c (kN/m ²)	ϕ (phi)
1	Timbunan	MC	<i>Drained</i>	1,16E-07	1,16E-07	16	19	1,10E+04	0,3	10	25

Dari parameter tanah timbunan di atas dapat disimpulkan bahwa tanah timbunan merupakan tanah yang cukup baik jika kita lihat dari nilai E dan γ yang ada.

4.1.3 Parameter Perkerasan Jalan

Tabel 4.3 Parameter Material Perkerasan

No	Parameter	Model	Tipe	kx (m/S)	ky (m/S)	γ_{dry} (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	E (kN/m ²)	v	C (kN/m ²)	ϕ (phi)
1	Agregat A	MC	Drained	1	1	20	21	5,00E+04	0,2	5	35
2	Agregat B	MC	Drained	0,86	0,86	18	20	3,50E+04	0,2	5	30
3	<i>Lean Concrete</i>	LE	Non-Porous	-	-	23	-	2,57E+07	0,15	-	-
4	<i>Rigid Pavement</i>	MC	Non-Porous	-	-	24	-	2,14E+04	0,2	387	9

4.1.4 Parameter Geotekstil

Tabel 4.4 Parameter Geotekstil

No	Jenis	Model	EA (kN/m)	Np (kN/m)
1	Geogrid	Elastoplastic	160	20

4.2 Pembebanan

Beban lalu lintas ditambahkan pada seluruh lebar permukaan jalan dan besarnya ditentukan berdasarkan kelas jalan yang diberikan pada Tabel 4.5 sebagai berikut :

Tabel 4.5 Beban Lalu Lintas untuk Analisis Stabilitas dan Beban di Luar Jalan

Kelas Jalan	Beban Lalu Lintas (kPa)	Beban Luar Jalan (kPa)
I	15	10
II	12	10
III	12	10

(Sumber: DPU, 2001)

Pada Pekerjaan Jalan Tol Semarang – Demak menggunakan kelas Jalan I, maka beban lalu lintas yang digunakan sebesar 15 kPa dan beban di luar jalan 10 kPa.

4.3 Tahapan Perhitungan Manual Metode *Terzaghi*

Perhitungan manual terzaghi dimulai dari melakukan perhitungan nilai koefisien konsolidasi vertikal (C_v) menggunakan Persamaan 2.17 dan nilai indeks pemampatan (C_c) menggunakan Persamaan 2.19 dan melakukan interpolasi nilai pada Tabel 2.19. Interpolasi nilai C_v pada kedalaman 450 (lapisan 1)

$$C_v = \frac{C_{v1} - C_{v2}}{\gamma_{sat1} - \gamma_{sat2}} (\gamma_{sat1} - \gamma_{sat}) + C_{v2}$$

Diketahui :

$$\gamma_{sat} = 1,294$$

$$\gamma_{sat1} = 1,3$$

$$\gamma_{sat2} = 1,2$$

$$C_{v1} = 8 \times 10^{-4}$$

$$C_{v2} = 7 \times 10^{-4}$$

$$C_v = \frac{(8 \times 10^{-4} - 7 \times 10^{-4}) \times (1,3 - 1,294)}{(1,3 - 1,2)} + 7 \times 10^{-4}$$

$$= 7,06 \times 10^{-4}$$

$$C_c = 0,009 (LL - 10)$$

Diketahui :

$$LL = 27$$

$$C_c = 0,009 \times (27 - 10)$$

$$= 0,153$$

Tabel 4.6 Rekapitulasi Nilai C_v dan C_c

No	H	γ_{dry}	C_v	C_c
1	450	12,690	0,000706	0,153
2	350	12,690	0,000706	0,108
3	1400	8,708	0,000212	0,171
4	300	8,708	0,000212	0,171
5	400	9,385	0,000286	0,279
6	500	11,395	0,000638	0,261
7	1800	8,365	0,000247	0,243
8	550	9,11	0,000442	0,126
9	1000	9,669	0,000328	0,225
10	300	8,914	0,000482	0,108

4.3.1 Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer (*Consolidation Settlement*)

Perhitungan untuk mencari nilai penurunan *normally consolidated* dapat dianalisa dengan Persamaan 2.10

$$S_p = \frac{C_c \times H}{1 + e_0} \log \frac{P_0 + \Delta P}{P_0}$$

Parameter Perhitungan Penurunan

Contoh perhitungan untuk lapisan tanah 1 (0.00 – 4.50 m)

Diketahui :

$$C_c = 0,153 \text{ cm}^2/\text{s}$$

$$e_0 = 1,037$$

$$H = 450 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}\gamma' &= 0,755 \text{ gr/cm}^3 \\ \gamma_{\text{timbunan}} &= 1,6312 \text{ gr/cm}^3 \\ H_{\text{timbunan}} &= 240 \text{ cm}\end{aligned}$$

Menentukan nilai I menggunakan Grafik Osterberg (1957)

$$I = 0,50$$

1. Tegangan *overburden* efektif (P_0)

$$\begin{aligned}P_0 &= \gamma' \times H \\ &= 0,755 \text{ gr/cm}^3 \times 450 \text{ cm} \\ &= 339,749 \text{ gr/cm}^2\end{aligned}$$

2. Distribusi Tegangan Tanah (ΔP)

$$\begin{aligned}q_0 &= \gamma_{\text{timbunan}} \times H_{\text{timbunan}} \\ &= 1,6312 \text{ gr/cm}^3 \times 240 \text{ cm} \\ &= 391,572 \text{ gr/cm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta P &= 2 \times q_0 \times I \\ &= 2 \times 391,572 \text{ gr/cm}^2 \times 0,50 \\ &= 391,572 \text{ gr/cm}^2\end{aligned}$$

Maka penurunan tanah yang terjadi pada lapisan tanah 1 adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}S_p &= \frac{Cc \times H}{1 + e_0} \log \frac{P_0 + \Delta P}{P_0} \\ S_p &= \frac{0,153 \times 450}{1 + 1,037} \log \frac{339,749 + 464,983}{339,749} \\ S_p &= 11,254 \text{ cm}\end{aligned}$$

Dilakukan perhitungan yang sama terhadap lapisan berikutnya. Rekapitulasi perhitungan penurunan tanah yang terjadi dapat dilihat pada Tabel 4.7 sebagai berikut :

Tabel 4.7 Rekapitulasi Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer

Lapisan	H (cm)	P0' (gr/cm ²)	ΔP (gr/cm ²)	e	Cc (cm ² /s)	Sp (cm)
1	450	339,749	391,572	1,037	0,153	11,254
2	350	264,249	391,572	1,904	0,108	5,139
3	1400	680,398	391,572	1,777	0,171	17,019
4	300	145,799	391,572	1,777	0,171	10,465
5	400	234,399	391,572	1,729	0,279	17,445
6	500	347,499	391,572	1,729	0,261	15,672
7	1800	786,607	391,572	2,061	0,243	20,071
8	550	310,752	391,572	1,835	0,126	8,656
9	1000	443,004	391,572	1,64	0,225	23,442
10	300	138,001	391,572	1,863	0,108	6,609
Penurunan Total						135,774

4.3.2 Perhitungan Derajat Konsolidasi Tanah tanpa PVD & PHD

Analisa Derajat Konsolidasi Tanah tanpa PVD

Diketahui data tanah sebagai berikut :

H ₁ = 450	C _{v1} = 0,000706
H ₂ = 350	C _{v2} = 0,000706
H ₃ = 1400	C _{v3} = 0,000212
H ₄ = 450	C _{v4} = 0,000212
H ₅ = 350	C _{v5} = 0,000286
H ₆ = 1400	C _{v6} = 0,000683
H ₇ = 450	C _{v7} = 0,000247
H ₈ = 350	C _{v8} = 0,000442
H ₉ = 1400	C _{v9} = 0,000382
H ₁₀ = 450	C _{v10} = 0,000482

$$\begin{aligned}
 C_v \text{ gab} &= \frac{(H_1+H_2+\dots+H_n)^2}{\left(\frac{H_1}{\sqrt{C_{v1}}} + \frac{H_2}{\sqrt{C_{v2}}} + \dots + \frac{H_n}{\sqrt{C_{vn}}}\right)^2} \\
 &= \frac{(450 + 350 + 1400)}{\left(\frac{450}{\sqrt{0,000706}} + \frac{350}{\sqrt{0,000706}} + \frac{1400}{\sqrt{0,000212}}\right)} \\
 &\quad \frac{300 + 400 + 500}{\left(\frac{300}{\sqrt{0,000212}} + \frac{400}{\sqrt{0,000286}} + \frac{500}{\sqrt{0,000638}}\right)} \\
 &\quad \frac{1800 + 550 + 1000 + 300)^2}{\left(\frac{1800}{\sqrt{0,000247}} + \frac{550}{\sqrt{0,000442}} + \frac{1000}{\sqrt{0,000328}} + \frac{300}{\sqrt{0,000482}}\right)} \\
 &= 0,000311 \text{ cm}^2/\text{s} \\
 &= 0,00269 \text{ m}^2/\text{day}
 \end{aligned}$$

Perhitungan faktor waktu (T_v) pada hari pertama dihitung menggunakan Persamaan 2.25

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

Diketahui =

$$t = 1$$

$$H = \frac{70,5}{2}$$

$$\begin{aligned} T_v &= \frac{0,00269 \times 1}{\left(\frac{70,5}{2}\right)^2} \\ &= 0,00000216 \end{aligned}$$

Analisa derajat konsolidasi arah vertikal (U_v) pada hari pertama menggunakan Persamaan 2.29

Untuk $U_v < 60\%$, maka U_v adalah :

$$U_v = \frac{n \sqrt{\frac{4T_v}{\pi}}}{\left(1 + \left(\frac{4T_v}{\pi}\right)^{2,8}\right)^{0,179}}$$

Diketahui =

$$n = 4$$

$$T_v = 0,00000216$$

$$\begin{aligned} U_v &= \frac{\sqrt{4 \times 0,00000216} \times \pi}{\left(1 + \left(\frac{4 \times 0,00000216}{\pi}\right)^{2,8}\right)^{0,179}} \\ &= 0,00166 \end{aligned}$$

$$S = U_v \times 1,35774$$

$$= 0,00166 \times 1,35774$$

$$= 0,00226 \text{ m}$$

Hasil analisa derajat konsolidasi tanpa menggunakan PVD dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Rekapitulasi Derajat Konsolidasi Arah Vertikal (Cv) Tanpa PVD

t (Hari)	Cv gab (m ² /day)	Tv	Uv	S (m)
1	0,00269	2,2E-06	0,001662	0,00226
10	0,00269	2,2E-05	0,005255	0,00714
100	0,00269	0,00022	0,016618	0,02256
1000	0,00269	0,00217	0,052552	0,07135
10000	0,00269	0,02168	0,166183	0,22563
100000	0,00269	0,2168	0,522999	0,71010
150000	0,00269	0,32519	0,634321	0,86124
200000	0,00269	0,43359	0,720441	0,97817
250000	0,00269	0,54199	0,787001	1,06854
300000	0,00269	0,65039	0,837673	1,13734
350000	0,00269	0,75878	0,875687	1,18895
360000	0,00269	0,78046	0,882034	1,19757
370000	0,00269	0,80214	0,888014	1,20569
380000	0,00269	0,82382	0,893648	1,21334
390000	0,00269	0,8455	0,898956	1,22055
392100	0,00269	0,85006	0,900031	1,22201

4.3.3 Perhitungan Derajat Konsolidasi Tanah Menggunakan PVD & PHD

Analisa derajat konsolidasi tanah menggunakan PVD yang dilaksanakan dengan pola segitiga dengan jarak 0,9 m, berikut perhitungan derajat konsolidasinya :

$$Cv \text{ gabungan} = \frac{(H_1+H_2+\dots+H_n)^2}{\left(\frac{H_1}{\sqrt{Cv_1}} + \frac{H_2}{\sqrt{Cv_2}} + \dots + \frac{H_n}{\sqrt{Cv_n}}\right)^2}$$

Menurut perhitungan pada subbab 4.3.2, maka didapat

$$Cv \text{ gab} = 0,00269 \text{ m}^2/\text{day}$$

Analisa faktor waktu (Tv) pada hari pertama adihitung dengan menggunakan Persamaan 2.25

$$Tv = \frac{Cv \times t}{H^2}$$

Diketahui :

$$t = 1$$

$$H = \frac{70,5}{2}$$

$$T_v = \frac{0,00269 \times 1}{\left(\frac{70,5}{2}\right)^2}$$

$$= 0,00081$$

Analisa derajat konsolidasi arah vertikal menggunakan (U_v) pada hari pertama menggunakan Persamaan 2.29

$$U_v = \frac{\sqrt{\frac{n \cdot 4T_v}{\pi}}}{\left(1 + \left(\frac{4T_v}{\pi}\right)^{2,8}\right)^{0,179}}$$

$$= \frac{\sqrt{\frac{4 \times 0,00081}{\pi}}}{\left(1 + \left(\frac{4 \times 0,00081}{\pi}\right)^{2,8}\right)^{0,179}}$$

$$= 0,0323$$

$$S = U_v \times 1,35774$$

$$= 0,032 \times 1,35774 \text{ m}$$

$$= 0,3514 \text{ m}$$

Analisa koefisien konsolidasi horizontal (C_H) menggunakan Persamaan 2.16

$$C_h = 1,5 \times C_v \text{ gab}$$

$$C_h = 1,5 \times 0,00269$$

$$= 0,00404 \text{ m}^2/\text{day}$$

Analisa diameter ekuivalen (D_w) *vertical drain* menggunakan Persamaan 2.33

$$D_w = \frac{2(a+b)}{\pi}$$

Diketahui

$$a = 0,12$$

$$b = 0,033$$

$$D_w = \frac{2(0,12 + 0,033)}{\pi}$$

$$= 0,0974 \text{ m}$$

Analisa faktor hambatan akibat jarak PVD ($F(n)$) menggunakan Persamaan 2.32

$$F(n) = \ln\left(\frac{De}{Dw}\right) - \frac{3}{4}$$

Diketahui :

$$De = 0,945 \text{ m}$$

$$Dw = 0,0974 \text{ m}$$

$$F(n) = \ln\frac{0,945}{0,0974} - \frac{3}{4}$$

$$= 1,522$$

Perhitungan faktor waktu horizontal (Th) dengan menggunakan Persamaan 2.26

$$Th = \frac{Ch \times t}{de^2}$$

Diketahui :

$$Ch, \text{m}$$

$$U_H = 1 - \text{Exp}\left(\frac{-8Th}{F(n)}\right)$$

Diketahui :

$$Th = 0,00452$$

$$F = 1,522$$

$$UH = 1 - \exp\frac{-8 \times 0,00452}{1,522}$$

$$= 0,234$$

Analisa derajat konsolidasi tanah (U) dengan menggunakan Persamaan 2.34

$$U = 1 - (1 - Uv)(1 - Ur)$$

Diketahui :

$$Uv = 0,03239$$

$$Ur = 0,02346$$

$$U = 1 - [(1 - 0,03239) \times (1 - 0,02346)]$$

$$= 0,258$$

Hasil perhitungan derajat konsolidasi menggunakan PVD yang dipasang menggunakan pola segitiga dan dengan jarak pemasangan 0,9 meter dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Rekapitulasi Hasil Analisis Derajat Konsolidasi Menggunakan PVD dengan Pola Segitiga dan Jarak 0,9 m

T (Hari)	Tv	Cv (m ² /day)	Uv	Ch (m ² /day)	Th	Uh	U	S (m)
1	8,069E-04	2,685E-03	3,206E-02	4,028E-03	4,511E-03	2,343E-01	2,588E-01	3,514E-01
10	8,050E-03	2,685E-03	1,013E-01	4,028E-03	4,511E-02	2,110E-01	2,909E-01	3,950E-01
20	1,610E-02	2,685E-03	1,432E-01	4,028E-03	9,022E-02	3,775E-01	4,667E-01	6,336E-01
30	2,415E-02	2,685E-03	1,754E-01	4,028E-03	1,353E-01	5,089E-01	5,950E-01	8,079E-01
40	3,219E-02	2,685E-03	2,025E-01	4,028E-03	1,804E-01	6,125E-01	6,910E-01	9,382E-01
50	4,024E-02	2,685E-03	2,264E-01	4,028E-03	2,255E-01	6,943E-01	7,635E-01	1,037E+00
60	4,829E-02	2,685E-03	2,480E-01	4,028E-03	2,706E-01	7,588E-01	8,186E-01	1,111E+00
70	5,634E-02	2,685E-03	2,679E-01	4,028E-03	3,158E-01	8,097E-01	8,607E-01	1,169E+00
80	6,439E-02	2,685E-03	2,863E-01	4,028E-03	3,609E-01	8,499E-01	8,929E-01	1,212E+00
85	6,841E-02	2,685E-03	2,951E-01	4,028E-03	3,834E-01	8,667E-01	9,060E-01	1,230E+00
90	7,243E-02	2,685E-03	3,037E-01	4,028E-03	4,060E-01	8,816E-01	9,175E-01	1,246E+00
100	8,048E-02	2,685E-03	3,201E-01	4,028E-03	4,511E-01	9,066E-01	9,365E-01	1,271E+00
110	8,853E-02	2,685E-03	3,357E-01	4,028E-03	4,962E-01	9,263E-01	9,510E-01	1,291E+00
120	9,658E-02	2,685E-03	3,506E-01	4,028E-03	5,413E-01	9,418E-01	9,622E-01	1,306E+00
130	1,046E-01	2,685E-03	3,648E-01	4,028E-03	5,864E-01	9,541E-01	9,709E-01	1,318E+00
140	1,127E-01	2,685E-03	3,786E-01	4,028E-03	6,315E-01	9,638E-01	9,775E-01	1,327E+00
150	1,207E-01	2,685E-03	3,918E-01	4,028E-03	6,766E-01	9,714E-01	9,826E-01	1,334E+00
160	1,288E-01	2,685E-03	4,046E-01	4,028E-03	7,217E-01	9,775E-01	9,866E-01	1,340E+00
190	1,529E-01	2,685E-03	4,405E-01	4,028E-03	8,570E-01	9,889E-01	9,938E-01	1,349E+00
220	1,771E-01	2,685E-03	4,736E-01	4,028E-03	9,924E-01	9,946E-01	9,971E-01	1,354E+00
250	2,012E-01	2,685E-03	5,043E-01	4,028E-03	1,128E+00	9,973E-01	9,987E-01	1,356E+00
280	2,253E-01	2,685E-03	5,329E-01	4,028E-03	1,263E+00	9,987E-01	9,994E-01	1,357E+00
310	2,495E-01	2,685E-03	5,598E-01	4,028E-03	1,398E+00	9,994E-01	9,997E-01	1,357E+00
340	2,736E-01	2,685E-03	5,850E-01	4,028E-03	1,534E+00	9,997E-01	9,999E-01	1,358E+00
360	2,897E-01	2,685E-03	6,011E-01	4,028E-03	1,624E+00	9,998E-01	9,999E-01	1,358E+00
365	2,937E-01	2,685E-03	6,050E-01	4,028E-03	1,646E+00	9,998E-01	9,999E-01	1,358E+00

4.3.4 Tahap Perhitungan Menggunakan Program Plaxis 8.6

Tahap perhitungan masa konstruksi Pekerjaan Jalan Tol Semarang – Demak terdiri dari tahap. Tahapan – tahapan yang terjadi dijelaskan pada Tabel 4.8 sebagai berikut :

Tabel 4.10 Phase Perhitungan

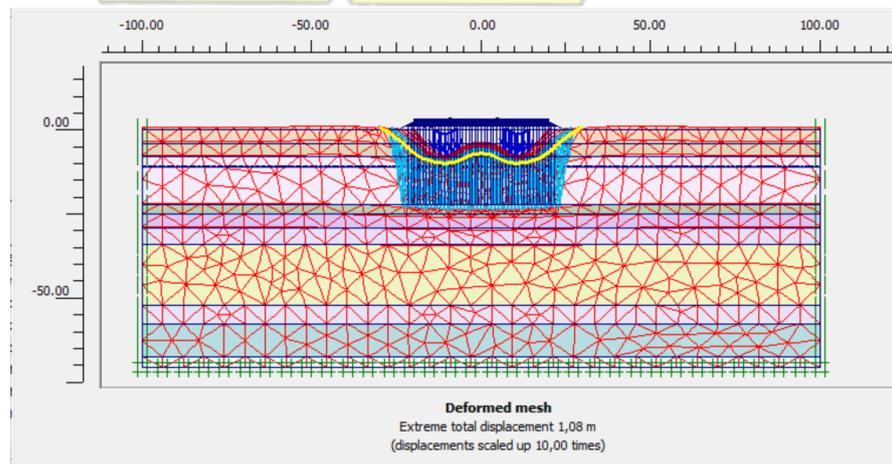
<i>Identification</i>	<i>Phases</i>	<i>Start From</i>	<i>Calculation</i>	<i>Loading Input</i>	<i>Time</i>
<i>Initial phase</i>	0	0	<i>N/A</i>	<i>N/A</i>	<i>0 day</i>
Timbunan platform	1	0	<i>Plastic</i>	<i>Stage Construcion</i>	<i>11 days</i>
Pemasangan PVD	2	1	<i>Plastic</i>	<i>Stage Construcion</i>	<i>7 days</i>
Timbunan 160 cm	3	2	<i>Consolidation</i>	<i>Stage Construcion</i>	<i>2 days</i>
Masa Tunggu 1	4	3	<i>Consolidation</i>	<i>Stage Construcion</i>	<i>64 days</i>
Timbunan 200 cm	5	4	<i>Consolidation</i>	<i>Stage Construcion</i>	<i>1 day</i>
Masa Tunggu 2	6	5	<i>Consolidation</i>	<i>Stage Construcion</i>	<i>2 days</i>
Timbunan 240 cm	7	6	<i>Consolidation</i>	<i>Stage Construcion</i>	<i>4 days</i>
Masa Tunggu 3	8	7	<i>Consolidation</i>	<i>Stage Construcion</i>	<i>1 day</i>
Pekerjaan Jalan	9	8	<i>Plastic</i>	<i>Stage Construcion</i>	<i>30 days</i>
Beban Jalan	10	9	<i>Plastic</i>	<i>Stage Construcion</i>	<i>1 day</i>
Konsolidasi 1 Tahun	11	10	<i>Consolidation</i>	<i>Stage Construcion</i>	<i>365 days</i>
Konsolidasi 3 Tahun	12	11	<i>Consolidation</i>	<i>Stage Construcion</i>	<i>1095 days</i>
Konsolidasi 10 Tahun	13	12	<i>Consolidation</i>	<i>Stage Construcion</i>	<i>3650 days</i>
<i>Safety factor 1 tahun</i>	14	13	<i>Phi/c reduction</i>	<i>Incremental multipliers</i>	<i>0</i>
<i>Safety factor 3 tahun</i>	15	14	<i>Phi/c reduction</i>	<i>Incremental multipliers</i>	<i>0</i>
<i>Safety factor 10 tahun</i>	16	15	<i>Phi/c reduction</i>	<i>Incremental multipliers</i>	<i>0</i>

4.4 Hasil Perhitungan

4.4.1 Output Konsolidasi 1 Tahun

Berikut adalah hasil perhitungan dari Program Plaxis :

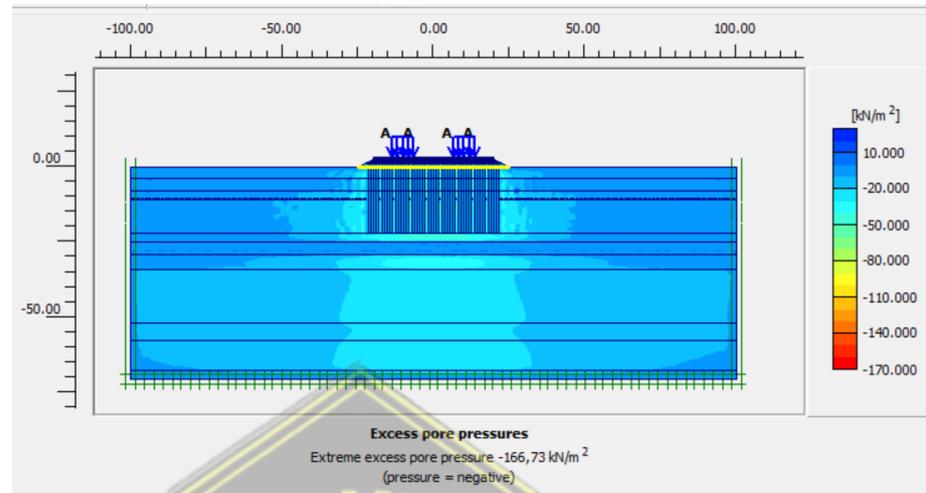
- Total Penurunan Tanah
Setelah konsolidasi selama 1 tahun, penurunan yang terjadi senilai 1,08 m dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Total Penurunan Tanah 1 Tahun

- Tekanan Air Pori Berlebih

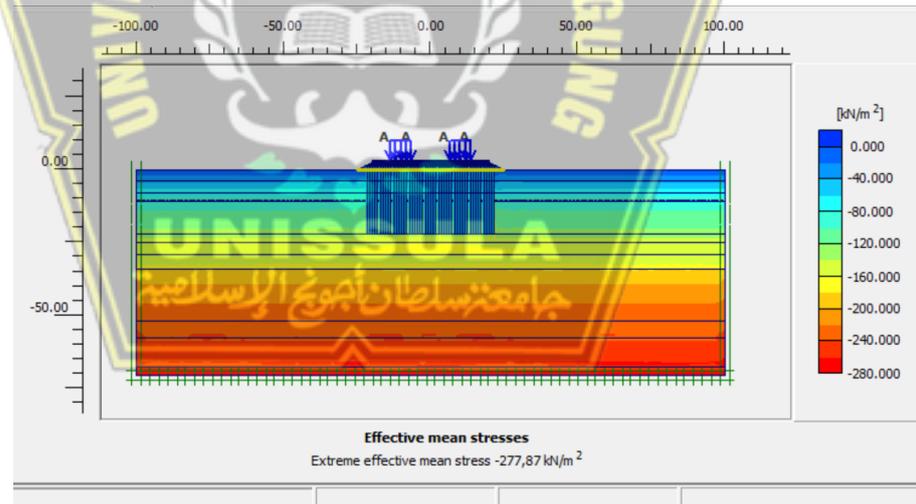
Tekanan air pori berlebih setelah konsolidasi selama 1 tahun adalah senilai $-166,73 \text{ kN/m}^2$, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Tekanan Air Pori Berlebih 1 Tahun

- Tegangan Efektif Rata – Rata

Tegangan efektif rata – rata setelah konsolidasi 1 tahun adalah senilai $-277,87 \text{ kN/m}^2$, seperti pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Tegangan Efektif Rata – Rata 1 Tahun

- *Safety Factor*

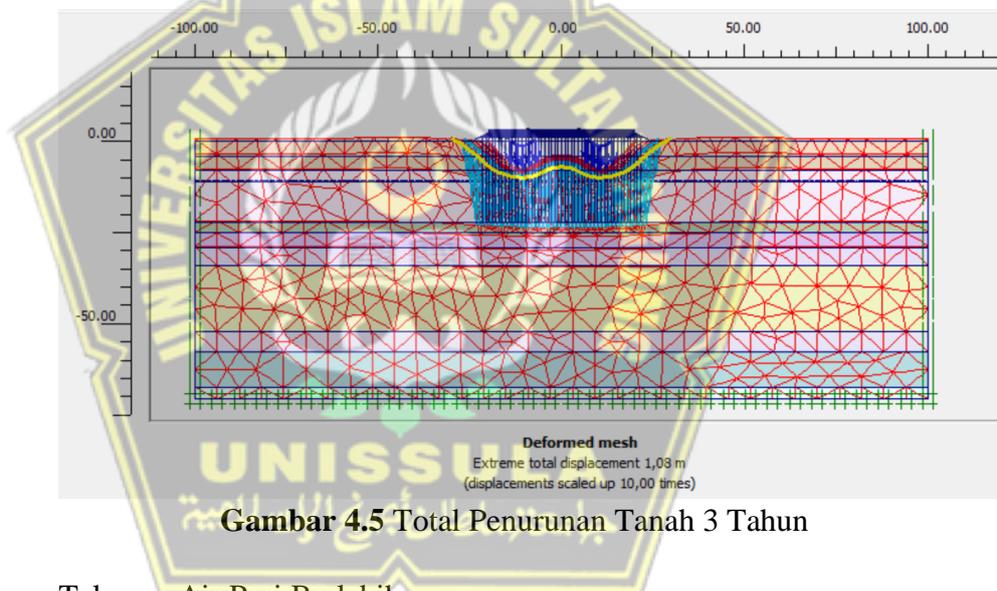
Safety factor setelah konsolidasi selama 1 tahun yaitu senilai 1,6416 , dapat dilihat pada Gambar 4.4.

Incremental multipliers		Total multipliers	
Mdisp:	0,0000	Σ -Mdisp:	1,0000
MloadA:	0,0000	Σ -MloadA:	1,0000
MloadB:	0,0000	Σ -MloadB:	1,0000
Mweight:	0,0000	Σ -Mweight:	1,0000
Maccel:	0,0000	Σ -Maccel:	0,0000
Msf:	0,1000	Σ -Msf:	1,6416

Gambar 4.4 *Safety Factor 1 Tahun*

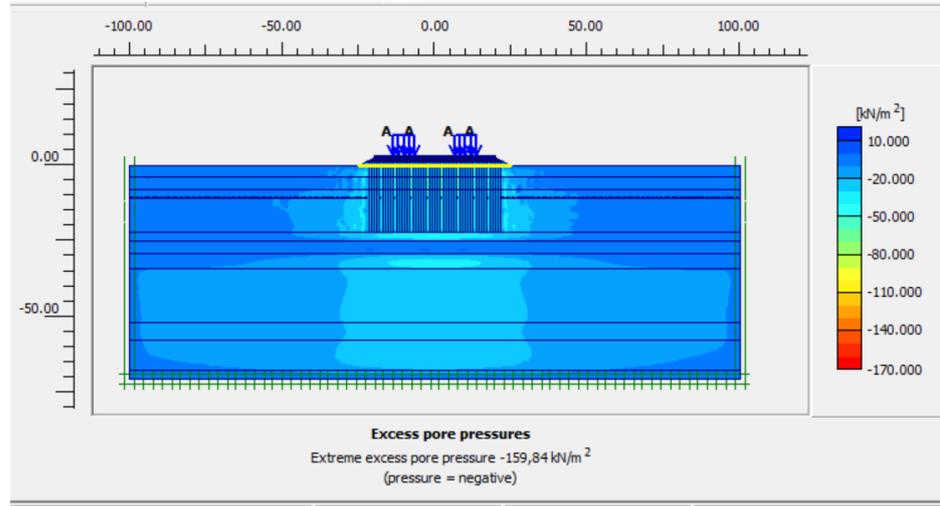
4.4.2 Output Konsolidasi 3 Tahun

- **Total Penurunan Tanah**
Setelah konsolidasi selama 3 tahun, penurunan yang terjadi senilai 1,08 m dapat dilihat pada Gambar 4.5.



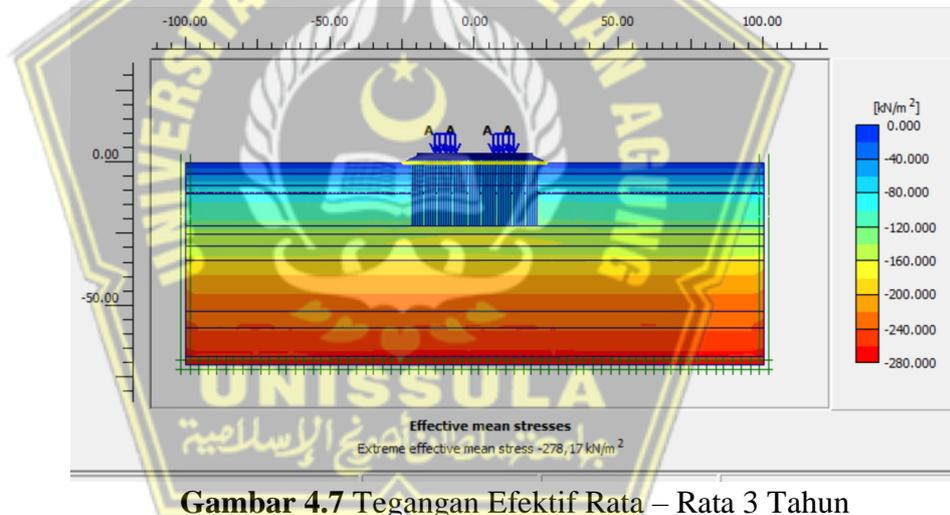
Gambar 4.5 Total Penurunan Tanah 3 Tahun

- **Tekanan Air Pori Berlebih**
Tekanan air pori berlebih setelah konsolidasi selama 3 tahun adalah senilai $-159,84 \text{ kN/m}^2$, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Tekanan Air Pori Berlebih 3 Tahun

- Tegangan Efektif Rata – Rata
Tegangan efektif rata – rata setelah konsolidasi 3 tahun adalah senilai $-278,17 \text{ kN/m}^2$, seperti pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Tegangan Efektif Rata – Rata 3 Tahun

- *Safety Factor*
Safety factor setelah konsolidasi selama 3 tahun yaitu senilai 1,7843 , dapat dilihat pada Gambar 4.8.

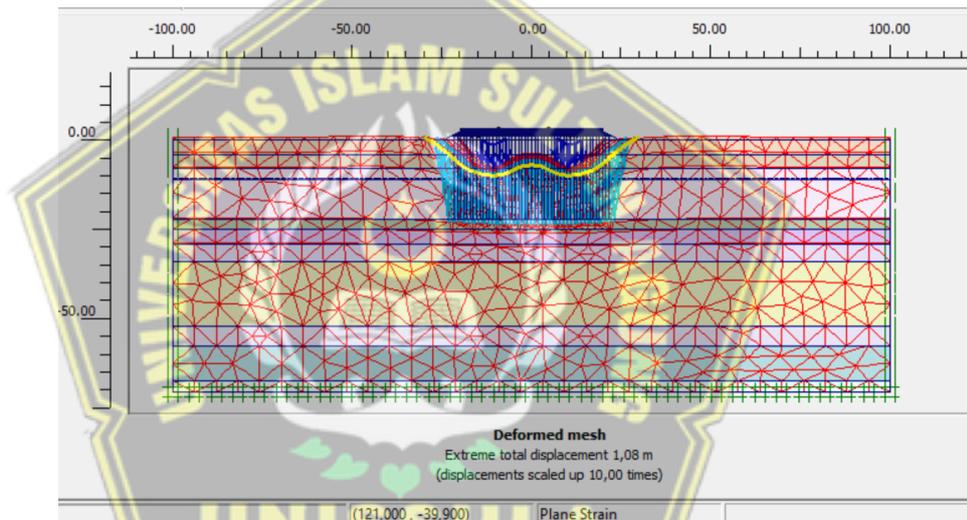
Incremental multipliers		Total multipliers	
Mdisp:	0,0000	Σ -Mdisp:	1,0000
MloadA:	0,0000	Σ -MloadA:	1,0000
MloadB:	0,0000	Σ -MloadB:	1,0000
Mweight:	0,0000	Σ -Mweight:	1,0000
Maccel:	0,0000	Σ -Maccel:	0,0000
Msf:	0,1000	Σ -Msf:	1,7843

Gambar 4.8 Safety Factor 3 Tahun

4.4.3 Output Konsolidasi 10 Tahun

- Total Penurunan Tanah

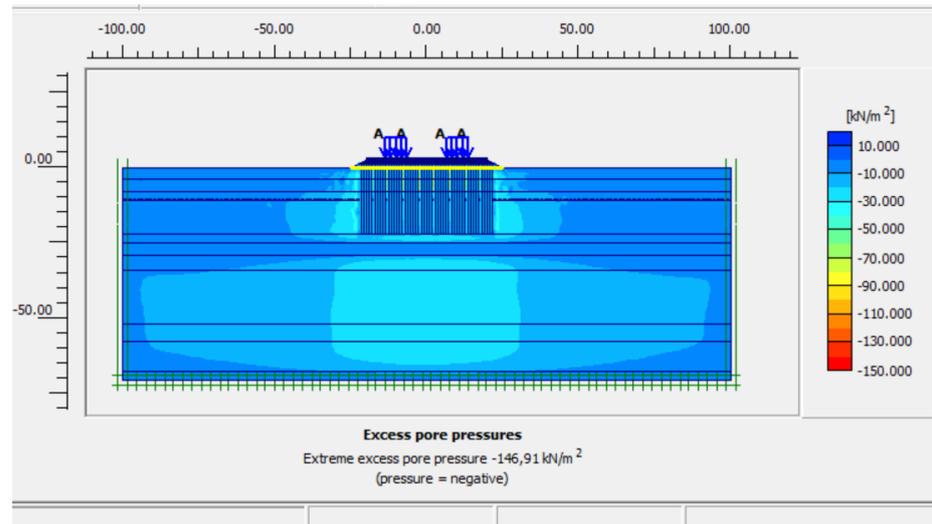
Setelah konsolidasi selama 10 tahun, penurunan yang terjadi senilai 1,08 m dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Total Penurunan Tanah 10 Tahun

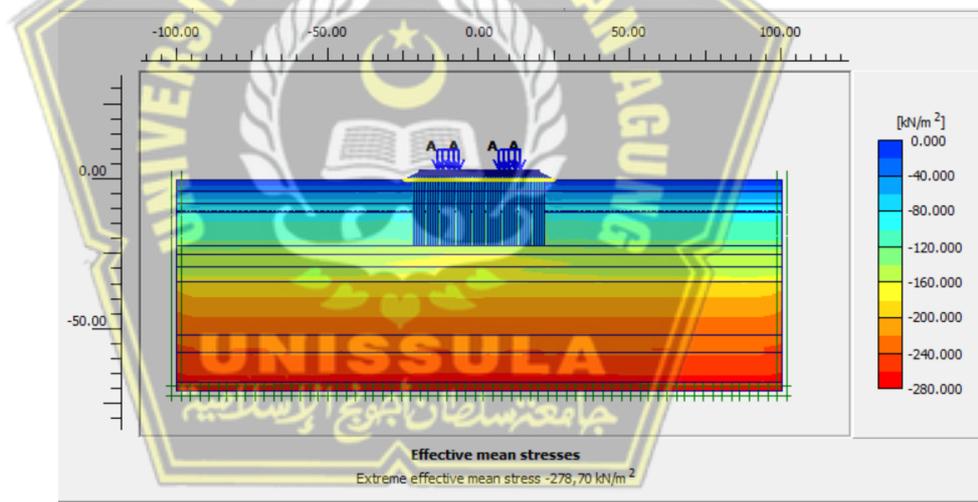
- Tekanan Air Pori Berlebih

Tekanan air pori berlebih setelah konsolidasi selama 10 tahun adalah senilai $-146,91 \text{ kN/m}^2$, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Tekanan Air Pori Berlebih 10 Tahun

- Tegangan Efektif Rata – Rata
Tegangan efektif rata – rata setelah konsolidasi 10 tahun adalah senilai $-278,70 \text{ kN/m}^2$, seperti pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Tegangan Efektif Rata – Rata 10 Tahun

- *Safety Factor*
Safety factor setelah konsolidasi selama 10 tahun yaitu sebesar 1,7119 , dapat dilihat pada Gambar 4.12.

Incremental multipliers		Total multipliers	
Mdisp:	0,0000	Σ -Mdisp:	1,0000
MloadA:	0,0000	Σ -MloadA:	1,0000
MloadB:	0,0000	Σ -MloadB:	1,0000
Mweight:	0,0000	Σ -Mweight:	1,0000
Maccel:	0,0000	Σ -Maccel:	0,0000
Msf:	0,1000	Σ -Msf:	1,7119

Gambar 4.12 Safety Factor 10 Tahun

4.5 Hasil Analisa

1. Hasil analisis total perhitungan penurunan tanah dengan konsolidas primer metode *Terzaghi* adalah sebesar 1,35 m.
2. Berdasarkan pada perhitungan manual *Terzaghi* tanpa menggunakan PVD dan PHD terhadap menggunakan PVD dan PHD didapatkan perbandingan waktu dan penurunan untuk mencapai konsolidasi 90% dijelaskan pada Tabel 4.11 di bawah ini.

Tabel 4.11 Hasil Perhitungan untuk Mencapai Derajat Konsolidasi 90%

	Derajat Konsolidasi 90%	
	Waktu (hari)	Penurunan (m)
Tanpa PVD & PHD	392100	1,22
Dengan PVD & PHD	85	1,23

Pada Tabel 4.9 bisa ditarik kesimpulan bahwa waktu yang dibutuhkan tanah untuk mencapai derajat konsolidasi 90% tanpa PVD dan PHD adalah selama 392.100 hari dan juga didapatkan penurunan sebesar 1,23 m. Sedangkan untuk mencapai derajat konsolidasi 90% menggunakan PVD dan PHD membutuhkan waktu selama 85 hari dan didapatkan penurunan sebesar 1,23 m.

3. Perbandingan penurunan tanah dengan perhitungan manual dan program plaxis 8.6 dapat dilihat pada Tabel 4.12 di bawah ini.

Tabel 4.12 Perbandingan Penurunan Tanah

Waktu	Perhitungan manual (m)	Program Plaxis (m)
1 Tahun	1,35	1,08
3 Tahun	1,35	1,08
10 Tahun	1,35	1,08

Ada perbedaan penurunan antara perhitungan metode *Terzaghi* dan plaxis sebesar 0,27 m.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa pada bab sebelumnya untuk permodelan timbunan dengan metode timbunan dikombinasikan *Prefabricated Horizontal Drain* (PVD) dan *Prefabricated Horizontal Drain* (PHD) pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang –Demak Sta 20+300 - Sta 20+500 menggunakan Program Aplikasi Software Plaxis 8.6 dan perhitungan manual Metode *Terzaghi* dapat disimpulkan seperti berikut ini :

1. Berdasarkan hasil analisis permodelan timbunan dengan menggunakan Program Aplikasi Software Plaxis 8.6 diperoleh besar penurunan tanah dengan waktu konsolidasi 1 tahun, 3 tahun, dan 10 tahun yang sama yaitu sebesar 1,08 m.
2. Melihat dari hasil - hasil perhitungan yang telah dilakukan dengan menggunakan Metode *Terzaghi*, dengan PVD & PHD serta derajat konsolidasi 90% terjadi pada hari ke-85 dengan besar penurunan tanah sebesar 1,23 m. Sedangkan tanpa PVD & PHD dan derajat konsolidasi 90% terjadi pada hari ke-392100 dengan penurunan tanah sebesar 1,22 m.
3. Dari perhitungan yang telah dilakukan pada bab- bab sebelumnya kita dapat mengetahui bahwa perbandingan perhitungan penurunan tanah dengan Perhitungan Manual Metode *Terzaghi* dan Program Aplikasi Software Plaxis 8.6 didapatkan hasil yang hampir sama dengan penurunan yang terjadi di lapangan, yaitu terjadi penurunan tanah sebesar 1,2 m.

5.2 Saran

Selama Pengerjaan Tugas Akhir ini kami dapat memberikan masukan dan saran seperti berikut ini:

1. Pastikan aplikasi plaxis yang akan di install dari sumber yang tepat dan merupakan versi yang paling baru dan ter-update. Jika menggunakan aplikasi plaxis yang versi lama akan menyulitkan saat pekerjaan, karena selalu ada notifikasi untuk memperbaharui menjadi aplikasi dengan versi terbaru.
2. Sebelum memulai pekerjaan dalam plaxis, pahami dahulu langkah-langkah pembuatan struktur yang benar, agar tidak menyulitkan saat pertengahan pengerjaan. Jika salah langkah, harus memulai dari awal atau perhitungan plaxis akan berbeda dengan yang ada di lapangan dan menjadi kurang akurat.
3. Saat memasukan data lapangan pada plaxis pastikan sudah mendapatkan semua data yang dibutuhkan untuk dimasukan kedalam aplikasi plaxis, dan saat memasukan data lapangan masukan dengan benar, cermat, dan teliti, karena jika salah sedikit akan mempengaruhi perhitungan plaxis yang berakibat output akan sangat berbeda dengan yang akan terjadi di lapangan.
4. Aplikasi plaxis ini termasuk aplikasi yang berat, maka harus sering menyimpan progress yang sudah dikerjakan. Karena jika sudah selesai menggambar struktur sampai akhir dan tidak di save lalu laptop tiba-tiba mati daya atau terkadang aplikasi tidak dapat merespon , pekerjaan kita tidak tersimpan dan harus memulai dari awal.

DAFTAR PUSTAKA

- Bimantara, Denni, dan Pradana, Ardi Yudha, 2018. Analisis Perkuatan Geotextile Pada Timbunan Menggunakan Program Plaxis V8.2. Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
- Bjerrum, L., dan Simons, N. E., 1960. *Comprison of Shear Strength Characteristic of Normally Consolidated Clay*. Research Conference on Shear Strength of Cohesive Soils.
- Bowles, J. E., 1991. Sifat – sifat Fisis dan Geoteknis Tanah. PT. Erlangga. Jakarta.
- Das, B. M. 1993. Mekanika Tanah, Prinsip – Prinsip Rekayasa Geoteknis, Jilid 1, Erlangga : Jakarta.
- Das, B. M. 1993. Mekanika Tanah, Prinsip – Prinsip Rekayasa Geoteknis, Jilid 2, Erlangga : Jakarta
- Das, B. M. 1995. Mekanika Tanah, Prinsip – Prinsip Rekayasa Geoteknis, Jilid 1, Erlangga : Jakarta
- Das, B. M. 1998. Mekanika Tanah, Prinsip – Prinsip Rekayasa Geoteknis, Jilid 1, Erlangga : Jakarta
- Viona, D. V. 2021. “Analisis Konsolidasi Tanah Lunak Menggunakan Perkuatan Geotextile Akibat Preloading Dikombinasikan Dengan PVD dan PHD”. Tugas Akhir. Semarang. Universitas Islam Sultan Agung
- Begeman, Myron L. 1965. Teknologi Mekanika. Jakarta : Erlangga
- [BSN] Badan Standarisasi Nasional. 2008. SNI 4138 – 2008. Cara Uji Penetrasi Lapangan dengan SPT. Badan Standarisasi Nasional : Jakarta
- Irsyam, Mahsyur. 2012. Rekayasa Pondasi. ITB Press : Bandung
- T, Whilliam, Whitman, Robert V.1962. *Soil Mechanics*.
- Efendi, Aflah Baihaqi, 2019. Evaluasi Penurunan Akhir Tanah Di Lapangan Menggunakan Metode Observasional : Asaoka Dan Hiperbolik Pada Proyek PPKA Seksi 2 Palembang Sumatera Selatan. Jurusan Teknik Sipil Universitas Jember.
- Hardiyatmo, G. C., 2002, Mekanika Tanah Jilid 1. Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Lambe, T. W & Whitman, R.V. 1969. *Soil Mechanics*, Massachusetts Institute of Technology.

- Lilabsari, Zahra Febrina, 2018. Evaluasi Perbaikan Tanah Lunak Menggunakan Instrument Geoteknik Pada Pembangunan Kawasan Kota Summarecon Bandung Area Cluster Amanda Dan Btari Dengan Penggunaan *Preloading* Dan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD), Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
- Manihuruk, Jeremy Natama, 2019. Evaluasi Derajat Konsolidasi Timbunan Menggunakan Preloading Dan PVD Dengan Metode Asaoka. Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara.
- Mayerhoff, G. G., 1976. Proceeding ASCE Vol. 102, American Society of Civil Engineering, 1976.
- Michael, 2017. Analisis Konsolidasi Tanah Lunak Menggunakan Preloading Dan PVD Dengan Metode Analitis Dan Metode Elemen Hingga. Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara.
- Pratikso. 2013. Mekanika Tanah II, Bahan Ajar : Program S1 Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil UNISSULA.
- Pratikso, 2014, Topik Khusus Geoteknik, Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung, Semarang.
- Terzaghi, K. And Peck, R. B., 1967, *Soil Mechanics in Engineering Practice*, New York : John Wiley & Sons, Inc.
- Verhoef, PNW., 1994, Geologi Untuk Teknik Sipil, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Wesley, L. D., 1977, Mekanika Tanah. Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Winner, D, 2017. Perbaikan Tanah Dasar Menggunakan Prefabricated Vertical Drain Dengan Variasi Kedalaman Dan Perkuatan Lereng Dengan Turap, Surabaya : Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Nazali, Wahyu dan Tegar A. U. 2021. “Analisis Konsolidasi Tanah dengan Menggunakan *Vacuum Consolidation Methode*. Tugas Akhir. Semarang. Universitas Islam Sultan Agung.
- Muni Budhu, *Soil Mechanics and Foundations*. John Wiley & Sons. Inc, 2007
- Wesley. 1997. *Soil Mechanics*. Pekerjaan Umum : 1997

Yeung, Albert T. 2011. *On The Effectiveness of Sand Drains*. Canadian Geotechnical Journal.

Fitriyana, Lisa. “Pengaruh Feldspar Dan Ampas Tebu Terhadap Propertis Tanah Ekspansif”. Jurnal. 2019. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung.

