

TUGAS AKHIR

**EFEKTIVITAS METODE PERKUATAN TANAH LUNAK
PADA TIMBUNAN DENGAN KOMBINASI CERUCUK
MATRAS BAMBU DAN GEOTEKSTIL**

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



Disusun Oleh :

Miftahul Umi Qomariyah

30202100126

Rizki Fatonah

30202100186

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

2025

TUGAS AKHIR

**EFEKTIVITAS METODE PERKUATAN TANAH LUNAK
PADA TIMBUNAN DENGAN KOMBINASI CERUCUK
MATRAS BAMBU DAN GEOTEKSTIL**

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



Disusun Oleh :

Miftahul Umi Qomariyah

30202100126

Rizki Fatonah

30202100186

**PROGAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS
ISLAM SULTAN AGUNG**

2025

LEMBAR PENGESAHAN

EFEKTIVITAS METODE PERKUATAN TANAH LUNAK PADA TIMBUNAN
DENGAN KOMBINASI CERUCUK MATRAS BAMBU DAN GEOTEKSTIL

Diajukan oleh :



Miftahul Umi Qomariyah

NIM : 30202100126



Rizki Fatonah

NIM : 30202100039

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, Januari 2025

Tim Penguji

1. **Ir. Lisa Fitriyana, ST., M.Eng.**
NIDN: 0631128901
2. **Dr. Abdul Rochim, ST., MT**
NIDN: 0608067601

Tanda Tangan

Mengetahui

Ketua Program Studi Teknik Sipil

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

NIDN: 0625059102

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No : 42M/ A.2 / SA – T / I / 2025

Pada hari ini tanggal 30 September 2024 berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing :

Nama : Ir. Lisa Fitriyana, ST., M.Eng.
Jabatan Akademik : Lektor
Jabatan : Dosen Pembimbing Pendamping

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

Miftahul Umi Qomariyah
NIM : 30202100126

Rizki Fatonah
NIM : 30202100186

Judul : “EFEKTIVITAS METODE PERKUATAN TANAH LUNAK PADA TIMBUNAN DENGAN KOMBINASI CERUCUK MATRAS BAMBU DAN GEOTEKSTIL”

Dengan tahapan Sebagai Berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan Dosen Pembimbing	30/09/2024	ACC
2	Seminar Proposal	21/11/2024	ACC
3	Pengumpulan Data	25/11/2024	ACC
4	Analisis Data	27/11/2024	ACC
5	Penyusunan Laporan	1/12/2024	ACC
6	Selesai Laporan	16/1/2025	ACC

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

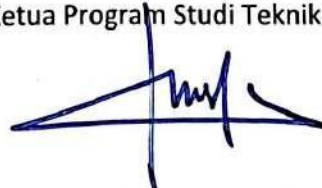
Dosen Pembimbing



Ir. Lisa Fitriyana, ST., M.Eng.

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

1. NAMA : Miftahul Umi Qomariyah
NIM : 30202100126
2. NAMA : Rizki Fatonah
NIM : 30202100186

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :
EFEKTIVITAS METODE PERKUATAN TANAH LUNAK PADA TIMBUNAN
DENGAN KOMBINASI CERUCUK MATRAS BAMBU DAN GEOTEKSTIL

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, 2025

Yang Membuat Pernyataan

Yang Membuat Pernyataan,



Miftahul Umi Qomariyah

Rizki Fatonah

NIM : 30202100126

NIM : 30202100186

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

1. NAMA : Miftahul Umi Qomariyah
NIM : 30202100126
2. NAMA : Rizki Fatonah
NIM : 30202100186

Judul: "EFEKTIVITAS METODE PERKUATAN TANAH LUNAK PADA TIMBUNAN DENGAN KOMBINASI CERUCUK MATRAS BAMBU DAN GEOTEKSTIL "

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

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

Semarang, 2025
Yang Membuat Pernyataan Yang Membuat Pernyataan,

Miftahul Umi Qomariyah
NIM : 30202100126

Rizki Fatonah
NIM : 30202100186

MOTTO

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

(Q.S. Ali ‘Imran : 110)

“Barangsiapa yang keluar untuk menuntut ilmu, maka ia berada di jalan Allah hingga ia pulang”.

(HR Tirmidzi)

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan.”

(QS. Al-Insyirah: 5-6)

“Raihlah mimpimu kejarlah cita-citamu, jangan pernah menyerah untuk jadi yang terbaik.”

(Liem Swi)



PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Segala puji bagi Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya, kami memohon pertolongan, pengampunan serta petunjuk-Nya. Serta Shalawat dan salam senantiasa tercurahkan kepada Nabi Besar Muhammad SAW. Dengan ini, saya persembahkan laporan Tugas Akhir ini kepada :

1. Yang paling utama untuk kedua orang tua saya tercinta, Bapak Nono Sutono dan Ibu saya Anik Sumarni yang selalu memberikan doa, kasih sayang, dukungan tiada henti, dari segala bentuk motivasi dan materil. Terima kasih telah menjadi panutan dan sumber semangat dalam menjalani hari.
2. Ibu Ir. Lisa Fitriyana ST.,M.Eng selaku dosen pembimbing saya yang telah sabar memberikan saya ilmu dan bimbingan dalam pembuatan laporan ini.
3. Kakak saya Anang Prio Prambudi S.Kom dan Aning Nor Qomariah yang telah memberikan semangat dan motivasi sehingga saya bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Terimakasih kepada Mokhammad Setiawan yang sudah membantu dan men support saya sehingga bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Kucing peliharaan saya Boy yang selalu menemani saya ketika mengerjakan Tugas Akhir ini
6. Terimakasih kepada partner Tugas Akhir saya Rizki Fatonah yang telah membantu saya dan menjadi partner yang baik selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
7. Terimakasih kepada sahabat saya Doa Ina Rista Melya S.Ars atas segala support saya selama mengerjakan Tugas Akhir ini.
8. Teman-teman mahasiswa/i Teknik Sipil angkatan 2021, yang telah memberikan pengalaman dan kenangan selama masa perkuliahan saya.
9. Terakhir, teruntuk saya sendiri. Terimakasih telah bertahan selama ini melewati berbagai hal yang berat. Mari terus bertumbuh dan berkembang menjadi lebih baik lagi, semangat yaa.

Miftahul Umi Qomariyah
NIM : 30202100126

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Segala puji bagi Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya, kami memohon pertolongan, pengampunan serta petunjuk-Nya. Serta Shalawat dan salam senantiasa tercurahkan kepada Nabi Besar Muhammad SAW. Dengan ini, saya persembahkan laporan Tugas Akhir ini kepada :

1. Yang paling utama untuk kedua orang tua saya tercinta, Bapak Cherun Riyadi dan Ibu saya Sumiyati yang selalu memberikan doa, kasih sayang, dukungan tiada henti, dari segala bentuk motivasi dan materil. Terima kasih telah menjadi panutan dan sumber semangat dalam menjalani hari.
2. Seluruh keluarga besar untuk Kakek, Nenek, Adik-adikku, Om, dan Tante yang selalu memberikan doa dan dukungan hingga saya bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Terimakasih kepada partner Tugas Akhir saya Miftahul Umi Qomariyah yang telah membantu saya dan menjadi partner yang baik selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
4. Teman-temanku Ara, Uly, Cia, Lala. Terima kasih banyak atas segala support dan bantuan kepada saya selama mengerjakan Tugas Akhir ini.
5. Teman-teman mahasiswa/i Teknik Sipil angkatan 2021, yang telah memberikan pengalaman dan kenangan selama masa perkuliahan saya.
6. Terakhir, teruntuk saya sendiri. Terimakasih telah bertahan selama ini melewati berbagai hal yang berat. Mari terus bertumbuh dan berkembang menjadi lebih baik lagi, semangat yaa.

Rizki Fatonah
NIM : 30202100186

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb.,

Alhamdulillah, segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat dan hidayah nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul “EFEKTIVITAS METODE PERKUATAN TANAH LUNAK PADA TIMBUNAN DENGAN KOMINASI CERUCUK MATRAS BAMBU DAN GEOTEKSTIL” guna untuk memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Dalam penyelesaian Tugas Akhir ini penulis memperoleh bantuan beberapa pihak, dalam kesempatan ini kami ucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Abdul Rochim, ST.,M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Bapak Muhamad Rusli Ahyar, ST.,M.Eng. selaku Ketua Program Studi Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang yang telah membantu dalam urusan akademik.
3. Ibu Ir. Lisa Fitriyana, ST.,M.Eng. selaku Dosen Pendamping yang selalu memberikan waktu dalam memberikan bimbingan dan arahan dalam menyelesaikan skripsi ini.
4. Seluruh Dosen Program Studi Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang yang telah memberikan wawasan ilmu pengetahuan kepada penulis selama menempuh Sarjana Strata 1 (S1) Program Studi Teknik Sipil.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat baik bagi penulis maupun para pembaca.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Semarang,

2025

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
PERNYATAAN KEASLIAN	v
MOTTO.....	vi
PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xv
ABSTRAK	xix
BAB I PENDAHULUAN	2
1.1. Latar Belakang.....	2
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	4
1.4. Manfaat Penelitian.....	4
1.5. Batasan Masalah.....	4
1.6. Sistematika Penulisan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Tanah	6
2.1.1. Komponen Tanah	7
2.1.1.1. Hubungan Volume Tanah	8
2.1.1.2. Hubungan Berat Tanah.....	9

2.1.2. Klasifikasi Tanah.....	11
2.2. Tanah Lunak	16
2.2.1. Sifat Fisik Tanah Lunak.....	16
2.2.2. Sifat Mekanis Tanah Lunak.....	18
2.2.3. Permasalahan Tanah Lunak	20
2.3. Stabilisasi Tanah.....	20
2.3.1. Konsep Perkuatan Tanah.....	21
2.3.2. Metode Perkuatan Tanah.....	21
2.4. <i>Preloading</i>	22
2.5. Penurunan Tanah	23
2.5.1. Penurunan Tanah Segera	23
2.5.2. Penurunan Tanah Konsolidasi	24
2.5.3. Parameter Penurunan.....	26
2.5.4. Faktor Penyebab Penurunan	27
2.6. Bambu	28
2.6.1. Bambu Sebagai Perkuatan Tanah Berupa Matras dan Cerucuk	29
2.6.2. Sifat Fisik Bambu.....	30
2.6.2.1. Kadar Air	30
2.6.2.2. Berat Jenis (Specific Gravity= SG) dan Kerapatan (Density).....	30
2.6.2.3. Kembang Susut (Shrinkage and Swelling).....	31
2.6.2.4. Faktor Sifat Fisik	32
2.6.3. Sifat Mekanik Bambu.....	33
2.7. Geotekstil.....	35
2.7.1. Jenis – jenis	36
2.7.2. Sifat Fisik	36
2.7.3. Sifat Mekanik	38

2.7.4. Fugsi Geotekstil Dalam Perkuatan	39
2.8. Instrumen Geoteknik	40
2.9. Analisis Numerik	41
2.9.1. Dasar – dasar Analisis Numerik	41
2.9.2. Penerapan Analisis Numerik pada Perkuatan Tanah	41
2.10. <i>Software Geoteknik 2D V22</i>	42
2.11. Penelitian Yang Relevan	45
 BAB III METODOLOGI	 46
3.1. Tinjauan Umum.....	46
3.1.1. Lokasi	46
3.2. Studi Literatur.....	46
3.3. Pengumpulan Data.....	47
3.3.1. Data Tanah.....	47
3.3.2. Data Bambu.....	48
3.3.3. Data Geotekstil	49
3.3.4. Data Timbunan	50
3.4. Analisis Data Menggunakan Program <i>Software Geoteknik 2D V22</i>	50
3.4.1. Pengolahan Data.....	51
3.4.2. Penginputan Data	51
3.4.3. Pemodelan Kondisi dan Simulasi.....	52
3.4.4. Hasil Analisis Pemodelan <i>Software Geoteknik 2D</i>	52
3.5. Bagan Alir.....	53
 BAB IV HASIL PEMBAHASAN.....	 54
4.1. Data Parameter	54

4.1.1. Data Input Parameter Tanah.....	54
4.1.2. Data Input Parameter Bambu	55
4.1.3. Data Input Parameter Geotekstil.....	57
4.1.4. Data Geometri Tanah Timbunan	58
4.2. Analisis Tanah Timbunan Tanpa Perkuatan.....	58
4.2.1. Input Data	59
4.2.2. Tahapan Perhitungan/Pekerjaan.....	61
4.2.3. Hasil Perhitungan	68
4.3. Analisis Tanah Timbunan Menggunakan Matras Bambu dan Geotekstil.....	69
4.3.1. Input Data	69
4.3.2. Tahapan Perhitungan	71
4.3.3. Hasil Perhitungan	80
4.3.3.1. Analisis Penurunan Tanah Menggunakan Matras Bambu 5 Lapis dengan Jarak Cerucuk 1 meter.....	80
4.3.3.2. Analisis Penurunan Tanah Menggunakan Matras Bambu 3 Lapis dengan Jarak Cerucuk 1 meter.....	83
4.3.3.3. Analisis Penurunan Tanah Menggunakan Matras Bambu 5 Lapis dengan Jarak Cerucuk 1,5 meter.....	86
4.3.3.4. Analisis Penurunan Tanah Menggunakan Matras Bambu 3 Lapis dengan Jarak Cerucuk 1,5 meter.....	87
4.4. Pembahasan	88
 BAB V PENUTUP	 90
4.5. Kesimpulan.....	90
4.6. Saran.....	90
 DAFTAR PUSTAKA	
 LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Ukuran Golongan Tanah.....	6
Tabel 2. 2 Koefisien Jenis Tanah.....	7
Tabel 2. 3 Nilai Modulus <i>Young</i> dan <i>Rasio Poission</i> . (Bowless, 1991)	10
Tabel 2. 4 Klasifikasi tanah sistem AASTHO (Das, 1995)	12
Tabel 2. 5 Sistem Klasifikasi USCS (Das,1995)	15
Tabel 2. 6 Nilai Tanah Keadaan Asli di Lapangan	16
Tabel 2. 7 Jangkauan Nilai μ	17
Tabel 2. 8 Berat Jenis Tanah (<i>Spesific Gravity</i>).....	17
Tabel 2. 9 Sifat Elastis Tanah	19
Tabel 2. 10 Nilai - nilai <i>Representatip</i> untuk Pasir dan Lanau	19
Tabel 2. 11 Penelitian Yang Relevan	45
Tabel 3. 1 Data Parameter Fisis dan Mekanis Tanah.....	48
Tabel 3. 2 Data Teknis Matras Bambu	49
Tabel 3. 3 Data Cerucuk Bambu	49
Tabel 3. 4 Data Teknis Geotekstil	50
Tabel 3. 5 Data Teknis Timbunan.....	50
Tabel 4. 1 Data Input Parameter Tanah Asli	54
Tabel 4. 2 Data Input Timbunan.....	55
Tabel 4. 3 Parameter Matras Bambu	56
Tabel 4. 4 Parameter Cerucuk Bambu.....	56
Tabel 4. 5 Data Input Pararameter Geotekstil.....	57
Tabel 4. 6 Hasil Perhitungan.....	88

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 (a)Elemen tanah dalam keadaan asli; (b) tiga fase elemen tanah (Das, 1995).....	7
Gambar 2. 2 Klasifikasi berdasarkan tekstur (Das, 1995).....	11
Gambar 2. 3 Rentang batas cair (LL) dan indeks plastisitas (PI) (Das, 1995)	14
Gambar 2. 4 Grafik konsolidasi (Das,1995).....	24
Gambar 2. 5 Bambu.....	28
Gambar 2. 6 Matras Bambu.....	29
Gambar 2. 7 Cerucuk Bambu	29
Gambar 2. 8 Ilustrasi Kembang Susut.....	31
Gambar 2. 9 Penurunan kadar air bambu menyebabkan bambu menyusut.....	32
Gambar 2. 10 Geotekstil.....	36
Gambar 2. 11 Sistem Tanpa Perkuatan.....	39
Gambar 2. 12 Sistem Dengan Perkuatan.....	40
Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian	46
Gambar 3. 2 Geometri Tanah Timbunan Rumah Pompa.....	58
Gambar 4. 1 Detail Matras Bambu.....	56
Gambar 4. 2 Detail Cerucuk Bambu	57
Gambar 4. 3 Membuka <i>Software geoteknik Input</i>	59
Gambar 4. 4 Memulai Progam <i>Software geoteknik</i>	59
Gambar 4. 5 Mengatur Nama Dan Dimensi Program.....	59
Gambar 4. 6 Menggambar Permodelan.....	60
Gambar 4. 7 Menginput Material	60
Gambar 4. 8 Penyusunan Jaringan Elemen (<i>Mesh</i>).....	60
Gambar 4. 9 Menginput Muka Air Tanah	61
Gambar 4. 10 Tahapan Pekerjaan (<i>Phase</i>).....	61
Gambar 4. 11 Permodelan Pekerjaan <i>Initial Phase</i>	62
Gambar 4. 12 Permodelan Pekerjaan Timbunan <i>Sand Drain</i> Tahap 1.....	62
Gambar 4. 13 Permodelan Pekerjaan Konsolidasi Timbunan <i>Sand Drain</i> Tahap 1	62
Gambar 4. 14 Permodelan Pekerjaan Timbunan <i>Sand Drain</i> Tahap 2.....	63

Gambar 4. 15 Permodelan Pekerjaan Konsolidasi Timbunan <i>Sand Drain</i> Tahap 2	63
Gambar 4. 16 Permodelan Pekerjaan Timbunan <i>Sand Drain</i> +1 m	63
Gambar 4. 17 Permodelan Pekerjaan Konsolidasi Timbunan <i>Sand Drain</i> +1 m	64
Gambar 4. 18 Permodelan Pekerjaan Timbunan <i>Common Borrow</i> +2 m	64
Gambar 4. 19 Permodelan Pekerjaan Konsolidasi Timbunan <i>Common Borrow</i> +2	64
Gambar 4. 20 Permodelan Pekerjaan Timbunan <i>Common Borrow</i> +3 m	65
Gambar 4. 21 Permodelan Pekerjaan Konsolidasi Timbunan <i>Common Borrow</i> +3m	65
Gambar 4. 22 Permodelan Pekerjaan Timbunan <i>Common Borrow</i> +4 m.....	65
Gambar 4. 23 Permodelan Pekerjaan Konsolidasi Timbunan <i>Common Borrow</i> +4 m.....	66
Gambar 4. 24 Permodelan Pekerjaan Timbunan <i>Common Borrow</i> +5 m	66
Gambar 4. 25 Permodelan Pekerjaan Konsolidasi Timbunan <i>Common Borrow</i> +5 m.....	66
Gambar 4. 26 Permodelan Pekerjaan Timbunan <i>Common Borrow</i> +5,8 m	67
Gambar 4. 27 Permodelan Pekerjaan Konsolidasi Timbunan Selama 1 Tahun	67
Gambar 4. 28 Permodelan Pekerjaan Konsolidasi Timbunan Selama 3 Tahun	67
Gambar 4. 29 Permodelan Pekerjaan Konsolidasi Timbunan Selama 10 Tahun ..	68
Gambar 4. 30 Kegagalan Tanah Timbunan Pada +5 m.....	68
Gambar 4. 31 Nilai ΣM Stage Dan <i>Safety Factor</i>	69
Gambar 4. 32 Permodelan Dengan Perkuatan.....	69
Gambar 4. 33 Material Tanah.....	70
Gambar 4. 34 Material Geogrid.....	70
Gambar 4. 35 Material <i>Embedded Beam Row</i>	70
Gambar 4. 36 Penyusunan Jaringan Elemen (<i>Mesh</i>).....	71
Gambar 4. 37 Penginputan Muka Air Tanah.....	71
Gambar 4. 38 Tahapan Pekerjaan (<i>Phase</i>) Timbunan Dengan Perkuatan	72
Gambar 4. 39 Model <i>Intial Phase</i> Timbunan Dengan Perkuatan.....	72
Gambar 4. 40 Model Pekerjaan Cerucuk Dan Matras Bambu	73
Gambar 4. 41 Model pekerjaan geotekstil <i>transversal</i>	73

Gambar 4. 42 Permodelan Pekerjaan Timbunan <i>Sand Drain</i> Tahap 1.....	73
Gambar 4. 43 Permodelan Pekerjaan Konsolidasi Timbunan <i>Sand Drain</i> Tahap 1	74
Gambar 4. 44 Permodelan Pekerjaan Geotekstil <i>Longitudinal</i>	74
Gambar 4. 45 Permodelan Pekerjaan Timbunan <i>Sand Drain</i> Tahap 2.....	74
Gambar 4. 46 Permodelan Pekerjaan Konsolidasi Timbunan <i>Sand Drain</i> Tahap 2	75
Gambar 4. 47 Permodelan Pekerjaan Timbunan <i>Sand Drain</i> +1 m.....	75
Gambar 4. 48 Permodelan Pekerjaan Konsolidasi Timbunan <i>Sand Drain</i> +1 m	75
Gambar 4. 49 Gambar Permodelan Pekerjaan Timbunan <i>Common Borrow</i> +2 m	76
Gambar 4. 50 Permodelan Pekerjaan Konsolidasi Timbunan <i>Common Borrow</i> +2 m.....	76
Gambar 4. 51 Permodelan Pekerjaan Timbunan <i>Common Borrow</i> +3 m.....	76
Gambar 4. 52 Permodelan Pekerjaan Konsolidasi Timbunan <i>Common Borrow</i> +3 m.....	77
Gambar 4. 53 Permodelan Pekerjaan Timbunan <i>Common Borrow</i> +4 m	77
Gambar 4. 54 Permodelan Pekerjaan Konsolidasi Timbunan <i>Common Borrow</i> +4 m.....	77
Gambar 4. 55 Permodelan Pekerjaan Timbunan <i>Common Borrow</i> +5 m	78
Gambar 4. 56 Permodelan Pekerjaan Konsolidasi Timbunan <i>Common Borrow</i> +5m	78
Gambar 4. 57 Permodelan Pekerjaan Timbunan <i>Common Borrow</i> +5,8 m	78
Gambar 4. 58 Permodelan Pekerjaan Konsolidasi Timbunan Dengan Perkuatan Selama 1 Tahun	79
Gambar 4. 59 Permodelan Pekerjaan Konsolidasi Timbunan Dengan Perkuatan Selama 3 Tahun	79
Gambar 4. 60 Permodelan Pekerjaan Konsolidasi Timbunan Dengan Perkuatan Selama 10 Tahun	79
Gambar 4. 61 Perpindahan Total (<i>Utot</i>)	80
Gambar 4. 62 <i>Safety Factor</i>	81
Gambar 4. 63 Perpindahan Total (<i>Utot</i>)	81
Gambar 4. 64 <i>Safety Factor</i>	82

Gambar 4. 65 Perpindahan Total (Utot)	82
Gambar 4. 66 <i>Safety Factor</i>	83
Gambar 4. 67 Perpindahan Total (Utot)	83
Gambar 4. 68 <i>Safety Factor</i>	84
Gambar 4. 69 Perpindahan Total (Utot)	84
Gambar 4. 70 <i>Safety Factor</i>	85
Gambar 4. 71 Perpindahan Total (Utot)	85
Gambar 4. 72 <i>Safety Factor</i>	86
Gambar 4. 73 Kegagalan Tanah Timbunan Pada +5,8 m.....	86
Gambar 4. 74 Nilai $\sum M$ Stage Dan <i>Safety Factor</i>	87
Gambar 4. 75 Kegagalan Tanah Timbunan Pada +5,8 m.....	87
Gambar 4. 76 Nilai $\sum M$ Stage Dan <i>Safety Factor</i>	88
Gambar 4. 77 Grafik Penurunan.....	89



EFEKTIVITAS METODE PERKUATAN TANAH LUNAK PADA TIMBUNAN DENGAN KOMBINASI CERUCUK MATRAS BAMBU DAN GEOTEKSTIL

Abstrak

Pembangunan infrastruktur jalan tol di Indonesia sering menghadapi permasalahan setiap pembangunannya dikarenakan kondisi tanah lunak yang berpotensi mengalami penurunan signifikan. Penurunan yang tidak terkendali pada tanah dapat menyebabkan kerusakan pada struktur dan mengancam keselamatan sehingga dibutuhkan metode perkuatan yang efektif. Tujuan penelitian ini mendesain dan mengetahui penurunan tanah lunak menggunakan *Software geoteknik* 2D V22 serta mengetahui efektivitas daya dukung tanah menggunakan kombinasi cerucuk bambu, matras bambu dan geotekstil

Dalam analisis penelitian ini akan menggunakan metode numerik elemen hingga dengan pemodelan aplikasi *Software geoteknik* 2D V22 untuk mengetahui kapasitas daya dukung tanah. Pada proyek pembangunan Jalan Tol Semarang – Demak Seksi 1 menggunakan kombinasi cerucuk matras bambu dan geotekstil sebagai perkuatan, Berdasarkan hasil analisa tanpa perkuatan mengalami kegagalan pada timbunan

+5m, variasi matras bambu 5 lapis dengan jarak cerucuk 1m mendapatkan hasil penurunan 1 tahun 0,9229 m, 3 tahun 0,9885 m dan 10 tahun 0,9921, variasi matras bambu 3 lapis dengan jarak cerucuk 1m dengan hasil penurunan 1 tahun 0,9246, 3 tahun 0,9892 m dan 10 tahun 0,9927 m, sedangkan untuk variasi matras bambu 5 lapis dengan jarak cerucuk 1,5 m dan variasi matras bambu 3 lapis dengan jarak cerucuk 1,5 m mengalami kegagalan pada timbunan +5,8 m. Sehingga hasil analisis variasi yang efektif yaitu variasi matras bambu 5 lapis dengan jarak cerucuk 1m dikarenakan memiliki penurunan tanah yang paling sedikit pada konsolidasi 1 tahun, 3 tahun, 10 tahun dan nilai safety factor yang benar

Kata Kunci : *Bambu, Geotekstil, Konsolidasi, Tanah Lunak*

EFFECTIVENESS OF SOFT SOIL STRENGTHENING METHOD ON EMBANKMENTS WITH A COMBINATION OF BAMBOO MAT PILES AND GEOTEXTILES

Abstract

The construction of toll road infrastructure in Indonesia often faces problems during its development due to the soft soil conditions that have the potential to experience significant settlement. Uncontrolled settlement in the soil can cause structural damage and pose safety risks, necessitating the need for effective reinforcement methods. The purpose of this research is to design and determine the settlement of soft soil using Software geoteknik 2D V22, as well as to assess the effectiveness of soil bearing capacity using a combination of bamboo piles, bamboo mats, and geotextiles.

In this research analysis, the finite element numerical method will be used with the Software geoteknik 2D V22 application modeling to determine the soil bearing capacity. In the Semarang – Demak Toll Road Section 1 construction project, a combination of bamboo mat piles and geotextiles is used as reinforcement. Based on the analysis results, without reinforcement, failure occurs at a fill height of +5m. The variation of 5-layer bamboo mats with a pile spacing of 1m shows a settlement of 0.9229m after 1 year, 0.9885m after 3 years, and 0.9921m after 10 years. The variation of 3- layer bamboo mats with a pile spacing of 1m shows a settlement of 0.9246m after 1 year, 0.9892m after 3 years, and 0.9927m after 10 years. Meanwhile, the variation of 5-layer bamboo mats with a pile spacing of 1.5m and the variation of 3-layer bamboo mats with a pile spacing of 1.5m experience failure at a fill height of +5.8m. Thus, the effective variation analysis result is the 5-layer bamboo mat with a 1m pile spacing because it has the least ground settlement in the 1-year, 3-year, and 10- year consolidations and the correct safety factor value.

Keywords: Bamboo, Geotextile, Consolidation, Soft Soil

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pembangunan infrastruktur jalan tol di Indonesia sering menghadapi permasalahan setiap pembangunannya seperti daya dukung tanah rendah. Salah satu proyek infrastruktur yang melibatkan pembangunan di atas tanah lunak adalah Proyek Jalan Tol Semarang – Demak Seksi 1 dimana proyek tersebut mencakup pembangunan kolam retensi, rumah pompa, dan tanggul. Proyek ini merupakan salah satu mitigasi dari resiko banjir rob yang berdampak disepanjang permukiman dan jalan raya pantura Semarang - Demak. Selain itu salah satu manfaat pembangunan proyek tersebut adalah pengembangan kualitas lingkungan hidup dan kelancaran lalu lintas baik di permukiman sekitar maupun jalan raya pantura.

Kondisi tanah di Proyek Jalan Tol Semarang - Demak Seksi 1 memiliki tantangan utama dalam pembangunannya karena sebagian besar terdiri dari tanah lunak yang berpotensi mengalami penurunan signifikan. Penurunan yang tidak terkendali pada tanah lunak dapat menyebabkan kerusakan pada struktur dan mengancam keselamatan dan kenyamanan pengguna. Oleh karena itu dibutuhkan metode perkuatan yang efektif untuk meningkatkan daya dukung tanah

Perkuatan tanah digunakan untuk meningkatkan kemampuan dan kinerja tanah sesuai dengan persyaratan teknis, kekuatan tanah dilakukan dengan memasukkan material sisipan ke dalam lapisan tanah. Dalam pembangunan infrastruktur, metode perkuatan tanah dapat meningkatkan daya dukung tanah, memperpanjang umur struktur, dan mengurangi biaya pemeliharaan. Pada proyek pembangunan Jalan Tol Semarang – Demak Seksi 1 menggunakan bambu berupa cerucuk bambu dan matras bambu kemudian dikombinasikan dengan geotekstil sebagai perkuatan, oleh karena itu penelitian ini menganalisa metode perkuatan tersebut sebagai solusi alternatif yang ekonomis.

Bambu adalah bahan utama untuk membuat cerucuk dan matras. Pemilihan material bambu dikarenakan lebih efisien waktu, tenaga dan biaya, kualitas dan mutu lebih terjamin, serta ringkas dan dapat meminimalisir pencemaran di sekitar proyek. Matras dan cerucuk bambu dapat meningkatkan daya dukung tanah dengan

memperbaiki distribusi tegangan di lapisan tanah sehingga matras dan cerucuk bambu dapat menyebarkan serta menopang beban secara lebih merata ke permukaan tanah, mengurangi konsentrasi tegangan di bawah struktur dan meminimalkan penurunan yang terjadi.

Geotekstil merupakan bahan sintetik yang digunakan untuk memperkuat tanah timbunan di atas tanah lunak, memiliki kemampuan untuk meningkatkan stabilitas tanah yang sebelumnya mungkin tidak aman. Setelah diperkuat, tanah timbunan menjadi lebih aman dengan tingkat keamanan yang lebih tinggi, penurunan yang lebih kecil, dan deformasi yang lebih kecil dan geotekstil yang digunakan adalah jenis *woven*.

Perkuatan tanah sangat penting untuk pembangunan Jalan Tol Semarang - Demak Seksi 1, yang dimana pembangunan proyek tersebut terletak di atas tanah lunak. Jika tanah lunak di lokasi ini tidak diperkuat dengan baik akan mengalami penurunan yang signifikan. Oleh karena itu, sangat penting untuk melakukan penelitian tentang efektifitas metode perkuatan tanah lunak menggunakan kombinasi bambu dan geotekstil.

Dalam analisis penelitian ini akan menggunakan metode numerik elmen hingga dengan pemodelan aplikasi *software geoteknik 2D V22* untuk mengetahui kapasitas daya dukung tanah yang sudah dikombinasikan dengan matras bambu dan geotekstil di proyek pembanguna Jalan Tol Semarang – Demak Seksi 1. Pada hasil ini akan memberikan solusi praktis dan efisien untuk masalah penurunan tanah.

1.2. Rumusan Masalah

Dari latar belakang permasalahan yang telah dibahas, maka rumusan masalah dari analisis penelitian ini mencakup :

1. Bagaimana permodelan perkuatan menggunakan *Software geoteknik 2D V22* untuk menganalisis penurunan tanah pada Proyek Tol Semarang - Demak Seksi 1.
2. Bagaimana efektivitas kombinasi cerucuk bambu, matras bambu dan geotekstil dalam meningkatkan daya dukung tanah pada Proyek Jalan Tol Semarang Demak Seksi 1.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan Penelitian dari analisis penelitian ini mencakup :

1. Mendesain dan mengetahui penurunan tanah lunak menggunakan *Software geoteknik 2D V22*
2. Mengetahui epektifitas daya dukung tanah menggunakan kombinasi cerucuk bambu, matras bambu dan geotekstil

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian dari analisis penelitian ini mencakup :

1. Mengetahui potensi penurunan tanah di Proyek Jalan Tol Semarang Demak Seksi 1.
2. Mengidentifikasi dan meminimalkan penurunan tanah
3. Mengetahui material yang lebih ramah lingkungan sehingga memiliki dampak negatif lingkungan yang lebih rendah
4. Meningkatkan pengetahuan akademis dibidang geoteknik mengenaik kombinasi matras bambu dan geotekstil

1.5. Batasan Masalah

Batasan permasalahan dari analisis penelitian ini mencakup :

1. Material perkuatan yang digunakan pada penurunan tanah yaitu cerucuk bambu, matras bambu dan geotekstil
2. Lokasi penelitian yaitu Proyek Jalan Tol Semarang Demak Seksi 1.
3. Analisis menggunakan *Softwere Software geoteknik 2D V22*
5. Data tanah dan data geotekstil menggunakan data penyelidikan tanah Jalan Tol Semarang Demak Seksi 1.
4. Data bambu menggunakan data dari literasi jurnal
5. Mengabaikan material PVD dan PHD

1.6. Sistematika Penulisan

Laporan tugas akhir ini mencakup 5 bab, yaitu :

BAB I PENDAHULUAN

Latar belakang, rumusan masalah, maksud serta tujuan, batasan masalah, serta metode penulisan tugas akhir disajikan dalam bab ini.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini memberikan dasar teori untuk topik yang akan dibahas dan membahas bagaimana menganalisis perhitungan masalah dengan menggunakan rumus atau perhitungan yang relevan.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

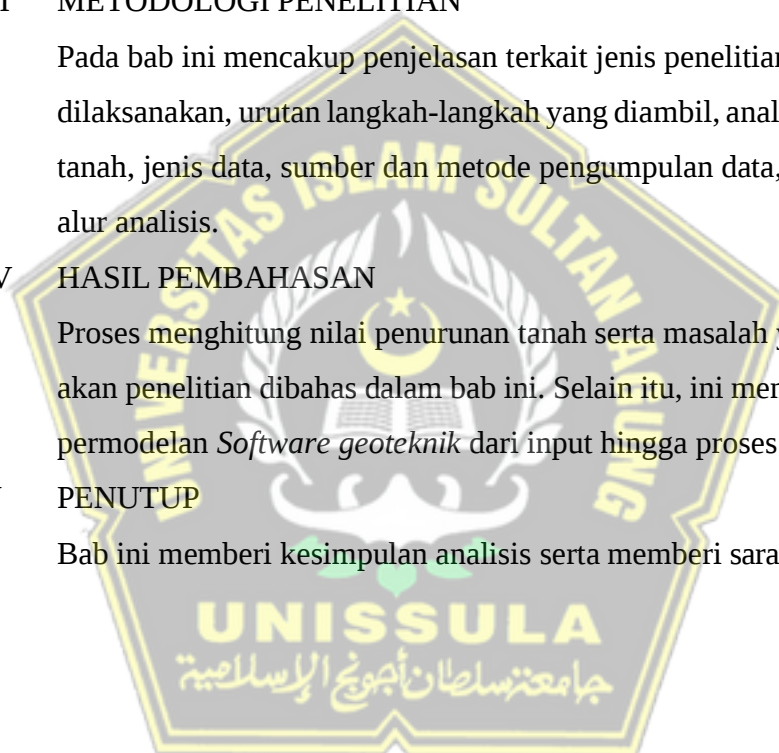
Pada bab ini mencakup penjelasan terkait jenis penelitian yang dilaksanakan, urutan langkah-langkah yang diambil, analisis penurunan tanah, jenis data, sumber dan metode pengumpulan data, dan diagram alur analisis.

BAB IV HASIL PEMBAHASAN

Proses menghitung nilai penurunan tanah serta masalah yang terkait akan penelitian dibahas dalam bab ini. Selain itu, ini membahas proses permodelan *Software geoteknik* dari input hingga proses serta output.

BAB V PENUTUP

Bab ini memberi kesimpulan analisis serta memberi saran.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tanah

Tanah terbentuk melalui proses pelapukan fisika dan kimia pada batuan. Pelapukan fisika dipengaruhi oleh proses pengahancuran dan pengikisan oleh salju, air, dan angin. Pada proses pelapukan fisika ini menghasilkan tanah berbutir kecil hingga besar. Untuk menghasilkan tanah lempung memerlukan proses pelapukan kimia. Proses pelapukan kimia ini mengubah mineral yang terkandung di batuan menjadi mineral lain oleh air, oksigen, dan karbondioksida.

Dalam konteks teknik tanah didefinisikan sebagai kumpulan butiran mineral alami (agregat) yang dipisahkan oleh suatu cara mekanis bila agregat tersebut diaduk dalam air (Darwis, 2018). Penggambaran ukuran partikel bergantung pada batasan ukuran butiran menggunakan istilah pasir (*sand*), lempung (*clay*), lanau (*silt*) dan lumpur (*mud*).

Tanah merupakan elemen yang penting sebagai penompang struktur beban di atasnya. Dalam dunia konstruksi tanah berperan sebagai fondasi dasar dari berbagai struktur, seperti gedung, jalan, jembatan, bendungan, dan konstruksi lainnya. Pemahaman tentang sifat dan karakteristik tanah digunakan untuk melakukan studi tanah, sebelum memulai suatu konstruksi guna menentukan jenis fondasi dan teknik stabilitas tanah yang digunakan. Berikut merupakan Tabel 2.1 Ukuran golongan tanah dan Tabel 2.2 Koefisien jenis tanah

Tabel 2. 1 Ukuran Golongan Tanah

Nama Golongan	Ukuran Butiran (mm)			
	Kerikil	Pasir	Lanau	Lempung
Massachusetts Institute of Technology (MIT)	> 2	2 - 0,06	0,06 - 0,002	< 0,002
U.S. Department of Agriculture (USDA)	> 2	2 - 0,05	0,05 - 0,002	< 0,002
American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)	76,2 - 2	2 - 0,075	0,075 - 0,002	< 0,002

Unified Soil Classification System (U.S. Army Corps of Engineers, U.S. Bureau of reclamation)	6,2 - 4,75	4,75 - 0,075	Halus (yaitu lanau dan lempung) $< 0,0075$
---	------------	--------------	--

Sumber : Das, 1995

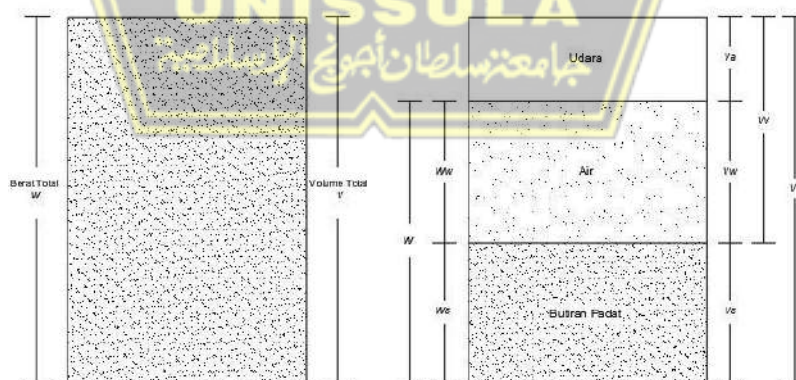
Tabel 2. 2 Koefisien Jenis Tanah

Jenis Tanah	cm/detik	m/menit
Kerikil bersih	1.0 – 100	2.0 – 200
Pasir kasar	1.0 – 0.01	2.0 – 0.02
Pasir halus	0.01 – 0.001	0.02 – 0.002
Lanau	0.001 – 0.00001	0.002 – 0.00002
Lempung	Kurang dari 0.000001	Kurang dari 0.000002

Sumber : Braja m. Das 1995

2.1.1. *Komponen Tanah*

Hubungan antara berat dan volume tanah merupakan perbandingan berat tanah terhadap volumenya, yang menjadi dasar untuk menentukan sifat fisik tanah. Tanah memiliki tiga fase untuk membentuk struktur dan sifat tanah yang mempengaruhi perilaku tanah dalam konstruksi. Tiga fase utama penyusun tanah yaitu fase padat, fase cair, dan fase udara seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1



Gambar 2. 1 (a) Elemen tanah dalam keadaan asli; (b) tiga fase elemen tanah (Das, 1995)

Gambar 2.1 menunjukan elemen tanah dengan volume (V) dan berat (W).
Berikut adalah hubungan volume-berat :

$$V = V_s + V_v = V_s + V_w + V_a \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana,

V = Volume total (m^3)

V_s = Volume butiran padat (m^3)

V_v = Volume pori (m^3)

V_w = Volume air (m^3)

V_a = Volume udara (m^3)

Apabila udara dianggap tidak memiliki berat, maka berat total dari contoh tanah dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$W = W_s + W_w \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana

W_s = Berat butiran padat (kg)

W_w = Berat air (kg)

2.1.1.1. Hubungan Volume Tanah

Hubungan volume tanah yang sering digunakan sebagai parameter tanah adalah angka pori (e), porositas (n), dan derajat kejenuhan (S). Berikut merupakan hubungan volume tanah :

1. Angka pori (e)

Angka pori adalah perbandingan antara volume pori yang berupa ruang kosong terisi udara atau air dengan volume butiran padat dalam massa tanah. Secara matematis dirumuskan sebagai berikut :

$$e = \frac{V_v}{V_s} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

E = Angka pori (*void ratio*)

V_v = Volume pori (m^3)

V_s = Volume butiran padat (m^3)

2. Porositas (n)

Porositas adalah perbandingan anatara volume pori (ruang kosong yang terisi air dan udara) dan volume total tanah. Porositas menunjukan besarnya proposi

tanah yang berupa ruang kosong, dan berapa banyak air atau udara yang ada dalam tanah. Porositas dirumuskan sebagai berikut :

$$n = \frac{e_0}{1+e_0} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana :

n = Porositas (*porosity*)

e_0 = Angka pori awal

3. Derajat Kejenuhan (S_r)

Derajat kejenuhan adalah perbandingan antara volume air dengan volume pori, umumnya dinyatakan dalam persentase. Derajat kejenuhan menunjukkan kondisi kelembaban tanah yang mempengaruhi sifat fisik seperti kuat geser dan kapasitas daya dukung tanah. Derajat kejenuhan dirumuskan sebagai berikut :

$$S_r = \frac{W \times G_s}{e} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana

S_r = Derajat kejenuhan (%)

G_s = Berat jenis tanah (*specific gravity*)

W = Kadar air

e = Angka pori

2.1.1.2. Hubungan Berat Tanah

Hubungan berat tanah yang sering digunakan sebagai parameter tanah adalah angka kadar air (w), Berat volume tanah basah (γ_{sat}), dan berat volume tanah kering (γ_{unsat}). Berikut merupakan hubungan berat tanah :

1. Kadar air (w)

Kadar air atau water content adalah perbandingan antara berat air dan berat butiran padat tanah. Secara matematis dirumuskan sebagai berikut :

$$w = \frac{W_w}{W_s} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana :

w = Kadar air (*water content*) (%)

W_w = Berat air (kg)

W_s = Berat butiran padat (kg)

2. Berat volume tanah basah (γ sat)

Berat volume tanah basah atau (*moist unit weight*) adalah perbandingan berat tanah per satuan volume atau dapat dinyatakan dalam berat butiran padat, kadar air, dan volume total yang dirumuskan :

$$\gamma_{sat} = \frac{(G_s + e) \times \gamma_w}{(1+e)} \quad (2,7)$$

Dimana

γ_w = Kadar air (%)

e = Angka pori

S_r = Derajat kejenuhan (%)

G_s = Berat jenis tanah (*specific gravity*)

3. Berat volume tanah kering (γ unsat)

Berat volume tanah kering atau (*dry unit weight*) adalah perbandingan berat kering tanah per satuan volume atau dapat dinyatakan dalam hubungan antara berat volume, berat volume tanah kering dan kadar air yang dirumuskan :

$$\gamma_{unsat} = \frac{\gamma_w \times (G_s + (S_r \times e))}{(1+e)} \quad (2.8)$$

Dimana

γ_w = Kadar air (%)

e = Angka pori

G_s = Berat jenis tanah (*specific gravity*)

Berikut merupakan Tabel 2.3 Nilai Modulus *Young* dan *Rasio Poission*. (Bowless, 1991)

Tabel 2. 3 Nilai Modulus *Young* dan *Rasio Poission*. (Bowless, 1991)

Jenis Tanah	Modulus Young (E) (kN/m ²)	Koefisien Possion (μ)
Lempung Lunak	1380 - 3450	0,15-0,25
Lempung Keras	3865 - 13800	0,20-0,50
Pasir Lepas	10350 - 27600	0,20-0,40
Pasir Padat	34500 - 69000	0,35-0,45

Sumber : Bowless,1991

2.1.2. Klasifikasi Tanah

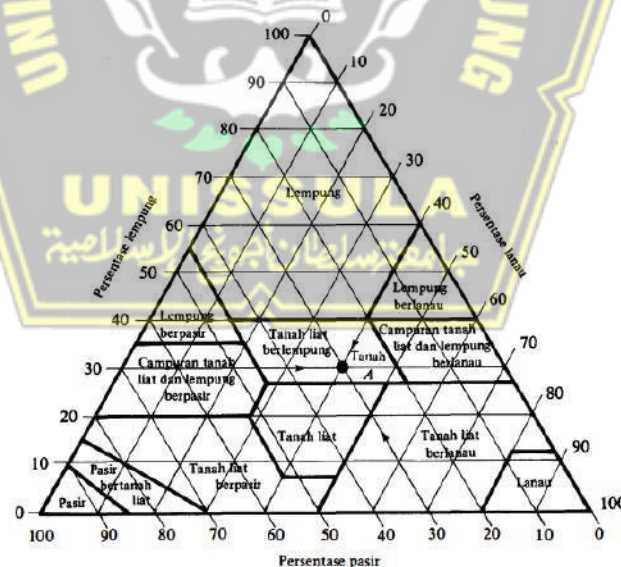
Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok-kelompok dan subkelompok-subkelompok berdasarkan pemakaiannya. (Das,1995). Dalam teknik sipil, klasifikasi tanah sangat penting untuk memahami sifat-sifat tanah dapat dilakukan dengan berbagai sistem. Berikut merupakan beberapa metode sistem klasifikasi tanah yang paling umum digunakan :

1. Klasifikasi tanah berdasarkan tekstur

Klasifikasi tanah berdasarkan tekstur merupakan metode pengelompokan tanah berdasarkan ukuran partikel dan pendistribusian butir tanah. Tekstur tanah dipengaruhi oleh butiran yang ada dalam tanah. Sistem klasifikasi tanah yang dikembangkan oleh Departemen Pertanian Amerika (USDA) memiliki tiga komponen utama tekstur tanah yaitu :

- Pasir : butiran dengan diameter 2,00 mm sampai dengan 0,005 mm
- Lanau : butiran dengan diameter 0,05 mm sampai dengan 0,002 mm
- Lempung : butiran dengan diameter lebih kecil dari 0,002 mm

Gambar 2.2 menunjukkan sistem klasifikasi tanah berdasarkan tekstur



Gambar 2. 2 Klasifikasi berdasarkan tekstur (Das, 1995)

2. Klasifikasi tanah sistem AASTHO

Kualitas tanah pada perancangan timbunan jalan, subbase, serta subgrade diukur menggunakan mekanisme klasifikasi AASHTO (American Association of State. Highway and Transportation Officials).

Pada mekanisme tersebut, tanah terbagi menjadi 7 kelompok besar, dari A-1 hingga A-7. Kelompok A-1 hingga A-3 terdiri dari tanah dengan butir yang memiliki 35% atau kurang dari butiran yang lolos ayakan No. 200 sementara kelompok A-4 hingga A-7 terdiri dari tanah berbutir yang sebagian besar terdiri dari lanau serta lempung.

Tabel 2.4 berikut menunjukkan jenis tanah yang dipergunakan dalam lapisan tanah dasar jalan raya menurut AASHTO.

Tabel 2. 4 Klasifikasi tanah sistem AASTHO (Das, 1995)

Klasifikasi Umum	Tanah Berbutir (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)						
Klasifikasi Kelompok	A-1		A-3	A-2			
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Analisis Ayakan (% lolos)							
No.10	Maks 50						
No.40	Maks 30	Maks 50	Min 51				
No.200	Maks 15	Maks 25	Maks 10	Maks 35	Maks 35	Maks 35	Maks 35
Sifat Fraksi yang lolos ayakan No. 40							
Batas Cair (LL)				Maks 40	Min 41	Maks 40	Min 41
Indeks Plastis (PI)							
	Maks 6		NP	Maks 10	Maks 10	Min 11	Min 11
Tipe Material yang paling dominan	Batu pecah, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlanau atau berlempung			
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Baik sekali sampai baik						
Klasifikasi Umum	Tanah Berbutir (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)						
Klasifikasi Kelompok	A-4		A-3	A-6		A-7 A-7-5*A-7-6'	

Analisis Ayakan(% lolos)				
No.10				
No.40				
No.200	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36
Sifat Fraksi yang lolos ayakan No. 40	Maks 40	Maks 40	Maks 40	Maks 40
Batas Cair (LL)				
Indeks Plastis (PI)				
Tipe Material yang paling dominan	Tanah Berlanau		Tanah Berlempung	
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Biasa Sampai Jelek			

Sumber : Das, 1995

3. Klasifikasi tanah sistem USCS (*Unified Soil Classification System*)

Casagrande mengenalkan klasifikasi sistem ini di tahun 1942 agar dipergunakan oleh Army Corps of Engineers sepanjang Perang Dunia II pada proses membuat bandar udara. Dalam kolaborasi bersama Bureau of Reclamation Amerika Serikat, sistem ini melalui penyempurnaan di tahun 1952. Saat ini, para ahli teknik sering memakai sistem klasifikasi ini. Sistem ini membagi tanah menjadi 2 kelompok besar : Secara garis besar sistem klasifikasi tanah ini mengelompokkan tanah ke dalam dua kelompok yaitu :

a. Tanah berbutir kasar (*coarsed grained soil*)

Tanah berbutir kasar yaitu jenis tanah dimana lebih dari 50 % tanah tidak lolos pada saringan No. 200 (0,075). klasifikasi tanah berbutir kasar juga mencakup W untuk gradasi baik (*well graded*) dan P untuk Gradasi buruk (*poorly graded*) untuk tanah yang memiliki butiran sama

b. Tanah berbutir halus (*fine grained soil*)

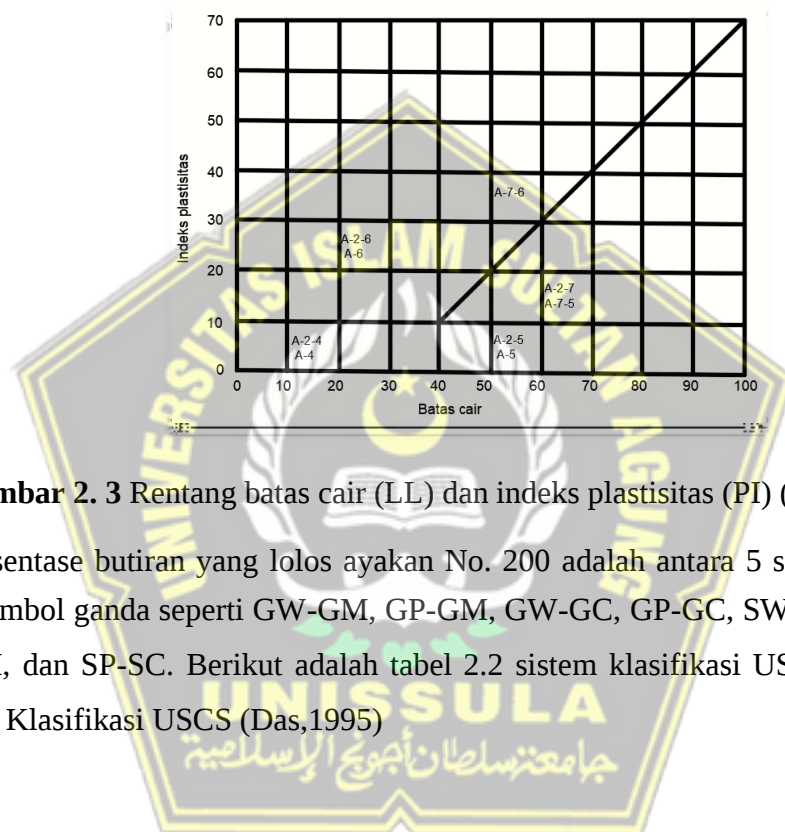
Tanah berbutir halus yaitu jenis tanah dimana lebih dari 50% tanah lolos pada saringan No. 200 (0,075) meliputi lanau (*silt*), anorganik, lempung (*clay*) dan anorganik.

Berikut faktor-faktor yang perlu diperhatikan untuk pengklasifikasian

- Presentase butiran yang lolos ayakan No 200 (ini adalah fraksi halus)
- Presentase fraksi kasar yang lolos ayakan No.40

- c. Koefisien keseragaman (*uniformity coefficient*, C_u) dan koefisien gradasi (*gradation coefficient*, C_c) untuk tanah dimana 0-12% lolos ayakan No. 200
- d. Batas cair (LL) dan indeks plastisitas (PI) bagian tanah yang lolos ayakan No. 40 (untuk tanah dimana 5% atau lebih lolos ayakan No. 200).

Klasifikasi tanah berbutir halus dengan simbol ML, CL, OL, MH, CH, dan OH didapat dengan cara menggambar batas cair indeks plastisitas tanah. Berikut merupakan Gambar 2.3 dari grafik batas cair dan indeks plastisitas tanah.



Gambar 2. 3 Rentang batas cair (LL) dan indeks plastisitas (PI) (Das, 1995)

Presentase butiran yang lolos ayakan No. 200 adalah antara 5 sampai dengan 12% simbol ganda seperti GW-GM, GP-GM, GW-GC, GP-GC, SW-SM, SW-SC, SP-SM, dan SP-SC. Berikut adalah tabel 2.2 sistem klasifikasi USCS Tabel 2.3 Sistem Klasifikasi USCS (Das,1995)

Tabel 2. 5 Sistem Klasifikasi USCS (Das,1995)

Simbol Kelompok			Simbol Kelompok	Nama Umum	
Tanah Berbutir Kasar Lebih dari 50% butiran tertahan pada ayakan No. 200*	Pasir Lebih dari 50% fraksi kasar lolos ayakan No. 40	Kerikil Bersih (hanya Kerikil)	GW	Kerikil bergradasi baik dan campuran kerikil - pasir, sedikit atau sama sekali mengandung butiran halus	
			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	
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung	
	Kerikil 50% Atau lebih dari fraksi kasars ayakan No. 40	Pasir Bersih (hanya Pasir)	SW	Pasir bergradasi-baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	
			SP	Pasir bergradasi-buruk dan pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	
		Pasir Dengan Butiran Halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir- lanau	
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung	
	Divisi Utama			Simbol Kelompok	Nama Umum
	Tanah Berbutir Halus 50% atau lebih, lolos ayakan No.200	Lanau dan Lempung Batas air 50% atau kurang		ML	Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau dan berlempung
CL				Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil lempung berpasir, lempung berlanau, lempung “kurus”(lean clays)	
OL				Lanau-organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah	
Lanau dan Lempung Batas cair lebih 50%			MH	Lanau organik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastis	
			CH	Lempung organik dengan plastisitas tinggi, lempung “gemuk” (fat clays)	
			OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi	
Tanah dengan kandungan organik tinggi			PT	Gambut (peat), muck, dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi	

Sumber : Das, 1995

2.2. Tanah Lunak

Tanah lunak adalah tanah yang memiliki sifat kohesi, saling terikat antar partikelnya sehingga saling menempel satu sama lain. Contoh jenis tanah kohesif ini adalah lempung (*clay*) dan lanau (*silt*). Kedua jenis tanah ini memiliki partikel kurang dari 0,002 mm untuk lempung dan 0,002 sampai 0,06 untuk lanau. Sifat plastisitas dapat ditemukan di tanah lempung sedangkan lanau bersifat kurang plastis dibanding lempung (lanau “asli” sebenarnya tidak memiliki sifat plastis (Weasly,2012).

Dalam suatu kontruksi tanah kohesif memiliki gaya geser yang rendah, sehingga membuat daya dukung tanah terhadap pondasi juga rendah. Hal ini mengakibatkan kerusakan pada kontruksi bangunan di atasnya. Berikut merupakan Tabel 2.6 Nilai Tanah Keadaan Asli di Lapangan

Tabel 2. 6 Nilai Tanah Keadaan Asli di Lapangan

Macam – macam Jenis tanah	n (%)	e	W (%)	γ_d (kN/m ³)	Γ_b (kN/m ³)
Pasir seragam, tidak padat	46	0.85	32	14.3	18.9
Pasir seragam, padat	34	0.51	19	17.5	20.9
Pasir berbutir campuran, tidak padat	40	0.67	25	15.9	19.9
Pasir berbutir campuran, padat	30	0.43	16	18.6	21.6
Lempung lunak sedikit organik	66	1.90	70	-	15.6
Lempung lunak sangat organik	75	3.00	110	-	14.3

Sumber : Hardiyatmo, 2002

2.2.1. Sifat Fisik Tanah Lunak

Salah satu sifat fisis tanah Lunak adalah berkaitan dengan berat jenis. Pengujian berat jenis biasanya dilakukan menggunakan piknometer dengan mengikuti standar ASTM D 854-00. Berat jenis (*specific gravity*) atau G_s adalah perbandingan antara berat volume butir padat (γ_s) dengan berat volume air (γ_w) pada temperatur tertentu. Berat jenis tanah dapat dituliskan dengan rumus :

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \dots \dots \dots (2,9)$$

Dimana

G_s = Berat jenis tanah (*specific gravity*)

γ_s = Berat volume padat (kN/m^3)

γ_w = Berat volume air (kN/m^3)

Berat jenis dari berbagai jenis tanah berkisar antara 2,65 sampai 2,75. Nilai berat $G_s = 2,67$ biasanya digunakan untuk tanah-tanah tak berkohesi. Sedang untuk tanah kohesif tak organik berkisar antara 2,68 - 2,72 (Hardiyatmo, 2002). Berikut merupakan Tabel 2.7 Jangkauan Nilai μ dan Tabel 2.8 Berat Jenis Tanah (*Specific Gravity*)

Tabel 2. 7 Jangkauan Nilai μ

Jenis Tanah	μ
Lempung jenuh	0,4 – 0,5
Lempung tak jenuh	0,1 – 0,3
Lempung berpasir	0,2 – 0,3
Lanau	0,3 – 0,35
Pasir (padat) pasir berkerikil	0,1 – 1,00
Pasir biasa dipakai	0,3 – 0,4
Batuan	0,1 – 0,4 (agak tergantung jenis batu)
Tanah lsus	0,1 – 0,3
Es	0,36
Beton	0,15

Sumber : Nilai ν poisson ratio Bowles, 1997

Tabel 2. 8 Berat Jenis Tanah (*Specific Gravity*)

Macam tanah	Berat Jenis (G_s)
Kerikil	2,65-2,68
Pasir	2,65-2,68
Lanau anorganik	2,62-2,68
Lempung organik	2,58-2,65
Lempung anorganik	2,68-2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25-1,80

Sumber : Specific Gravity G_s Bowles, 1997

2.2.2. Sifat Mekanis Tanah Lunak

Tanah lunak memiliki beberapa sifat yang mempengaruhi kestabilan dan perilaku tanah. Dua sifat utama dalam sifat mekanis tanah yaitu meliputi kuat geser dan indeks kompresi

1. Kuat Geser

Kuat geser tanah merupakan sifat mekanis tanah yang diperlukan dalam menganalisis geoteknik. Kuat geser ini menggambarkan kemampuan tanah untuk menahan beban dan mencegah terjadinya keruntuhan akibat pergeseran (shear failure).

Kekuatan geser tanah (τ_f) di suatu titik pada suatu bidang tertentu dikemukakan oleh *Coulumb* sebagai suatu fungsi linier terhadap tegangan normal (σ_f) pada bidang tersebut pada titik yang sama (Craig, 1986). Gaya geser dapat dihitung dengan rumus

$$\tau_f = c + \sigma_f \tan \phi \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana

τ_f = Gaya geser tanah (kN/m²)

σ_f = Tegangan (kN/m²)

c = Kohesi (kN/m²)

ϕ = Sudut geser dalam (kN/m²)

2. Indeks Kompresi

Indeks kompresi (C_c) merupakan nilai parameter tanah yang digunakan untuk memprediksi besarnya penurunan (*settlement*) tanah yang mengalami pemampatan akibat beban di atasnya (Satria dkk, 2020).

Indeks kompresi (C_c) sangat penting dalam menganalisis sifat mekanis tanah lunak. Berikut rumus untuk menghitung indeks kompresi pada tanah lunak serta Tabel 2.9 Sifat Elastis Tanah dan Tabel 2.10 Nilai - nilai *Representatif* untuk Pasir dan Lanau :

$$C_c = \frac{e_1 - e_2}{\log\left(\frac{P'_2}{P'_1}\right)} \dots\dots\dots (2.11)$$

C_c = Indeks kompresi

e_1 = Angka pori pada tegangan P'_1

e_2 = Angka pori pada tegangan P'_2

P'_1 = Tegangan efektif 1

P'_2 = Tegangan efektif 2

Tabel 2. 9 Sifat Elastis Tanah

Tanah	Ksf	Mpa
Lempung		
-Sangat lunak	50 – 250	2 – 15
-Lunak	100 – 500	5 – 25
-Sedang	300 – 1000	15 – 50
-Keras	1000 – 2000	50 – 100
-Berpasir	500 - 5000	25 - 250
Laci es		
- Lepas	200 – 3200	10 – 152
- Padat	3000 – 15000	144 – 720
- Sangat padat	10000 – 30000	478 – 1440
- Tanah lus (loss)	300 – 1200	15 – 60
Pasir		
- Berlanau	50 – 250	2 – 15
- Lepas	100 – 500	5 – 25
- Padat	300 – 1000	15 – 50
Pasir dan kerikil		
- Lepas	1000 - 3000	50 - 150
- Padat	2000 - 4000	100 - 200
Serpih	3000 – 300000	150 – 5000
Lanau	40 - 400	2 - 20

Sumber : Modulus Elastisitas bowles,1997

Tabel 2. 10 Nilai - nilai *Representatif* untuk Pasir dan Lanau

Bahan	Derajat lepas	Derajat padat
Pasir, butiran bulat, seragam	27.5	34
Pasir, butiran angulat, bergradasi baik	33	45
Kerikil pasiran	35	50
Pasir lanauan	27 - 33	30 - 34
Lanau anorganik	27 - 30	30 - 35

Sumber : Terzaghi,1987

2.2.3. Permasalahan Tanah Lunak

Tanah kohesif terdiri dari beberapa partikel halus memiliki gradasi yang sejenis. Akibatnya tanah kohesif memiliki beberapa permasalahan yang dapat mempengaruhi stabilitas dan daya dukung tanah. Berikut beberapa permasalahan tanah kohesif :

1. Memiliki daya dukung rendah

Tanah kohesif, terutama lempung memiliki daya dukung rendah, yang dapat mengakibatkan keruntuhan pada struktur.

2. Penurunan tanah tidak merata

Perubahan kadar air dalam tanah kohesif menyebabkan perbedaan daya dukung dan konsolidasi, sehingga menghasilkan penurunan tanah yang tidak merata.

3. Retakan

Pada saat tanah kohesif mengering, tanah akan mengalami retakan yang dapat mempengaruhi stabilitas pondasi.

4. Sifat plastisitas

Tanah kohesif terlalu plastis dapat menyebabkan retakan dan deformasi struktur karena fondasi bangunan yang tidak stabil.

2.3. Stabilisasi Tanah

Dalam konstruksi dibutuhkan tanah dengan daya dukung tinggi, tetapi seringkali ditemukan lapisan tanah yang memiliki daya dukung rendah, Hal ini mempengaruhi proses perencanaan, pelaksanaan dan pemeliharaan suatu bangunan konstruksi. Tanah dengan daya dukung rendah memerlukan stabilisasi tanah untuk meningkatkan daya dukung tanah. Darwis (2017) menyatakan stabilisasi tanah adalah suatu metode rekayasa tanah yang bertujuan untuk meningkatkan dan/atau mempertahankan sifat-sifat tertentu pada tanah, agar selalu memenuhi syarat teknis yang dibutuhkan.

Stabilitas tanah dibedakan atas dua macam yaitu perbaikan tanah (*soil improvement*) dan perkuatan tanah (*soil reinforcement*). Perbaikan tanah merupakan stabilisasi tanah untuk memperbaiki dan mempertahankan kemampuan tanah menggunakan metode stabilisasi kimiawi dan metode stabilisasi fisik. Sedangkan

perkuatan tanah merupakan metode stabilisasi tanah untuk memperbaiki dan mempertahankan kemampuan tanah menggunakan metode stabilisasi mekanis.

2.3.1. Konsep Perkuatan Tanah

Perkuatan tanah (*soil reinforcement*) menggunakan metode perkuatan bambu dan geotekstil mekanis yaitu menstabilkan dengan memasukan material sisipan kedalam lapisan tanah, sehingga mampu meningkatkan karakteristi teknis dalam massa tanah sesuai dengan tujuan tindakan stabilisasi yang ingin dicapai (Darwis, 2017). Material lapisan tanah yang diberi material sisipan disebut tanah perkuatan (*reinforced earth*).

Tanah perkuatan yang telah diberi material sisipan membentuk suatu sistem yang bekerja menjadi kesatuan, sehingga kemampuan tanah perkuatan menjadi lebih besar dan optimal dibandingkan dengan kemampuan awal tanah tersebut. Perkuatan tanah berdasarkan tujuannya diklasifikasikan menjadi dua macam yaitu :

1. Perkuatan tanah dasar (*bearing capacity reinforcement*)

Perkuatan tanah dasar adalah upaya yang dilakukan untuk memperbaiki sifat fisik atau mekanis tanah dasar yang tidak stabil. Tujuan utama dari perkuatan tanah dasar ini adalah mengurangi penurunan dan meningkatkan daya dukung tanah. Perkuatan ini digunakan untuk mengatasi permasalahan tanah yang kurang stabil, seperti tanah lempung, gambut, dan pasir.

2. Perkuatan dinding penahan (*retaining wall reinforcement*)

Perkuatan dinding penahan adalah struktur yang dirancang dan dibuat untuk menahan beban lateral tanah agar tidak terjadi pergeseran. Tujuan dari perkuatan ini adalah mencegah pergerakan atau longsoran pada tanah yang menyebabkan kerusakan pada lingkungan sekitar. Pengaplikasian dari metode perkuatan ini untuk jenis tanah yang memiliki kemiringan lereng atau rawan longsor.

2.3.2. Metode Perkuatan Tanah

Menurut jenis stabilisasinya perkuatan tanah memasukan material sisipan kedalam lapisan tanah. Beberapa metode yang digunakan pada perkuatan tanah antara lain :

1. Metal strip

Metal strip merupakan suatu material perkuatan tanah berupa strip logam yang digunakan untuk memperkuat tanah. Material ini berfungsi sebagai pengikat tanah dan mendistribusikan beban untuk meningkatkan stabilitas lereng atau struktur dinding penahan tanah.

2. Geotekstil

Geotekstil terbuat dari bahan tekstil sintesis yang berguna untuk memperbaiki dan memperkuat tanah. Fungsi dari geotekstil ini adalah pemisah, filtrasi dan perkuatan tanah dengan tanah asli. Geotekstil mampu mendistribusikan beban dan mengurangi erosi.

3. Geomembrane

Geomembrane merupakan lapisan yang kedap air terbuat dari bahan sintetis, seperti *PVC*, *HDPE* (*high density polythylene*) dan *EPDM* (*ethylene propylene diene monomer*). Digunakan untuk mencegah rembesan air ke dalam tanah. *Geomembrane* biasa digunakan pada konstruksi bangunan air.

4. Geogrid

Geogrid merupakan salah satu bahan geosintetik yang berbentuk jaringan untuk memperkuat tanah. Geogrid terbuat dari polimer seperti polyster atau *polyethylene*. Fungsi dari geogrid adalah memperbaiki tanah dengan

5. Vertical drain

Vertical drain adalah metode perkuatan tanah dengan menanamkan pipa secara vertikal ke dalam tanah untuk mempercepat proses konsolidasi pada tanah lunak. Penggunaan *vertical drain* ini diaplikasikan pada tanah lempung atau tanah yang mengalami penurunan yang signifikan.

2.4. Preloading

Preloading merupakan salah satu metode yang paling umum digunakan untuk memperbaiki tanah lunak, penimbunan beban yang lebih besar atau sama dengan beban konstruksi yang akan direncanakan di atasnya dikenal sebagai *preloading* atau pembebanan awal. Proses konsolidasi dipercepat oleh timbunan di bawah lapisan tanah lempung. Terdisipasinya air pori pada lapisan tanah akan

meningkatkan kuat geser dan kohesi tanah, sehingga lapisan tanah dapat menahan beban yang lebih besar, mempengaruhi tinggi timbunan yang akan digunakan.

Tujuan pembebanan awal pada tanah lunak adalah untuk mempercepat konsolidasi lapisan lempung lunak dan meningkatkan stabilitasnya. Memberikan pembebanan awal di atas tanah lunak, biasanya dengan menggunakan tanah timbunan, dapat mempercepat konsolidasi.

2.5. Penurunan Tanah

Perundutan tanah adalah suatu proses yang terjadi pada kondisi tanah yang diakibatkan karena terdapat beban diatasnya selain itu penurunan tanah juga dapat terjadi ketika permukaan tanah memiliki daya dukung rendah yang disebabkan oleh beberapa faktor termasuk aktivitas geologi, pengikisan, dan lain lain,

Penurunan tanah yang signifikan dapat menyebabkan kerusakan, perubahan pola drainase dan bahkan dampak lingkungan yang lebih luas, penambahan beban pada sebuah tanah bisa membuat lapisan tanah di bawahnya mengalami penurunan karena perubahan partikel tanah, perpindahan partikel, serta keluarnya air atau udara dari pori-pori tanah, dan hal lainnya

Beberapa faktor terkait dengan penurunan atau settlement tanah yang disebabkan oleh beban dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok besar penurunan tanah konsolidasi dan penurunan tanah segera. Besar penurunan tanah total menurut Das (1985) dengan rumus :

$$St = Si + Scp + Scs + Slat \dots \dots \dots (2,12)$$

Dimana

St = Total Settlement (m)

Si = Immediate Settlement (m)

Scp = Consolidation primer settlement (m)

Scs = Consolidation Secondary Settlement (m)

$Slat$ = Settlement Akibat Pergerakan Tanah (m)

2.5.1. Penurunan Tanah Segera

Penurunan terjadi segera setelah beban diterapkan pada tanah dengan air jenuh dan permeabilitas yang rendah. Tekanan air pori pada tanah yang sangat permeabel

dengan cepat menurun, menyebabkan penurunan tanah hanya dalam jangka pendek, tanpa perubahan volume. Penurunan ini terjadi tepat setelah beban kerja selesai (Braja M.Das,1995) dengan rumus

$$p_i = p \times B \frac{1-\mu^2}{E} \times l_p \dots\dots\dots (2,13)$$

Dimana

p_i = Penurunan Segera (m)

p = Tekanan Bersih Yang Dibebankan (t/m²)

B = Lebar Timbunan (m)

μ = Angka *Poisson*

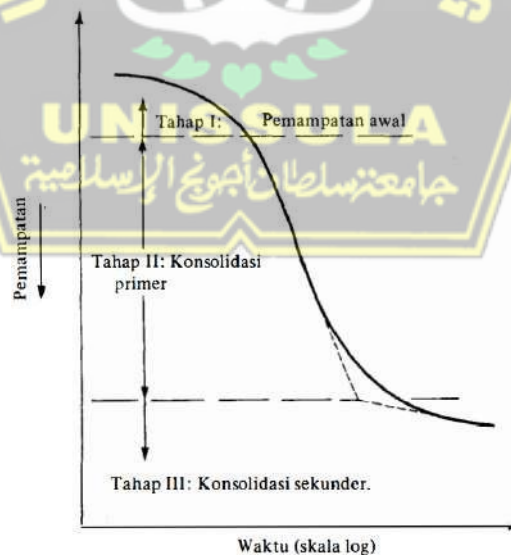
E = Modulus Elastisitas Tanah (Modulus *Young*) (kN/m²)

l_p = Faktor Pengaruh Yang Tidak Mempunyai Dimensi

2.5.2. Penurunan Tanah Konsolidasi

Penurunan konsolidasi adalah penurunan yang disebabkan oleh keluarnya air dari pori-pori tanah biasanya penurunan ini berlangsung dalam waktu yang lama. Jenis penurunan konsolidasi yaitu primer dan sekunder terjadi jika tidak ada drainase atau perubahan volume, dan terjadi tepat setelah beban kerja selesai. Berikut merupakan

Gambar 2.4 Grafik Konsolidasi



Gambar 2. 4 Grafik konsolidasi (Das,1995)

Keterangan :

1. Tahap I pemampatan awal (*initial compression*), yang biasanya disebabkan oleh prapembebanan
2. Tahap II konsolidasi primer (*primary consolidation*), yang terjadi selama tekanan air pori secara lambat naik ke tegangan efektif karena air keluar dari pori-pori tanah. Setelah air menguap dari tanah lembab, volume tanah menurun, yang menyebabkan konsolidasi primer. Ini terjadi karena lapisan tanah kohesif di bawah tekanan timbunan mengalami konsolidasi dasar. Berikut rumus dan jenis konsolidasi dibedakan berdasarkan regangan

$$S_c = \frac{C_c}{1+e_o} H \log \frac{P_o^I + \Delta P}{P_o^I} \dots\dots\dots (2,14)$$

Dimana

S_c = Penurunan konsolidasi primer (m)

H = Tebal lapisan lempung (m)

e_o = Angka pori awal

C_c = *Compression index*

ΔP = Besarnya tegangan di muka tanah (t/m²)

P_o^I = Tegangan *overburden* efektif (t/m²)

a. *Normally Consolidated*

Merupakan tekanan maksimum yang pernah terjadi pada tanah tersebut

b. *Over Consolidated*

Dimana tegangan yang terjadi pada tanah dasar saat ini lebih kecil dari pada tegangan yang dialami kondisi tanah sebelumnya. Dalam menentukan regangan dapat dilihat dari nilai *over consolidated ratio* (ocr) yang ditentukan oleh persamaan atau dengan rumus

$$OCR = \frac{\sigma_o^I}{\sigma_c^I} \dots\dots\dots (2,15)$$

Dimana

σ_o^I = Tegangan vertikal efektif

σ_c^I = Tegangan pra-konsolidasi

3. Tahap III adalah konsolidasi sekunder (*secondary consolidation*), yang terjadi setelah tekanan air pori hilang sepenuhnya diakibatkan penyesuaian plastis butir-butir tanah

2.5.3. Parameter Penurunan

Parameter ini sangat penting untuk menentukan seberapa cepat dan seberapa banyak penurunan yang akan terjadi mencakup koefisien konsolidasi (C_v), waktu konsolidasi, dan tingkat pemadatan digunakan untuk perhitungan konsolidasi. Menghitung luas penurunan lapisan tanah, maka dibutuhkan parameternya, menurut Das (1985) menyatakan

1. Ketebalan lapisan kompresibel (H)

Ketebalan lapisan kompresibel (H) dipertimbangkan sebagai lapisan yang masih dapat mengalami konsolidasi primer $< NSPT 15$. Lapisan ini biasanya dianggap belum mengalami konsolidasi primer atau mengalami penurunan dalam jumlah kecil, sehingga tidak dianggap sebagai bagian dari lapisan kompresibel (H).

2. Tegangan *overburden* efektif (P_0)

Merupakan besarnya beban horizontal yang bekerja di atas permukaan tanah asli (tanah yang dapat dikompresi) dalam satuan tegangan. Kombinasi yang digunakan didasarkan pada distribusi tegangan tanah.

$$P_0 = \gamma \times H \dots\dots\dots (2,16)$$

Dimana

γ = Berat volume tanah (t/m^3)

H = Tebal lapisan tanah

Bila berada dibawah permukaan air, maka $\gamma_{tanah} = \gamma_{sat} - \gamma_{air}$ dimana γ_{sat} adalah isi jenuh

3. Distribusi tegangan tanah (ΔP)

Merupakan tegangan yang disebabkan oleh beban tambahan di atas tanah di tengah lapisan dikenal sebagai distribusi tegangan tanah (Winner, 2017). Anda dapat menghitung distribusi tegangan tanah dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\Delta P = 2 \times q_o \times l \dots\dots\dots (2,17)$$

$$q_o = \gamma_{timbunan} \times H \dots\dots\dots (2,18)$$

Dimana

ΔP = Beban distribusi tegangan (kN)

$$\begin{aligned}
 q_o &= \text{Beban timbunan (t/m}^2\text{)} \\
 \gamma_{tim} &= \text{Berat volume tanah timbunan (kN/m}^3\text{)} \\
 H &= \text{Tinggi timbunan termasuk } preloading \text{ (m)} \\
 l &= \text{Faktor pengaruh yang dapat dihitung sebagai berikut} \\
 l &= \frac{(a+b)}{a}(\alpha_1 + \alpha_2) - \frac{b}{a}(\alpha_2) \dots\dots\dots (2,19)
 \end{aligned}$$

Dimana

$$\begin{aligned}
 a &= \text{Panjang } horizontal \text{ kemiringan timbunan (m)} \\
 b &= \text{Lebar setengah timbunan (m)} \\
 \alpha_1 &= [\tan^{-1} [(a+b)/z] - \tan^{-1}[b/z]][\text{radian}] \\
 \alpha_2 &= [\tan^{-1}[b/z]][\text{radian}]
 \end{aligned}$$

2.5.4. Faktor Penyebab Penurunan

Tanah di daerah ini merupakan jenis tanah lunak, sebelum adanya pembangunan proyek di daerah tersebut maka perlu diperhatikan faktor penurunannya

1. Daya dukung tanah rendah

Kemampuan tanah untuk menahan beban pondasi tanpa mengalami keruntuhan akibat geser yang juga ditentukan oleh kekuatan geser tanah, daya dukung tanah merupakan unsur utama dalam pembangunan konstruksi dalam perencanaan konstruksi, daya dukung tanah mempunyai peranan sangat penting karena tanah sebagai tempat berdirinya suatu konstruksi maka harus mampu menerima dan menahan beban-beban yang bekerja di atasnya.

Oleh karena itu sebelum dilaksanakan pekerjaan pembangunan harus diketahui terlebih dahulu daya dukung tanah daerah ini (Rachlan, 1986; Nugroho, 2011) semakin rendah kadar air maka daya dukung tanah semakin besar tetapi jika kadar air tinggi akan mengganggu stabilitas dari timbunan, Hal ini menyebabkan tinggi timbunan yang dapat dilakukan sangat terbatas sehingga untuk timbunan yang tinggi perlu dilakukan secara bertahap.

2. Penurunan yang besar

Penurunan pada tanah dasar akan terjadi apabila tanah dasar tersebut menerima beban di atasnya, penurunan tanah dapat menyebabkan muka tanah turun menjadi lebih rendah dari elevasi yang direncanakan bila tidak ditangani dengan baik akan mempengaruhi kondisi tanah.

2.6. Bambu

Bambu semakin banyak digunakan dalam berbagai bidang teknik sipil, termasuk untuk memperkuat tanah, karena merupakan material yang ramah lingkungan dan memiliki banyak keuntungan dalam konstruksi. Salah satu cara untuk meningkatkan daya dukung tanah, baik dalam tanah lempung maupun pasir, adalah dengan menggunakan matras bambu.

Untuk struktur perkuatan tanah, bambu dapat menjadi alternatif yang lebih murah dan berkelanjutan daripada bahan konvensional. Bambu memiliki kekuatan tarik yang kuat selain mudah didapat dan murah. Ada beberapa faktor yang memengaruhi kekuatan tarik bambu adalah kadar air, penampang melintangnya, dan adanya atau tidaknya simpul atau simpul.

Bambu dapat tumbuh di mana saja, baik di daerah tropis maupun subtropis, tetapi kebanyakan dari mereka tumbuh di daerah subtropis. Bambu dapat tumbuh antara 30 cm hingga 100 cm per hari, menjadikannya salah satu tanaman yang tumbuh tercepat di dunia. Bambu dapat dengan mudah diperbarui secara alami dan tumbuh dengan rapat, kadang-kadang lebih dari 10.000 batang per hektar. Bambu dapat dipanen pada usia tiga hingga enam tahun dan mencapai ukuran maksimal dalam 60 hingga 90 hari, tergantung pada spesiesnya (Paudel, 2008).

Bambu sangat mudah dikembangkan karena rimpangnya dapat berkembang secara alami. Bambu dikenal sebagai tanaman penghijau lingkungan karena dapat berkembang secara alami. Berikut merupakan **Gambar 2.5** Bambu



Gambar 2. 5 Bambu

2.6.1. Bambu Sebagai Perkuatan Tanah Berupa Matras dan Cerucuk

Bambu digunakan dalam bentuk matras dan cerucuk untuk memperkuat tanah dengan menyebarkan beban yang diterima oleh lapisan permukaannya. Matras bambu yang diletakkan di dasar tanah lunak dapat membantu mencegah penurunan tanah akibat beban yang besar., meningkatkan stabilitas tanah dan mencegah kegagalan karena geseran atau geser tanah.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Hadi (2019), bambu yang dipasang pada lapisan tanah dalam pola tertentu dapat meningkatkan daya dukung tanah antara 20 dan 30 % dibandingkan dengan tanah yang tidak diperkuat. Metode ini cukup efektif dalam tanah dengan tingkat kelembaban tinggi atau tanah yang rentan terhadap penurunan akibat adanya beban. Berikut merupakan Gambar 2.6 Matras bambu dan Gambar 2.7 Cerucuk bambu



Gambar 2. 6 Matras Bambu



Gambar 2. 7 Cerucuk Bambu

2.6.2. Sifat Fisik Bambu

Sifat fisik bambu sangat peka terhadap perubahan kadar air atau kelembapan di udara. Perilaku fisik bambu terhadap perubahan kondisi udara di sekitarnya dikenal sebagai sifat fisik bambu. Nilai sifat fisika bambu terdiri dari berat jenis, kadar, dan kembang susut, nilai berat jenis yang tinggi, kadar air yang rendah, dan kembang susut yang rendah menunjukkan kualitas bambu yang lebih tinggi. Nilai berat jenis dan kadar air mempengaruhi sifat mekanika bambu.

Bambu memiliki ruas dan buku dengan cabang yang tumbuh pada setiap ruas yang jauh lebih kecil daripada buluhnya sendiri. Akar-akar tumbuh pada ruas-ruas ini sehingga bambu dapat memperbanyak jumlahnya. Berbagai sifat fisik bambu mempengaruhi kualitas dan kinerjanya dalam berbagai aplikasi teknik sipil, seperti memperkuat tanah dan bahan bangunan lainnya. Berikut adalah beberapa sifat fisik bambu

2.6.2.1. Kadar Air

Bambu adalah material yang sangat dipengaruhi oleh kelembaban, sehingga kadar air bambu dapat mempengaruhi kekuatannya. Biasanya, bambu segar memiliki kadar air yang tinggi, sekitar 40-60%, tetapi kadar air ini akan berkurang setelah bambu dikeringkan. Berikut rumus kadar air

$$MC = \frac{W_{\text{basah}} - W_{\text{kering}}}{W_{\text{kering}}} \times 100\% \dots \dots \dots (2,20)$$

Dimana

MC = Kadar air (%)

W basah = Berat bambu dalam keadaan basah (kg)

W kering = Berat bambu setelah dikeringkan (kg)

2.6.2.2. Berat Jenis (Specific Gravity= SG) dan Kerapatan (Density)

Sifat fisika yang paling efektif untuk memprediksi sifat suatu bahan adalah berat jenisnya. Berat jenis bambu berkisar antara 0,4 - 0,8, dan dihitung dari jumlah zat padat yang terkandung di dalam dinding sel. Berat jenis dihitung sebagai rasio dari berat kering oven (*ovendry* = OD) pada kadar air 0% bahan bambu terhadap berat yang sama volume air. Berat jenis dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$SG = \frac{\text{Berat OD bambu}}{\text{Berat bambu dalam air}} \dots\dots\dots(2,21)$$

Dalam pengukuran berat jenis ada 2 yaitu

1. Variasi Radial

Berat jenis diukur dari bambu yang diambil dari arah radial, yaitu dari sisi dalam ke sisi luar bambu.

2. Variasi Longitudinal

Berat jenis yang diukur berdasarkan spesimen bambu arah logitudinal (sepanjang dan sejajar arah serat).

Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap berat jenis bambu:

1. Kadar air

Bambu dengan berat jenis tertinggi memiliki kadar air 0%, sedangkan bambu dengan berat jenis lebih rendah memiliki kadar air lebih tinggi.

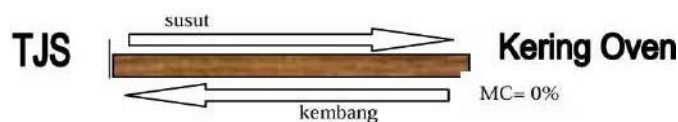
2. Proporsi tipe sel

Penyusun volume dan ketebalan dinding sel menunjukkan berat jenis bambu yang lebih tinggi

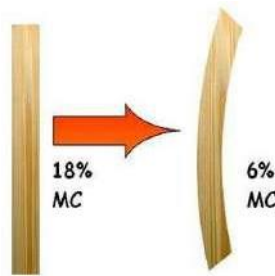
2.6.2.3. Kembang Susut (*Shrinkage and Swelling*)

Air terikat mulai masuk atau keluar dari dinding sel bambu, menyebabkan kembang susut dan ketika air terikat masuk ke dinding sel bambu sampai dengan kondisi TJS, bambu akan mengembang (mengembang), dan ketika air terikat keluar dari dinding sel bambu sampai dengan kondisi TJS, bambu akan menyusut.

Berikut merupakan Gambar 2.8 Ilustrasi kembang susut dan Gambar 2.9 Penurunan kadar air bambu menyebabkan bambu menyusut



Gambar 2. 8 Ilustrasi Kembang Susut



Gambar 2. 9 Penurunan kadar air bambu menyebabkan bambu menyusut

2.6.2.4. *Faktor Sifat Fisik*

Sifat fisik berbagai jenis bambu dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti yang diuraikan sebagai berikut:

1. Usia bambu

Umur bambu menentukan berat jenisnya, semakin muda bambu, berat jenisnya semakin kecil seiring dengan kadar air dan kembang susut yang lebih tinggi dan sebaliknya jika semakin tua bambu, berat jenisnya akan meningkat seiring dengan kadar air dan kembang susut yang lebih rendah.

2. Posisi bambu (pangkal, tengah, ujung)

Sifat fisik bambu bergantung pada posisinya, bambu yang lebih dekat dengan pangkalnya memiliki kualitas yang lebih rendah dari pada bambu yang jauh dari pangkalnya.

3. Jenis bambu

Setiap bambu memiliki jenis yang berbeda tergantung dari mana bambu tersebut berasal

4. Tempat tumbuh

Tempat tumbuh adalah posisi tumbuhnya bambu dengan kondisi tanah, kandungan air dalam tanah, kesuburan tanah, dan cuaca di sekitar bambu. Seperti tempat yang lebih banyak kadar air tanah terkandung akan menyebabkan lebih banyaknya kadar air bambu yang tumbuh di lokasi tersebut.

2.6.3. Sifat Mekanik Bambu

Sifat mekanik bambu menentukan kelayakannya sebagai bahan konstruksi dan dapat digunakan untuk memperkuat tanah, bangunan, dan struktur lainnya. Sifat mekanik bambu mencakup reaksi bambu terhadap beban tarik, tekan, lentur, dan geser. Faktor yang mempengaruhi sifat mekanik bambu yaitu umur, tinggi, diameter, tebal, dan posisi beban (pada ruas atau buku) bambu mempengaruhi mekanismenya.

Dalam desain bambu sebagai bahan konstruksi, sifat mekanika merupakan nilai utama, nilai ini menentukan kuat tidaknya bambu dan layak tidaknya digunakan dalam posisi tertentu di konstruksi.

Berikut adalah sifat mekanik bambu yang relevan di bawah ini:

1. Kuat tekan

Kemampuan bambu untuk menahan gaya tekan tanpa mengalami kerusakan yang tidak diinginkan dikenal sebagai kekuatan tekan bambu. Kuat tekan bambu biasanya lebih rendah daripada kekuatannya tarikannya, tetapi ini bergantung pada serat dan kelembaban bambu, kuat tekan bambu bervariasi tergantung pada bagian ruas dan bagian antar ruas

$$\sigma_{tk} = \frac{P}{A} \text{ (N/mm}^2\text{)} \dots\dots\dots (2,22)$$

Dimana

P = Beban maksimum (N)

A = Luas bidang tekan (mm²)

Kegagalan pada uji tekan biasanya terletak pada

- a. Kegagalan tekuk berupa batang bambu menekuk mengakibatkan bambu pecah
- b. Kegagalan geser berupa batang bambu yang langsung terbelah menjadi dua
- c. Kegagalan tekuk dan geser terjadi secara bersamaan

2. Kuat tarik

Kekuatan tarik bambu berkisar antara 100 dan 200 MPa, tergantung pada jenis dan usia bambu, tetapi bambu memiliki kekuatan tarik yang luar biasa untuk menahan gaya tarik tanpa rusak atau pecah. Kekuatan bambu untuk menahan gaya tarik bergantung pada bagian batangnya.

$$\sigma_{tr} = \frac{P}{A} \text{ (N/mm}^2\text{)} \dots\dots\dots (2,23)$$

Dimana

P = Beban maksimum (N)

A = Luas bidang tarik (mm²)

3. Kuat geser

Kekuatan geser bambu adalah kemampuan bambu untuk menahan gaya yang berusaha menggeser dua bagian bambu yang saling bersentuhan, meskipun tidak sekuat kekuatan tarik atau tekan.

Namun kekuatan geser bambu cukup untuk beberapa tujuan struktural. Kuat geser bambu didasarkan pada ketebalan dinding batangnya dan menggambarkan kemampuan bambu untuk menahan gaya. Bambu beruas memiliki kekuatan geser 50% kurang dari bagian batang tanpa ruas, berikut perhitungan kuat geser:

$$\tau_{II} = \frac{P}{bl} (N/mm^2) \dots\dots\dots (2,24)$$

Dimana

P = Beban maksimum (N)

b = Tebal benda uji (mm²)

τ_{II} = Tegangan geser sejajar serat

l = Panjang bidang geser (mm²)

4. Modulus lentur (*Modulus of Rupture (MOR)*)

Modulus lentur adalah titik kegagalan material saat dibebani, dapat digunakan untuk mengetahui modulus kegagalan bambu. Modulus ini adalah ukuran dari kekuatan lentur maksimum yang dapat ditahan oleh bambu sebelum mengalami kegagalan atau kerusakan permanen. Nilai modulus lentur dapat dapat dihitung dengan

$$MOR = \frac{3P_{max}l}{2bh^2} (N/mm^2) \dots\dots\dots (2,25)$$

Dimana

h = Tinggi benda uji (mm)

b = Tebal benda uji (mm)

P_{max} = Beban maksimum (N)

l = Jarak antar tumpuan (mm)

5. Modulus elastisitas (*Modulus of Elasticity (MOE)*)

Keteguhan lentur bahan pada batas elastisnya disebut modulus elastisitas. Modulus elastisitas adalah rasio beban terhadap regangan di bawah batas proporsional. Keteguhan lentur suatu bahan dapat dikaitkan dengan peningkatan nilai modulus elastisitasnya.

Menurut modulus elastisitas, deformasi yang disebabkan oleh beban rendah dapat kembali ke posisi awal sepenuhnya setelah beban dilepaskan. Perhitungan modulus elastisitas ini dilakukan dengan menggunakan rumus berikut.

$$MOR = \frac{P.I}{4bh^3\gamma} (N/mm^2) \dots\dots\dots (2,26)$$

Dimana

P = Beban rata rata dari batsa atas dan batas bawah (N)

h = Tinggi benda uji (mm)

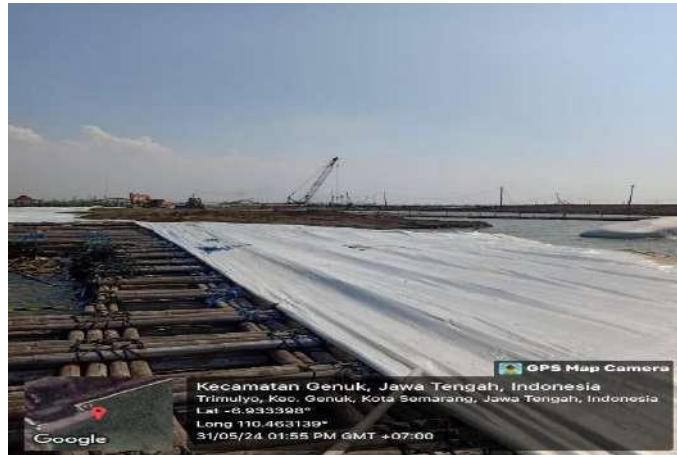
b = Tebal benda uji (mm)

γ = Defleksi pada titik lengkung dihitung dari rata-rata defleksi batas atas dan bawah (mm).

I = Jarak antar tumpuan (mm)

2.7. Geotekstil

Geotekstil adalah bahan tekstil yang biasanya lolos air yang digabungkan dengan pondasi, tanah, batuan, atau material geoteknik lainnya dalam struktur atau produk buatan manusia. Geotekstil terbuat dari polimer yang paling umum digunakan untuk membuat geotekstil adalah *polypropylene*, *polyester*, *polyethylene*, dan *polyamide*. Gambar 2.10 berikut menunjukkan jenis serat polimer yang biasa digunakan untuk membuat geotekstil.



Gambar 2. 10 Geotekstil

2.7.1. Jenis – jenis

Macam – macam jenis geotekstil

1. Geotekstil Woven (Tenun)

Geotekstil jenis ini bagus untuk penguatan tanah dan stabilisasi lereng karena terbuat dari benang-benang yang ditenun rapat dan memiliki kekuatan tarik yang tinggi.

2. Geotekstil Non Woven (Non - Tenun)

Geotekstil non-tenun dibuat dengan menggabungkan serat melalui proses kimia, termal, atau mekanik. Pori-porinya yang lebih besar memungkinkan air mengalir dengan mudah. Biasanya digunakan untuk mengontrol erosi, drainase, atau filtrasi.

3. Geotekstil Knitted (Rajutan)

Geotekstil jenis ini, yang dibuat dengan merajut benang serat yang membentuk jaring, sering digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan elastisitas dan daya tahan terhadap gaya tarik.

2.7.2. Sifat Fisik

Sifat fisik geotekstil terdiri dari sifat yang berkaitan dengan dimensi dan struktur material tersebut. Beberapa sifat fisik yang paling penting adalah sebagai berikut:

1. Ketebalan

Ketebalan geotekstil sangat memengaruhi kekuatan dan daya dukungnya, dan dalam beberapa kasus, ketebalan yang lebih tinggi diperlukan untuk

memperkuat tanah. Ukuran ketebalan geotekstil biasanya dilakukan dengan alat pengukur standar, seperti micrometer atau alat pengukur digital. Berikut rumusnya

$$t = \frac{F}{P} \dots\dots\dots (2,27)$$

Dimana

t = Ketebalan material geotekstil (m)

F = Gaya yang diterapkan pada material (N)

P = Tekanan (N/m² atau Pascals)

2. Berat Jenis

Massa jenis material geotekstil (ρ) adalah massa per satuan volumenya. Rumus ini adalah

$$\rho = \frac{m}{v} \dots\dots\dots (2,28)$$

Dimana

ρ = Massa jenis (kg/m³)

m = Massa geotekstil (kg)

V = Volume geotekstil (m³)

3. Permeabilitas

Kemampuan geotekstil untuk menyerap air melalui material tersebut disebut permeabilitas. Salah satu metode yang paling umum digunakan untuk mengukur permeabilitas adalah melakukan uji permeabilitas menggunakan uji aliran air, rumus biasanya didasarkan pada hukum Darcy untuk aliran air melalui media berpori:

$$Q = \frac{k.A.\Delta h}{L} \dots\dots\dots (2,29)$$

Dimana

Q = Debit aliran (m³/s)

K = Koefisien permeabilitas (m/s)

A = Luas penampang aliran (m²)

Δh = Perbedaan tinggi atau tekanan air (m)

L = Panjang jalur aliran (m)

2.7.3. Sifat Mekanik

Sifat mekanik geotekstil mencakup kemampuan untuk menahan atau menanggapi gaya mekanis seperti tarik, geser, atau kompresi. Beberapa sifat mekanik utama termasuk:

1. Kuat Tarik

Kekuatan tarik geotekstil dihitung dengan menggunakan mesin uji tarik untuk menarik material. Gaya yang diperlukan untuk merenggangkan geotekstil hingga robek disebut sebagai kekuatan tarik. Uji tarik *allowable* menggunakan rumus berikut:

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots\dots\dots (2,30)$$

Dimana

σ = Tegangan tarik (N/m² atau Pascals)

F = Gaya tarik yang diberikan pada geotekstil (N)

A = Luas penampang geotekstil yang diuji (m²)

2. Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas, juga dikenal sebagai modulus Young, adalah ukuran kekakuan suatu material dan menunjukkan seberapa banyak material akan terkompresi atau meregang di bawah beban. Modulus elastisitas dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \dots\dots\dots (2,31)$$

Dimana

σ = Kuat tarik (N/m²)

E = Modulus elastisitas (Pa atau N/m²)

ϵ = Regangan

Pengujian geotekstil dapat menggunakan tegangan dan regangan yang dihasilkan oleh uji tarik untuk menghitung modulus elastisitas.

3. Kuat Geser

Kemampuan geotekstil untuk menahan gaya yang menyebabkan geseran antar lapisan material tanah atau antara geotekstil dan material sekitarnya dikenal sebagai ketahanan geser, rumus berikut digunakan untuk menilai ketahanan geser:

$$T = \frac{F_{shear}}{A} \dots \dots \dots (2,32)$$

Dimana

F_{shear} = Gaya geser (N)

T = Tegangan geser (N/m²)

A = Luas Penampang

4. Regangan

Regangan adalah ukuran perubahan panjang relatif material selama gaya tarik.

Regangan dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \dots \dots \dots (2,33)$$

Dimana

ε = Regangan (tanpa dimensi)

ΔL = Perubahan panjang geotekstil (m)

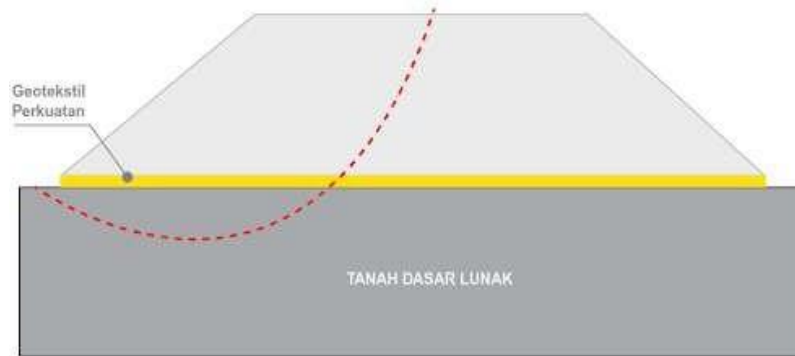
L_0 = Panjang awal geotekstil sebelum diberi beban (m)

2.7.4. Fungsi Geotekstil Dalam Perkuatan

Saat geotekstil diletakkan di tanah (baik pada kondisi tekan, tetapi buruk pada kondisi tarik), itu disebut memiliki fungsi perkuatan, yang berarti bahwa itu dapat meningkatkan kekuatan sistem. Gambar berikut menunjukkan fungsi geotekstil sebagai perkuatan. Berikut merupakan Gambar 2.11 Sistem Tanpa Perkuatan dan Gambar 2.12 Sistem Dengan Perkuatan.



Gambar 2. 11 Sistem Tanpa Perkuatan (Geosinindo,2022)



Gambar 2. 12 Sistem Dengan Perkuatan (Geosinindo,2022)

Pada konstruksi timbunan di tanah lunak, berkurangnya potensi penurunan kelongsoran dapat terjadi karena kuat tarik geotekstil yang meningkatkan faktor keamanan konstruksi.

2.8. Instrumen Geoteknik

Pada umumnya instrumen geoteknik digunakan untuk mengendalikan dan menganalisis permasalahan pada tanah salah satunya perkuatan tanah, instrumen geoteknik dalam perkuatan tanah yang memiliki daya dukung tanah rendah akan dikombinasikan dengan menggunakan matras bambu dan geotekstil.

1. SPT (*Standart Penetration Test*)

SPT adalah salah satu uji yang paling umum dilakukan di lapangan untuk menilai kekuatan dan kepadatan tanah karena memberikan informasi penting mengenai lapisan tanah yang diuji.

2. *Settlement Plate*

Settlement plate dipasang di daerah di mana penurunan permukaan tanah tertinggi. Berdasarkan data dari papan penempatan, dapat dibuat grafik yang menunjukkan hubungan antara penurunan tanah dasar dan waktu.

3. *Piezometer*

Piezometer digunakan untuk mengidentifikasi dan mengukur tingkat tekanan air pori pada tanah dasar dengan cepat dan tepat di lokasi tersebut. Dengan menggunakan read out, data monitoring *piezometer* dapat digunakan untuk membuat grafik yang menunjukkan hubungan antara tekanan air pori dan waktu.

2.9. Analisis Numerik

Dalam bidang teknik geoteknik, analisis numerik adalah salah satu metode yang banyak digunakan untuk memodelkan dan menganalisis perilaku tanah, terutama dalam perkuatan tanah lunak.

Analisis numerik memungkinkan perhitungan yang lebih akurat mengenai respons tanah terhadap beban dan pengaruh dari berbagai jenis perkuatan, seperti kombinasi geotekstil dan bambu matras. Analisis numerik dilakukan dengan bantuan perangkat lunak dan metode matematis.

2.9.1. Dasar – dasar Analisis Numerik

Dalam geoteknik, analisis numerik pada dasarnya menggunakan teknik numerik untuk memecahkan persamaan diferensial yang menggambarkan perilaku tanah. Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method/ FEM*) dan Metode Elemen Diskrit (*Discrete Element Method/ DEM*) adalah dua metode analisis perkuatan tanah yang paling umum digunakan.

1. Metode Elemen Hingga (FEM)

FEM sangat efektif dalam menganalisis perilaku tanah yang tidak homogen, seperti tanah lunak yang dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk perubahan beban dan penurunan tanah, dengan membagi masalah struktural atau mekanika tanah menjadi elemen - elemen kecil yang masing-masing memiliki karakteristik mekanik tertentu yang kemudian dihitung secara numerik.

2. Metode Elemen Diskrit (DEM)

DEM memungkinkan untuk memodelkan interaksi antara butiran tanah secara lebih realistis; ini lebih baik untuk tanah berbutir kasar, tetapi juga dapat digunakan untuk tanah lunak.

2.9.2. Penerapan Analisis Numerik pada Perkuatan Tanah

Dengan menggunakan kombinasi matras bambu dan geotekstil, kekuatan tanah lunak dapat dianalisis melalui analisis numerik. Ini dilakukan untuk memahami pengaruh keduanya terhadap peningkatan perkuatan tanah dan penurunan penurunan (*settlement*). Tanah lunak yang memiliki kompresibilitas tinggi,

rendahnya kekuatan geser, dan sering mengalami penurunan besar-besaran dapat mendapat manfaat dari teknik perkuatan ini.

Diharapkan bahwa penggunaan matras bambu dan geotekstil akan meningkatkan daya dukung tanah dan mengurangi penurunan tanah.

1. Matras dan cerucuk bambu

Pada titik tertentu, matras dan cerucuk bambu menyebarkan beban di atas permukaan tanah lunak dan mengurangi intensitas tekanan. Dalam analisis numerik, matras bambu dapat digambarkan sebagai lapisan elastis atau bahan komposit yang mempengaruhi distribusi tegangan dan deformasi pada tanah.

2. Geotekstil

Melalui fungsinya sebagai elemen penguat, geotekstil memperkuat struktur tanah dan mengurangi deformasi tanah lunak. Dalam analisis numerik, ditunjukkan bahwa geotekstil memiliki sifat mekanik yang lebih tinggi dari pada tanah lunak, yang memungkinkannya menyerap sebagian besar gaya tekan dan mencegah penurunan berlebihan.

2.10. *Software Geoteknik 2D V22*

Software geoteknik mulai dikembangkan pada tahun 1987 di Universitas Teknik Delft (*Technical University of Delft*), dengan tujuan awal menciptakan program komputer berdasarkan metode elemen hingga 2D digunakan untuk menganalisis tanggul-tanggul yang dibangun di atas tanah lunak.

Software geoteknik adalah program elemen hingga untuk aplikasi geoteknik dimana digunakan model - model tanah untuk melakukan simulasi terhadap perilaku tanah (Brinkgreve,2007). Dalam program *Software geoteknik 2D V22* memiliki beberapa fitur didalamnya :

1. Pembuatan model geometri secara grafis

Software geoteknik memungkinkan pembuatan model geometri berupa penampang melintang dengan prosedur grafis dari bantuan komputer. Pemodelan berupa pelapisan tanah, elemen struktur tahapan konstruksi, pembebanan dan kondisi batas.

2. Pembentukan jaring elemen secara otomatis

Program otomatis akan membentuk jaringan elemen hingga 2D dengan pilihan untuk memperhalus jaringan elemen secara global atau lokal.

3. Pelat

Terdapat elemen khusus untuk balok dapat digunakan sebagai pemodelan lentur dari dinding penahan, lining terowongan, elemen cangkang serta struktur lainnya. Elemen pelat diatur oleh kekakuan lentur, kekakuan arah normal penampang dan momen lentur batas untuk struktur geoteknik.

4. Geotekstil atau *geogrid*

Geotekstil atau *geogrid* seringkali digunakan dalam pengaplikasian timbunan yang membutuhkan perkuatan atau struktur penahan tanah. Elemen ini dimodelkan menggunakan elemen khusus untuk menahan gaya tarik.

5. Model *Mohr-Coulomb*

Model sederhana yang didasarkan pada parameter tanah yang sering digunakan dalam rekayasa teknik sipil. Model *Mohr-Coulomb* dapat digunakan untuk perhitungan tegangan pendukung muka terowongan, batas beban pada pondasi dan lain-lain. Pemodelan ini juga digunakan untuk menghitung faktor keamanan.

6. Tekanan air pori hidrostatik

Tekanan air pori yang kompleks dapat dilihat dari distribusinya dan dihitung berdasarkan elevasi garis freatik yang berupa nilai tekanan air. Perhitungan aliran air statis dalam tanah dilakukan untuk memperoleh distribusi tekanan air pori pada masalah aliran statis atau rembesan.

7. Tekanan air pori berlebih

Program *Software geoteknik* membedakan sifat tanah terdrainase dan tak terdrainase untuk memodelkan tanah berpasir serta tanah lempung. Tekanan air pori dihitung dalam proses perhitungan plastis saat tanah tak terdrainase

8. Analisis konsolidasi

Berkurangnya tekanan air pori berlebih terhadap waktu dapat dihitung menggunakan analisis konsolidasi. Perhitungan konsolidasi membutuhkan input berupa koefisien permeabilitas untuk tiap lapisan tanah. Dalam

penggunaan program *software Software geoteknik* menjadikan penggunaan peningkatan waktu secara otomatis.

9. Faktor keamanan

Dalam ilmu geoteknik faktor kewanan merupakan perbandingan antara kuat geser yang tersedia terhadap kuat geser yang dibutuhkan untuk mencapai keseimbangan tanah.

10. Tampilan dari keluaran

Dalam program *Software geoteknik* menyediakan fitur grafis untuk menampilkan hasil perhitungan, seperti perpindahan, tegangan, regangan dan gaya-gaya dalam dari elemen diperoleh disajikan dalam bentuk tabel.



2.11. Penelitian Yang Relevan

Tabel 2. 11 Penelitian Yang Relevan

No	Penulis	Judul	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
1.	Bambang Widodo (2023)	Konstruksi Cerucuk - Matras Bambu Sebagai Perkuatan Tanah Dasar Yang Lunak Dengan Muka Air Tanah Tinggi Untuk Memikul Beban Timbunan	Mengetahui kinerja konstruksi cerucuk matras bambu dengan melakukan uji skala penuh. akibat beban timbunan yang bekerja pada cerucuk matras bambu	Metode eksperimen skala penuh dan pemodelan numerik	Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengaruh jarak cluster terhadap tinggi timbunan, pengaruh luas cluster terhadap tinggi timbunan dan pengaruh tebal matras bambu terhadap tinggi timbunan
2.	Rio Aldi Hidayana dan Rizky Swanandhia (2022)	Analisis Daya Dukung Tanah Menggunakan Matras Bambu Terhadap Beban Struktur Atas Pada Proyek Jalan Tol Semarang – Demak Seksi 1	Merencanakan tebal perkerasan kaku dan mengetahui daya dukung tanah asli sebelum dan sesudah menggunakan matras bambu	Metode kuantitatif dan program <i>software geoteknik</i>	Berdasarkan hasil perhitungan analisis tanah menggunakan matras bambu dan cerucuk bambu menghasilkan safety factor pada timbunan penggunaan matras bambu dan cerucuk bambu ini cukup efektif untuk mendukung daya dukung tanah terhadap beban struktur diatasnya.
3.	Muhamad Jihad dan Ruwana Dika Yonanda (2021)	Perencanaan Perkuatan Timbunan Konstruksi Jalan Tol Semarang – Demak Geotekstil Dan Menggunakan Metode Program <i>Software geoteknik 8.6</i>	Tujuan dari studi penelitian ini untuk mengetahui pengaruh penambahan geosintetik pada stabilitas tanah, dan mengetahui tekanan air pori pada tanah tersebut.	Metode perkuatan geotekstil	Hasil yang diperoleh bahwa pengaruh geosintetik pada jenis tanah dominan lempung sangat bermanfaat seperti meningkatkan perkuatan tanah, pada tekanan air pori berlebih menghasilkan pada konsolidasi 1 tahun -47,51 kN/m ² , pada konsolidasi 3 tahun -47,01 kN/m ² , sedangkan pada konsolidasi 10 tahun menghasilkan nilai -43,59 kN/m ²

BAB III

METODOLOGI

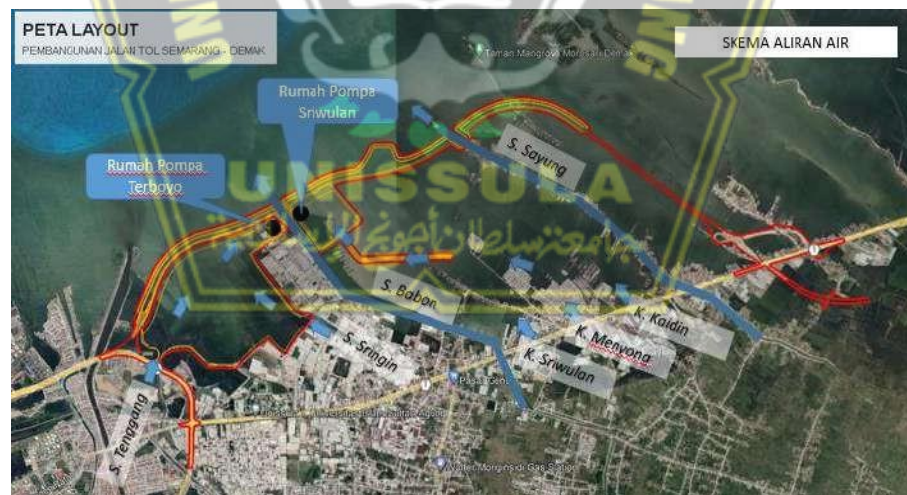
3.1. Tinjauan Umum

Pada pembuatan Tugas Akhir ini bertujuan untuk membandingkan efektivitas metode perkuatan tanah pada timbunan dengan penggunaan kombinasi material yaitu cerucuk matras bambu dan geotekstil terhadap perkuatan dan penurunan tanah.

Tahap pemodelan dan analisis data dibuat dengan beberapa variasi pemodelan lapis matras dan jarak antar cerucuk untuk mencari keefektifitasan dalam perkuatan tanah dengan menggunakan program *software* *Software geoteknik 2D V22*

3.1.1. Lokasi

Dalam menganalisa efektivitas metode perkuatan tanah lunak pada timbunan menggunakan kombinasi matras bambu dan geotekstil yang berlokasi di Jl. Semarang - Demak KM. 5,6 No.1, Terboyo Wetan, Kec. Genuk, Kota Semarang Jawa Tengah.



Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian (Proyek Tol Semarang – Demak Seksi 1)

3.2. Studi Literatur

Literatur yang digunakan dalam penyusunan Tugas Akhir ini berdasarkan kajian hasil penelitian para ahli yang telah melaksanakan penelitian tentang efektivitas perkuatan tanah menggunakan material matras bambu dan geotekstil. Literatur yang digunakan berupa jurnal, makalah, paper, diktat, laporan data dari pemerintah

dan berbagai tambahan literatur lainnya. Dengan menggunakan beberapa literatur tersebut digunakan sebagai dasar materi dalam penyusunan landasan teori dan sebagai acuan dalam menentukan metode yang akan digunakan dalam menganalisis efektivitas perkuatan tanah menggunakan kombinasi matras bambu dan geotekstil.

3.3. Pengumpulan Data

Dalam melakukan pengumpulan data penelitian metode data yang digunakan menjadi dua yaitu data primer dan data sekunder, pada penelitian ini menggunakan data sekunder yang dimana data digunakan diperoleh dari berbagai macam sumber mengenai perkuatan tanah menggunakan kombinasi matras bambu dan geotekstil

Data ini diperoleh dari pihak proyek terkait, beberapa hasil penelitian, jurnal, paper, maupun informasi yang berkaitan dengan lokasi penelitian dengan data yang didapat relevan dan ilmiah. Tinjauan yang dilakukan pada penelitian ini adalah area rumah pompa kemudian didapatkan identifikasi lapisan tanah untuk pemodelan desain menggunakan *software geoteknik*

3.3.1. Data Tanah

Pada data ini menggunakan data uji penetrasi standar (SPT), yang dihitung berdasarkan jumlah pukulan yang diperlukan untuk menembus tanah pada kedalaman tertentu.

Nilai NSPT menunjukkan tingkat kekuatan dan kepadatan tanah dengan karakteristik tanah yang digunakan dalam penelitian ini termasuk kepadatan relatif, konsistensi tanah lempung dan parameter kekuatan geser. Data tanah ditujukan pada Tabel 3.1 Data Parameter Fisis dan Mekanis Tanah

Tabel 3. 1 Data Parameter Fisis dan Mekanis Tanah

Lapisan Jenis tanah N-SPT (bpf) Elevasi (m)	1 Lempung berlanau < 1 – 2 ± 0.00 m s/d -28.0 m	2 Lempung berlanau 3 – 7 -28.00 m s/d -36.0 m	3 Lempung berlanau 9 – 21 -36.0 m s/d - 83.0 m
N - SPT	2.00	7.00	21.00
Parameter	Undrained	Undrained	Undrained
Kepadatan	Soft	Medium	Stift
γ_t (t/m ³)	15,60	16,50	17,80
Gs (-)	2,52	2,60	2,66
e_0 (-)	1,81	1,80	1,03
W_n (100%)	70,00	56,00	38,00
P_L (100%)	34,00	32,00	37,00
L_L (100%)	79,00	82,00	89,00
L_I (-)	0,84	0,48	0,11
c (Kg/cm ²)	0,15	0,60	1,35
ϕ (°)	5,00	5,00	7,00
c' (Kg/cm ²)	0,02	0,08	0,10
ϕ' (°)	17,00	22,00	25,00
E_{50} (Kg/cm ²)	35,00	18,00	195,00
E_{eod} (Kg/cm ²)	80,00	50,00	150,00
Cc (-)	0,77	0,63	0,38
Cs (-)	0,08	0,08	0,09
λ (-)	0,329	0,240	0,143
K (-)	0,038	0,045	0,041
Pc (Kg/cm ²)	1,31	3,20	7,50
OCR (-)	3,42	1,92	1,08
k (Cm/s)	0,000000899	0,000000939	-

Sumber : Proyek Tol Semarang – Demak Seksi 1

3.3.2. Data Bambu

Data yang digunakan dalam penelitian ini mencakup sifat mekanis bambu, seperti kekuatan tarik, modulus elastisitas, dan kekuatan lentur. Selain itu, data dimensi dan pola pemasangan bambu sebagai material perkuatan tanah juga dianalisis.

Uji laboratorium, penelitian literatur, dan data lapangan adalah sumber informasi ini. Data bambu ditujukan pada Tabel 3.2 Data Teknis Matras Bambu dan data cerucuk bambu ditujukan pada Tabel 3. 3 Data Cerucuk Bambu

Tabel 3. 2 Data Teknis Matras Bambu

Jenis Matras	Matras 3 lapis	Matras 5 lapis
Lendutan (m)	0,115	0,120
Gaya (kN)	25,00	30,00
Bentang (m)	4,00	4,00
Em – Im (kN m²)	289,86	333,33
Im (m⁴)	0,0002818	0,0010268
Em (kN/m²)	1028571	324634
Bm (m)	1,00	1,00
Hm (m)	0,363	0,363
Am (m²)	0,3630	0,3630
Im (m⁴)	0,003987	0,003987
Em (kN/m²)	72709	83615

Sumber : Bambang Widodo (2023), Laporan Disertasi Perkuatan Tanah Dasar

Tabel 3. 3 Data Cerucuk Bambu

Identifikasi	EA (kN)	Fmax, comp (kN)	Fmax, tens (kN)	L (m)
Cerucuk cluster 3	1558	10,6	10,6	1

Sumber: Bambang Widodo (2023), Laporan Disertasi Perkuatan Tanah Dasar

3.3.3. Data Geotekstil

Data yang digunakan pada penelitian ini berupa data dari sifat mekanis geotekstil seperti kuat tarik, elongasi, dan permeabilitas adalah beberapa sifat mekanis yang dianalisis dalam penelitian ini.

Selain itu data dikumpulkan melalui uji laboratorium, spesifikasi teknis produk, dan literatur terkait. Data geotekstil ditujukan pada Tabel 3.4 Data Teknis Geotekstil

Tabel 3. 4 Data Teknis Geotekstil

Geotekstil Woven	Kuat Tarik (T_{ult}) (kN/m)	Regangan (ϵ) (%)
<i>Longitudinal</i> (CD)	50	10
<i>Transversal</i> (MD)	200	10

Sumber : Proyek Tol Semarang – Demak Seksi 1

3.3.4. Data Timbunan

Data timbunan ini menggunakan data tentang sifat fisik dan mekanis material timbunan, seperti berat jenis, kepadatan, sudut geser dalam, dan kohesi. Data diperoleh melalui survei lapangan, pengujian laboratorium, dan penelitian literatur. Data timbunan ditunjukkan pada Tabel 3.5 Data Teknis Timbunan

Tabel 3. 5 Data Teknis Timbunan

Jenis Tanah	Timbunan sand	Timbunan Commonborrow
Model	Mohr coulomb	Mohr coulomb
Parameter	Terdrainase	Terdrainase
Gs	2,67	2,65
e	0,67	0,43
w (%)	25	16
γ_w (kN/m³)	10	10
c (Kg/cm²)	0	0
v'	0,1	0,1
Es	10	20
Φ (°)	33	35
kx	0,01	0,01
ky	0,01	0,01
γ_{sat} (t/m³)	20	21,5
γ_d (t/m³)	15,9	18,6

Sumber : Proyek Tol Semarang – Demak Seksi 1

3.4. Analisis Data Menggunakan Program Software Geoteknik 2D V22

Analisis data dilakukan menggunakan program software *Software geoteknik 2D V22* untuk analisis geoteknik dan rekayasa tanah. Software ini dirancang untuk menganalisis dan memodelkan masalah geoteknik dalam dua dimensi untuk mengatasi masalah

seperti, penurunan tanah, kestabilan lereng, pemadatan tanah, struktur fondasi, dan lainnya.

3.4.1. Pengolahan Data

Data yang diperoleh kemudian dianalisis melakukan identifikasi dan mengumpulkan parameter material yang relevan. Setiap material memiliki karakteristik yang berbeda. Parameter ini diambil dari beberapa literatur atau data eksperimen yang sudah ada.

3.4.2. Penginputan Data

Dalam program *Software geoteknik 2D V22* memerlukan input parameter material untuk menentukan hasil analisis pemodelan, berikut parameter yang diperlukan dalam input material dalam program *Software geoteknik* :

1. Parameter Tanah (tanah asli dan timbunan)

Pada pemodelan yang digunakan adalah model Mohr-Columb, berikut adalah parameter yang digunakan :

- a. Kohesi (c)
- b. Sudut geser dalam (ϕ)
- c. Poisson ratio (μ)
- d. Modulus Elastisitas (E)
- e. *Permeabilitas (k)*
- f. Berat volume tanah saturated *soil weight* (γ_{sat})
- g. Berat volume tanah unsaturated *soil weight* (γ_{unsat})
- h. Sudut dilatasi (ψ)

2. Matras Bambu

- a. Tipe material
- b. Jumlah lapis
- c. *Normal stiffnes* (EA)
- d. *Flexural ridgity* (EI)
- e. *Weight* (w)

3. Geotekstil

- a. Tipe material

- b. Kuat Tarik
- c. *Normal stiffnes* (EA)
- d. *Factor of Subgrade Reaction* (Np)

3.4.3. Pemodelan Kondisi dan Simulasi

Pemodelan pada laporan Tugas Akhir menggunakan analisis numerik menggunakan *Software geoteknik 2D V22*, dengan analisis dari model tanah yang diperkuat menggunakan matras bambu dan geotekstil. Pada laporan ini penulis melakukan lima kondisi permodelan yaitu

1. Model tanah asli tanpa adanya perkuatan
2. Model perkuatan dengan jarak cerucuk 1 m dikombinasi dengan 3 lapis matras bambu,
3. Model perkuatan dengan jarak cerucuk 1m dikombinasi dengan 5 lapis matras bambu
4. Model perkuatan dengan jarak cerucuk 1,5 m dikombinasi dengan 3 lapis matras bambu
5. Model perkuatan dengan jarak cerucuk 1,5 m dikombinasi dengan 5 lapis matras bambu

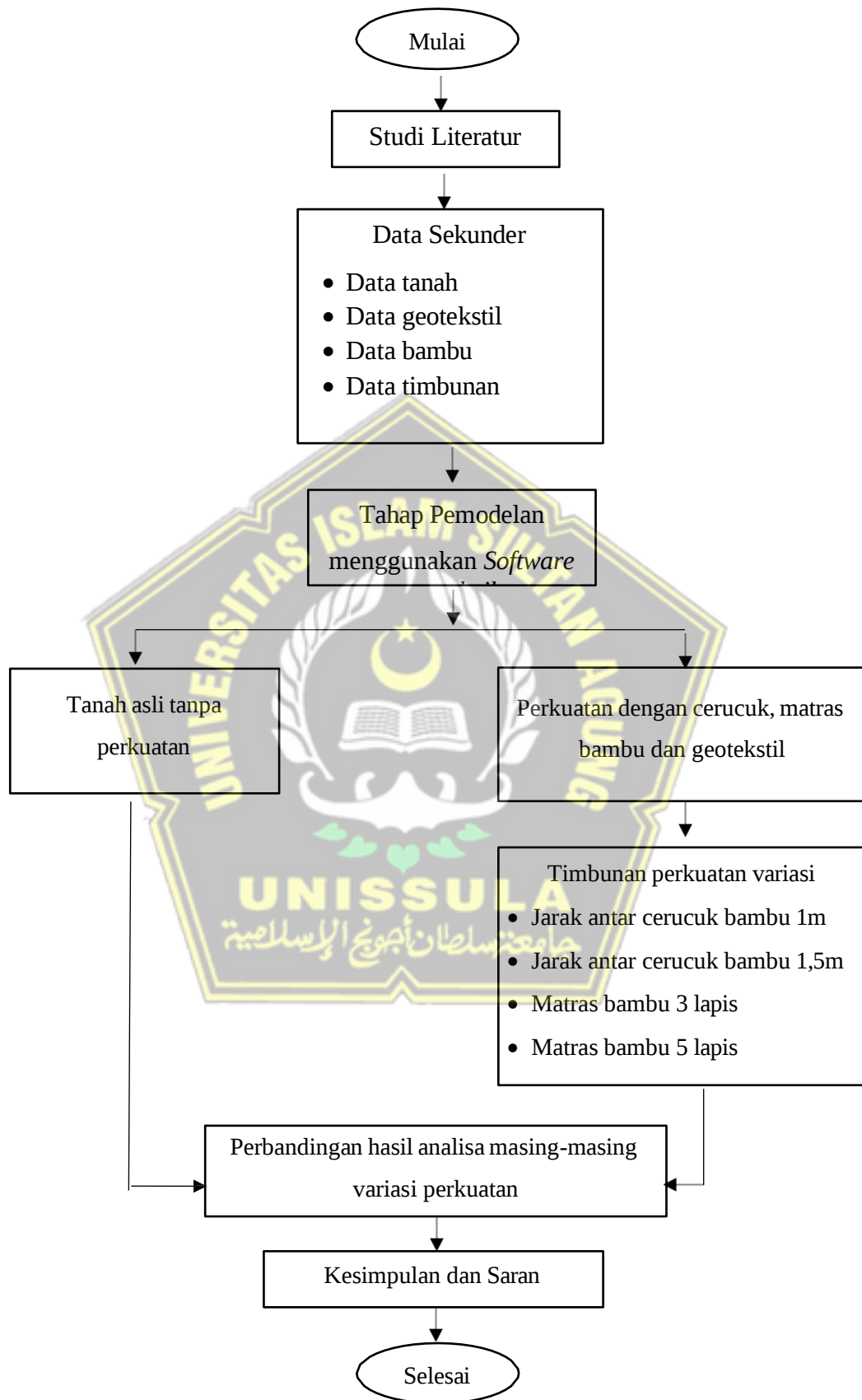
3.4.4. Hasil Analisis Pemodelan Software Geoteknik 2D

Hasil dari masing - masing model yang dibuat akan dibandingkan berdasarkan penurunan (*settlement*) yang sudah diberi perkuatan dengan beberapa variasi lapis matras bambu dan variasi jarak cerucuk bambu

Perbandingan antara model tanah asli tanpa adanya perkuatan, jarak cerucuk 1 m dikombinasi dengan 3 lapis matras bambu, jarak cerucuk 1m dikombinasi dengan 5 lapis matras bambu, jarak cerucuk 1,5 m dikombinasi dengan 3 lapis matras bambu, jarak cerucuk 1,5 m dikombinasi dengan 5 lapis matras bambu

Dari hasil perbandingan akan memberikan gambaran tentang efektivitas perkuatan tanah lunak menggunakan metode kombinasi matras bambu dan geotekstil sehingga dapat mengetahui material perkuatan dalam meningkatkan daya dukung pada tanah.

3.5. Bagan Alir



BAB IV

HASIL PEMBAHASAN

4.1. Data Parameter

Langkah awal sebelum memulai analisa dan penginputan pada aplikasi *software geoteknik 2D* adalah memperoleh parameter yang dijadikan bahan untuk menganalisa. Data yang digunakan untuk menganalisa efektivitas perkuatan tanah lunak pada timbunan dengan kombinasi cerucuk matras bambu dan geotekstil adalah sebagai berikut.

4.1.1. Data Input Parameter Tanah

Pada penginputan parameter tanah asli diperoleh dari Proyek Pembangunan Tol Semarang-Demak Seksi 1. Data parameter tanah ini sudah dilakukan pengujian laboratorium. Tujuan dari parameter tanah ini berfungsi sebagai input material tanah asli dan timbunan pada program aplikasi *software geoteknik 2D*

Setelah mendapatkan konsistensi parameter tanah asli yang digunakan, data tanah bisa di input kedalam program aplikasi *software geoteknik*. Berikut ini input data parameter tanah Proyek Pembangunan Tol Semarang-Demak Seksi 1. Data parameter tanah ditunjukkan pada Tabel 4. 1 Data Input Parameter Tanah Asli

Tabel 4. 1 Data Input Parameter Tanah Asli

Lapisan	1	2	3
Jenis tanah	Lempung berlanau	Lempung berlanau	Lempung berlanau
N-SPT (bpf)	< 1 – 2	3 – 7	9 – 21
Elevasi (m)	± 0.00 m s/d -28.0 m	-28.00 m s/d -36.0 m	-36.0 m s/d - 83.0 m
N - SPT	2.00	7.00	21.00
Parameter	Undrained	Undrained	Undrained
Kepadatan	Soft	Medium	Stift
γ_{sat} (kN/m ³)	15,4	15.20	18.20
γ_{unsat} (kN/m ³)	15,2	14.50	18.10
γ_w (kN/m ³)	10,00	10.00	10.00
C' (kN/m ²)	2,00	8,00	10,00
ϕ'	17,00	22,00	25,00
V'	0.30	0.30	0.30

Eoed (kN/m ²)	8000	5000	15000
k_x (m/day)	0,0008	0,00057	-
k_y (m/day)	0,0008	0,00057	-

Sumber : Merujuk Pada Tabel 3.1 Data Parameter Fisis dan Mekanis Tanah

Berikut parameter tanah timbunan yang digunakan dalam perhitungan menggunakan program aplikasi *software geoteknik*. Data parameter tanah ditujukan pada Tabel

4. 2 Data Input Timbunan

Tabel 4. 2 Data Input Timbunan

Jenis tanah	<i>Sand Drain</i>	<i>Common borrow</i>
Model	MC	MC
Parameter	Terdrainase	Terdrainase
γ_{sat} (kN/m ³)	20	21,50
γ_d (kN/m ³)	15,90	18,60
γ_w (kN/m ³)	10,00	10,00
C' (kN/m ²)	0,00	0,00
ϕ'	30,00	30,00
V'	0.10	0.10
E_s (kN/m ²)	10000	20000
k_x (m/day)	8,64	8,64
k_y (m/day)	8,64	8,64

Sumber : Merujuk Pada Tabel 3.5 Data Teknis Timbunan

4.1.2. Data Input Parameter Bambu

Data parameter bambu diperoleh dari literasi disertasi, terdapat dua jenis parameter bambu yang digunakan yaitu matras dan cerucuk bambu. Penggunaan material matras dan cerucuk bambu ini tidak dapat didesain sendiri karena harus melakukan pengujian laboratorium. Data parameter bambu ditujukan pada Tabel 4.3 Parameter Matras Bambu dan Tabel 4.4 Parameter Cerucuk Bambu

Tabel 4. 3 Parameter Matras Bambu

Lapis	Em (kN/m ²)	A (m ²)	EA (kN/m)	NP (kN/m)	Gaya (P) (kN)	I (m ⁴)	EI (kN/m ²)
3	72709	0,363	26393,37	68,87	25	0,003987	289,89
5	83615	0,363	30352,25	82,64	30	0,003987	333,37

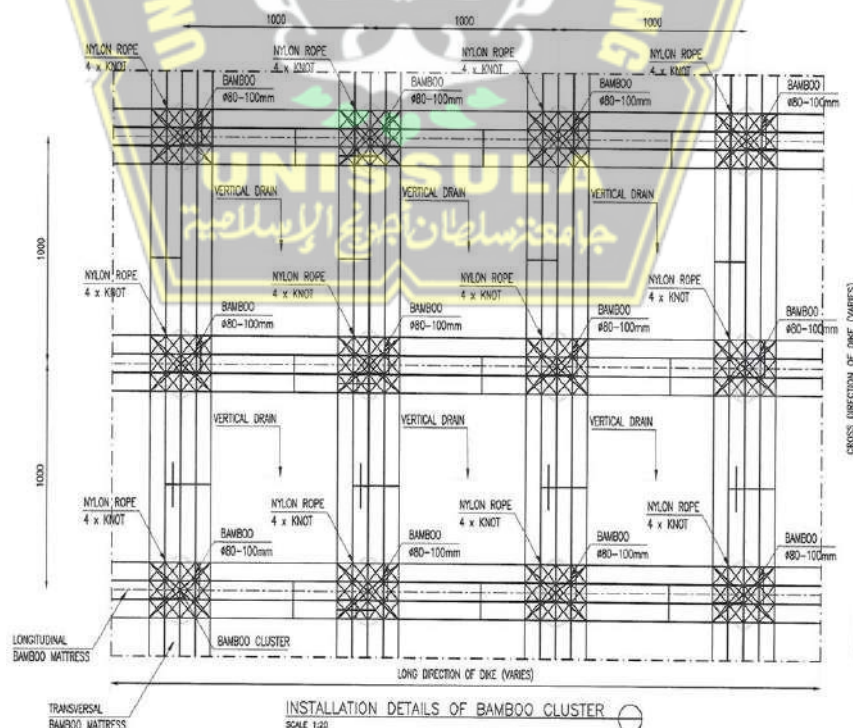
Sumber : Merujuk Pada Tabel 3.2 Data Teknis Matras Bambu

Tabel 4. 4 Parameter Cerucuk Bambu

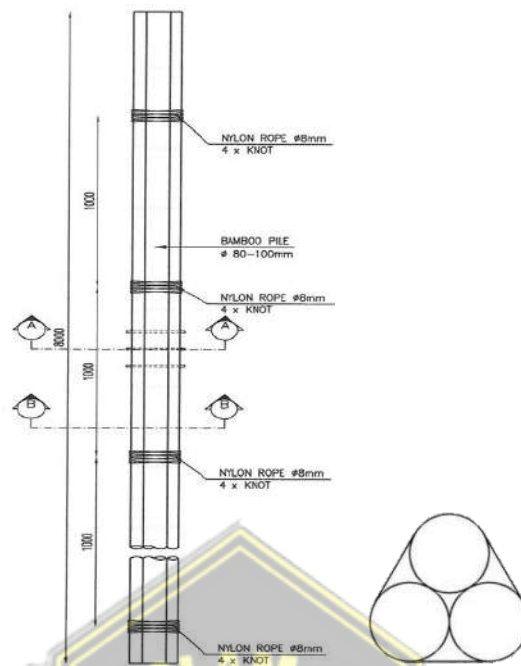
Cerucuk bambu	E (kN/m ²)	EA (kN/m)	A (m ²)	Fmax,comp kN	Fmax,tens (kN)	Diameter (m)
3 batang	1038667	1558	0,0015	10,6	10,6	0.1385

Sumber : Merujuk Pada Tabel 3.3 Data Teknis Cerucuk Bambu

Dalam 1 ikat cerucuk bambu terdiri dari 3 buah batang bambu dengan ukuran 8 m, sehingga 1 cerucuk bambu yang diikat berbentuk menyerupai segitiga memiliki luas 15 cm sedangkan untuk matras bambu sendiri berukuran 8 x 8 m kemudian ditumpuk sesuai jumlah lapisan. Berikut merupakan gambar detail dari cerucuk bambu dan matras bambu



Gambar 4. 1 Detail Matras Bambu (Proyek Tol Semarang – Demak Seksi 1)



Gambar 4. 2 Detail Cerucuk Bambu (Proyek Tol Semarang – Demak Seksi 1)

4.1.3. Data Input Parameter Geotekstil

Penggunaan material geotekstil pada analisa ini menggunakan data geotekstil yang diperoleh dari Proyek Pembangunan Tol Semarang-Demak Seksi 1. Penggunaan material geotekstil pada perkuatan tanah berhubungan dengan jenis dan kekuatan dari geotekstil. Pemasangan geotekstil secara transversal maupun longitudinal dapat mempengaruhi kuat tarik dari geotekstil yang digunakan.

Berikut data geotekstil. Geotekstil yang digunakan pada proyek ini adalah uniaxial woven dengan kuat tarik 200 kN/m dan memiliki regangan sebesar 10%, untuk penginputan data yang diperlukan adalah kekuan normal (EA). Nilai kekakuan normal pada bergantung pemasangan geotekstil. Data parameter bambu Geotekstil ditujukan pada Tabel 4.5 Data Input Pararameter Geotekstil

Tabel 4. 5 Data Input Pararameter Geotekstil

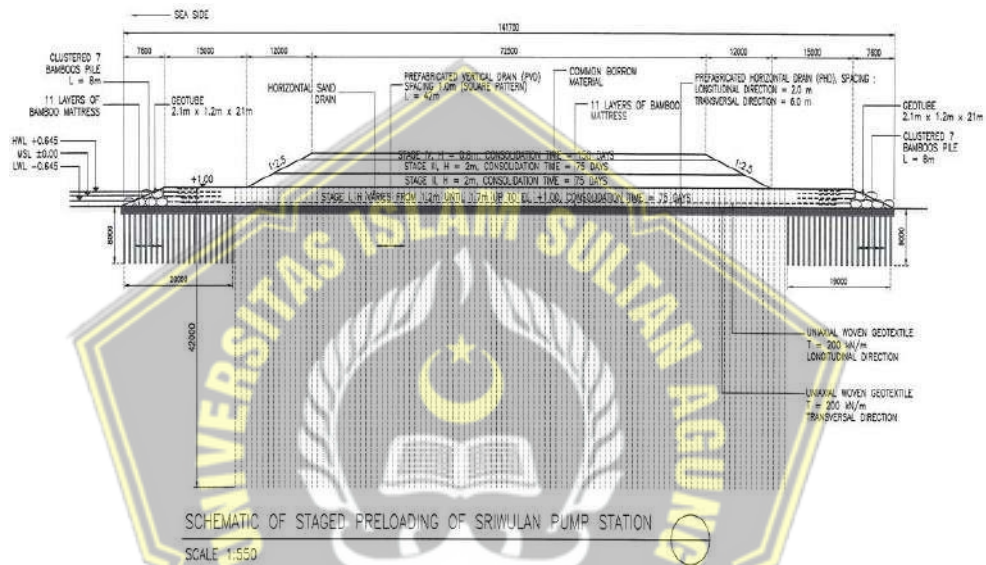
Pemasangan	Kuat tarik kN/m	Regangan(ϵ) %	Kekakuan normal kN/m
Transversal (MD)	200	10	2000
Longitudinal (CD)	50	10	500

Sumber : Merujuk Pada Tabel 3.4 Data Teknis Geotekstil

4.1.4. Data Geometri Tanah Timbunan

Gambar geometri tanah timbunan pada analisa ini diperoleh dari Proyek Pembangunan Tol Semarang - Demak Seksi 1. Penggunaan geometri ini digunakan sebagai permodelan tanah timbunan dan material pada program *software geoteknik*.

Berikut gambar geometri tanah timbunan pada Pembangunan Tol Semarang - Demak Seksi 1. Gambar geometri tujukan pada Gambar 3.2 Geometri Tanah Timbunan Rumah Pompa



Gambar 3. 2 Geometri Tanah Timbunan Rumah Pompa (Proyek Tol Semarang – Demak Seksi 1)

4.2. Analisis Tanah Timbunan Tanpa Perkuatan

Analisis tanah timbunan tanpa perkuatan menggunakan program *software geoteknik*. Program *software geoteknik* melakukan perhitungan berdasarkan metode elemen hingga, untuk menganalisis bagaimana perilaku tanah timbunan terhadap kondisi yang ada.

Timbunan dianalisis tanpa perkuatan diberlakukan sebagai pembanding bagaimana kondisi antara timbunan dengan perkuatan dan tanpa perkuatan. Berikut tahapan analisis timbunan tanpa perkuatan pada program *software geoteknik*.

4.2.1. Input Data

- a. Jalankan aplikasi *software geoteknik* input



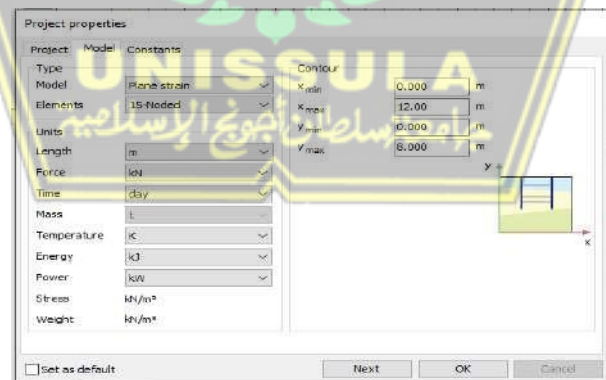
Gambar 4. 3 Membuka *software geoteknik* Input

- b. Pilih proyek baru



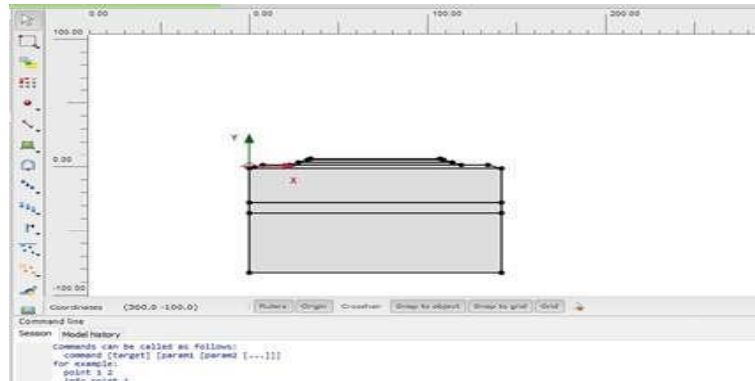
Gambar 4. 4 Memulai Program *software geoteknik*

- c. Sesuaikan nama dan dimensi yang dibutuhkan



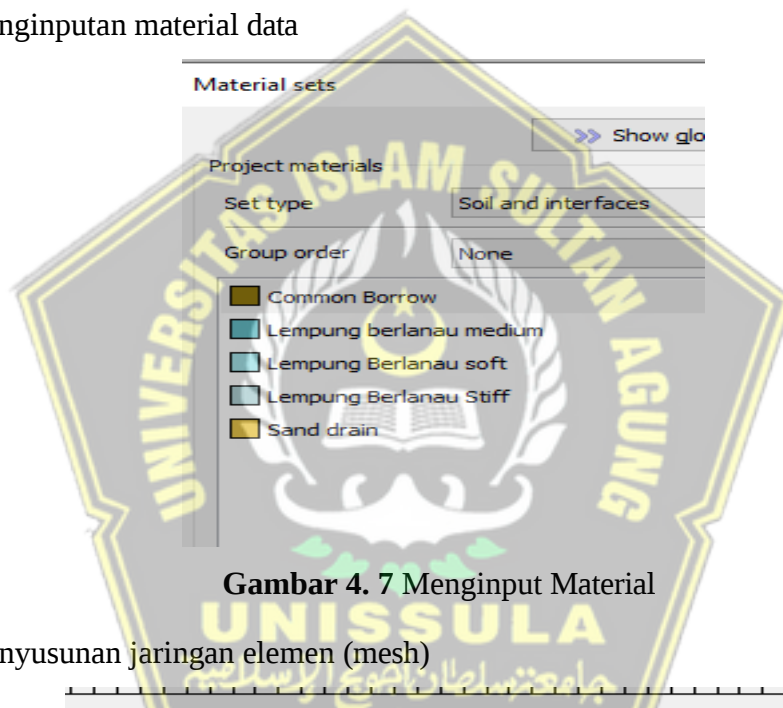
Gambar 4. 5 Mengatur Nama Dan Dimensi Program

d. Gambar permodelan



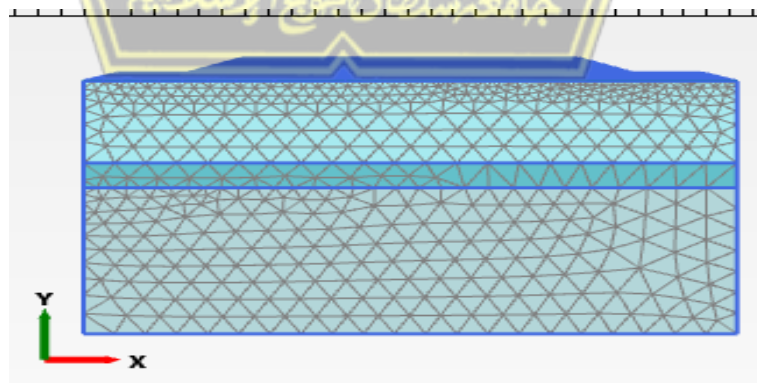
Gambar 4. 6 Menggambar Permodelan

e. Penginputan material data



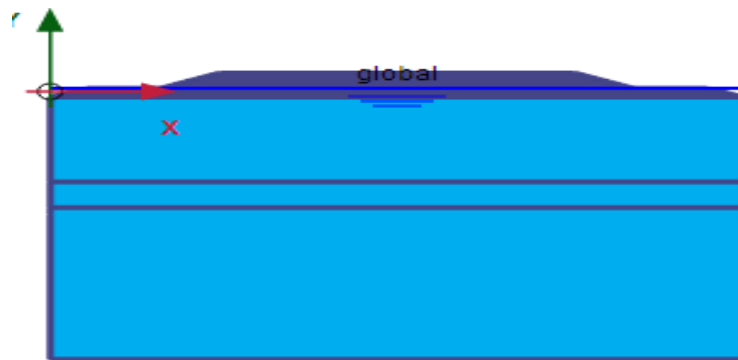
Gambar 4. 7 Menginput Material

f. Penyusunan jaringan elemen (mesh)



Gambar 4. 8 Penyusunan Jaringan Elemen (*Mesh*)

g. Input muka air tanah

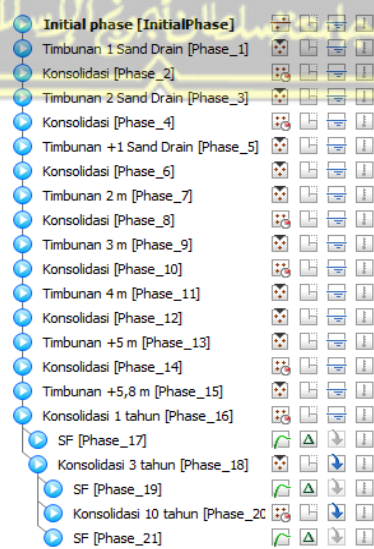


Gambar 4. 9 Menginput Muka Air Tanah

4.2.2. Tahapan Perhitungan/Pekerjaan

Pada tahap perhitungan phase ini meliputi tahap pekerjaan timbunan menggunakan 2 jenis material yaitu *sand drain* dan *common borrow*. Kontruksi timbunan tanpa perkuatan memiliki tahap pekerjaan timbunan sand drain pertama, timbunan sand drain kedua, timbunan sand drain +1 m, timbunan +2 m, timbunan +3 m, timbunan +4 m, timbunan +5 m, timbunan +5,8 m.

Pekerjaan timbunan memiliki time interval 1 hari. Setiap timbunan diberi masa tunggu menggunakan notasi konsolidasi dengan time interval 5 hari konsolidasi yang mana setelah timbunan selesai pada 5,8 meter dilakukan konsolidasi selama 1 tahun, 3 tahun, dan 10 tahun. Berikut ini merupakan tahapan perhitungan atau pekerjaan untuk permodelan *software geoteknik* analisis timbunan tanpa perkuatan



Gambar 4. 10 Tahapan Pekerjaan (Phase)

1. *Initial phase*



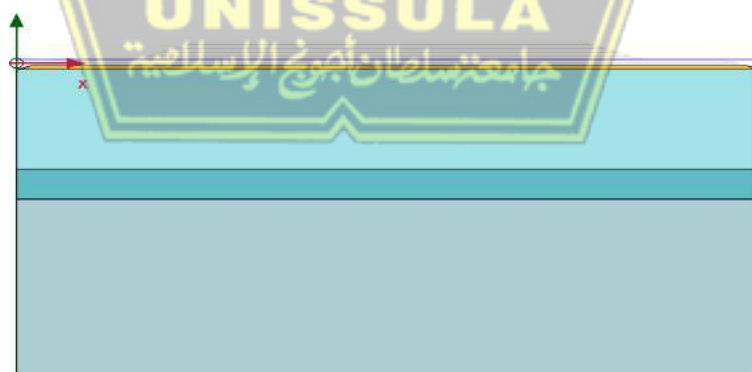
Gambar 4. 11 Permodelan Pekerjaan *Initial Phase*

2. Pekerjaan timbunan *sand drain* tahap 1



Gambar 4. 12 Permodelan Pekerjaan Timbunan *Sand Drain* Tahap 1

3. Konsolidasi



Gambar 4. 13 Permodelan Pekerjaan Konsolidasi Timbunan *Sand Drain* Tahap 1

4. Pekerjaan timbunan *sand drain* tahap 2



Gambar 4. 14 Permodelan Pekerjaan Timbunan *Sand Drain* Tahap 2

5. Konsolidasi



Gambar 4. 15 Permodelan Pekerjaan Konsolidasi Timbunan *Sand Drain* Tahap 2

6. Pekerjaan timbunan *sand drain* +1 m



Gambar 4. 16 Permodelan Pekerjaan Timbunan *Sand Drain* +1 m

7. Konsolidasi



Gambar 4. 17 Permodelan Pekerjaan Konsolidasi
Timbunan *Sand Drain* +1 m

8. Pekerjaan timbunan *common borrow* +2 m



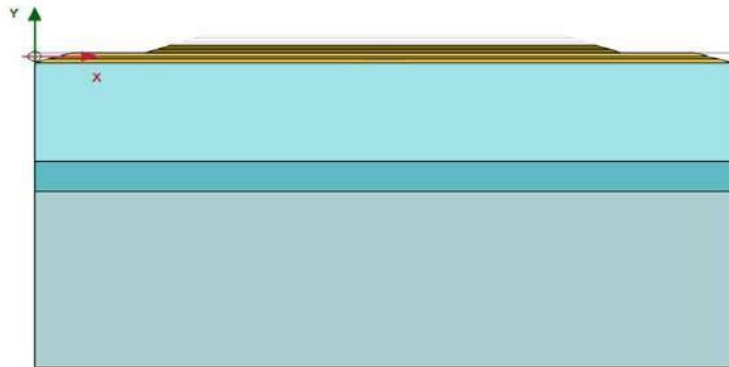
Gambar 4. 18 Permodelan Pekerjaan Timbunan
Common Borrow +2 m

9. Konsolidasi



Gambar 4. 19 Permodelan Pekerjaan Konsolidasi
Timbunan *Common Borrow* +2

10. Pekerjaan timbunan *common borrow* +3 m



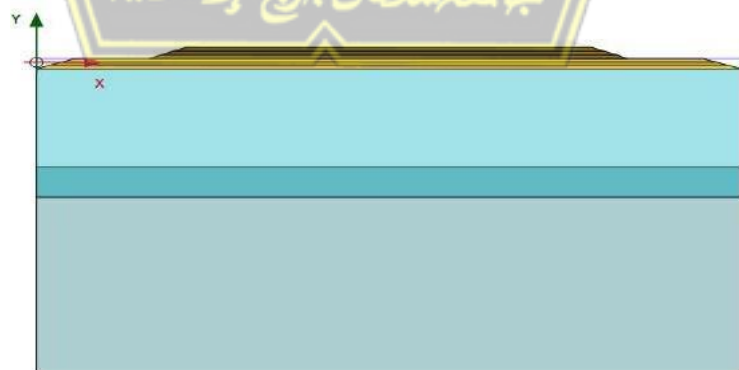
Gambar 4. 20 Permodelan Pekerjaan Timbunan
Common Borrow +3 m

11. Konsolidasi



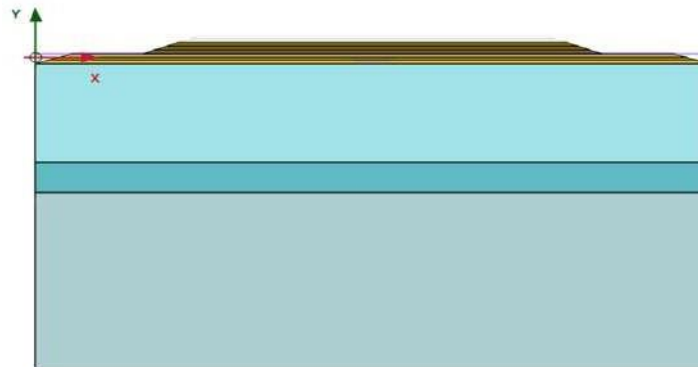
Gambar 4. 21 Permodelan Pekerjaan Konsolidasi
Timbunan *Common Borrow* +3m

12. Pekerjaan timbunan *common borrow* +4 m



Gambar 4. 22 Permodelan Pekerjaan Timbunan
Common Borrow +4 m

13. Konsolidasi



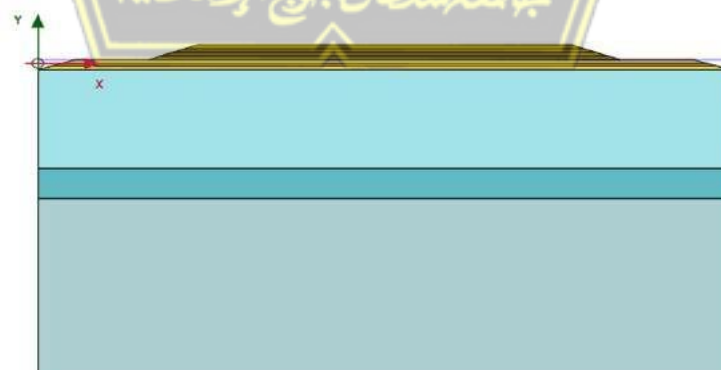
Gambar 4. 23 Permodelan Pekerjaan Konsolidasi
Timbunan Common Borrow +4 m

14. Pekerjaan timbunan *common borrow* +5 m



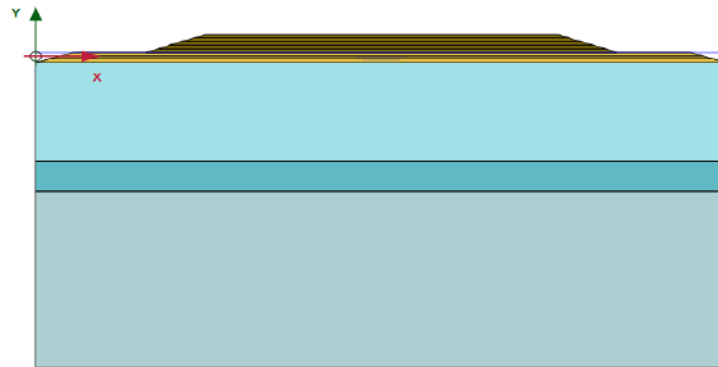
Gambar 4. 24 Permodelan Pekerjaan Timbunan
Common Borrow +5 m

15. Konsolidasi



Gambar 4. 25 Permodelan Pekerjaan Konsolidasi
Timbunan Common Borrow +5 m

16. Pekerjaan timbunan *common borrow* +5,8 m



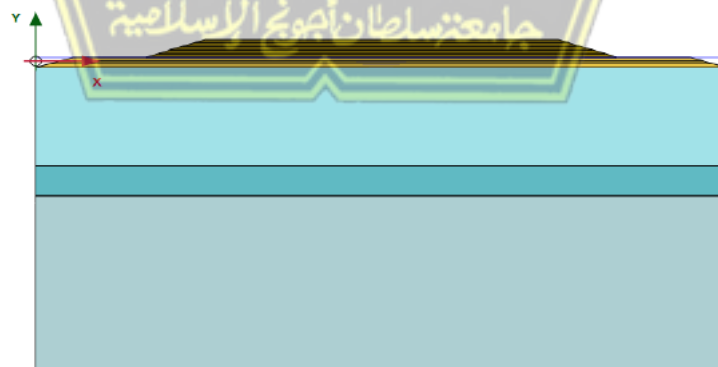
Gambar 4. 26 Permodelan Pekerjaan Timbunan
Common Borrow +5,8 m

17. Konsolidasi 1 tahun



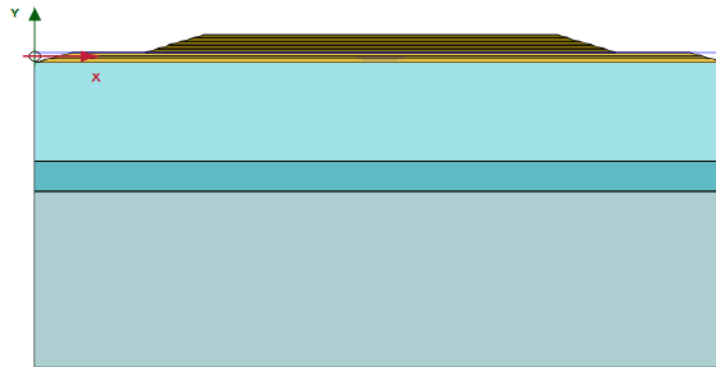
Gambar 4. 27 Permodelan Pekerjaan Konsolidasi
Timbunan Selama 1 Tahun

18. Konsolidasi 3 tahun



Gambar 4. 28 Permodelan Pekerjaan Konsolidasi
Timbunan Selama 3 Tahun

19. Konsolidasi 10 tahun

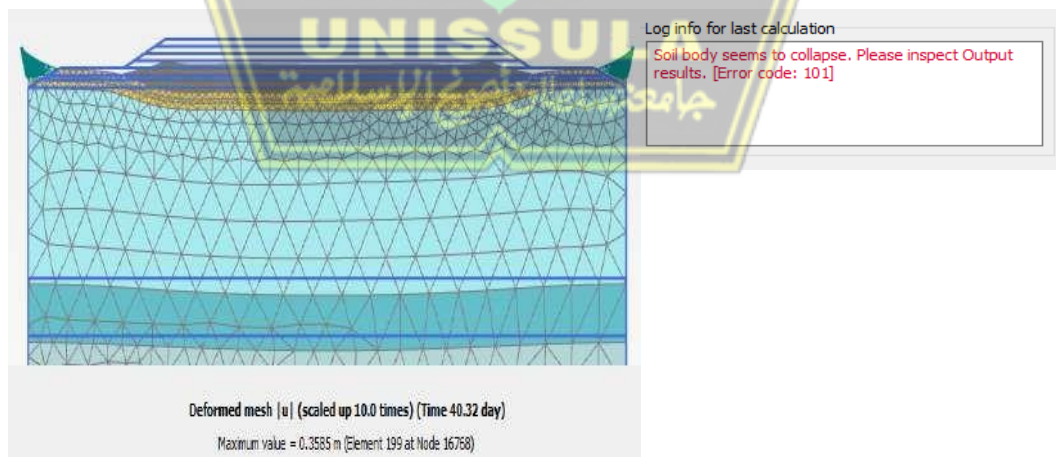


Gambar 4. 29 Permodelan Pekerjaan Konsolidasi Timbunan Selama 10 Tahun

4.2.3. Hasil Perhitungan

Hasil perhitungan dari program tanah timbunan tanpa perkuatan mengalami kegagalan pada timbunan +5 m, proses perhitungan timbunan tidak dapat selesai dikarenakan $\sum M_{stage} < 1$. Tanah mengalami pada hari ke 40,32 dengan nilai $\sum M_{stage}$ sebesar 0,3161 dan nilai *safety factor* sebesar 1, nilai ini belum memenuhi syarat aman untuk *safety factor* tanah.

Pada proyek ini memiliki tanah asli yang memiliki konsistensi tanah lempung berlanau, sehingga konstruksi timbunan memerlukan perkuatan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4. 28 dan 4. 29



Gambar 4. 30 Kegagalan Tanah Timbunan Pada +5 m

Reached values	
Reached total time	40.32 day
CSP - Relative stiffness	2.241E-3
ForceX - Reached total force	0.000 kN
ForceY - Reached total force	0.000 kN
Pmax - Reached max pp	79.64 kN/m ²
ΣM_{stage} - Reached phase p	0.3161
ΣM_{weight} - Reached weight	1.000
ΣM_{sf} - Reached safety factor	1.000

Gambar 4. 31 Nilai ΣM Stage Dan Safety Factor

4.3. Analisis Tanah Timbunan Menggunakan Matras Bambu dan Geotekstil

Pada analisis tanah timbunan menggunakan perkuatan matras bambu, cerucuk bambu dan geotekstil. Dalam geometri permodelan yang digunakan mengabaikan material PVD, PHD, dan geotube. Material matras bambu dan geotekstil dimodelkan menggunakan geogrid, dan material cerucuk bambu dimodelkan menggunakan *Embedded Beam Row*.

Material matras bambu 5 lapis dengan jarak cerucuk 1 meter, matras bambu 3 lapis dengan jarak cerucuk 1 meter, matras bambu 5 lapis dengan jarak cerucuk 1,5 meter, dan matras bambu 3 lapis dengan jarak cerucuk 1,5 meter digunakan sebagai perbandingan efektivitas perkuatan matras bambu dan geotekstil. Berikut tahapan analisis timbunan menggunakan matras bambu dan geotekstil.

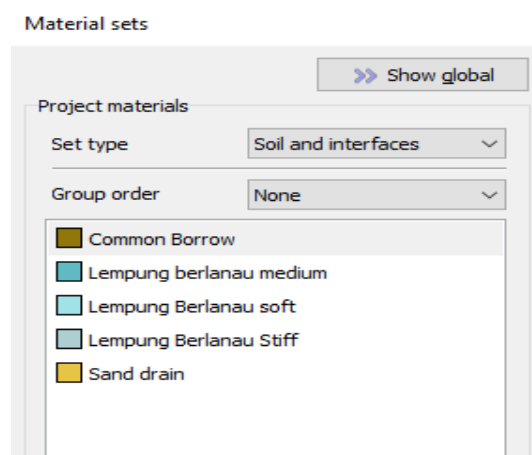
4.3.1. Input Data

1. Menambahkan gambar permodelan perkuatan

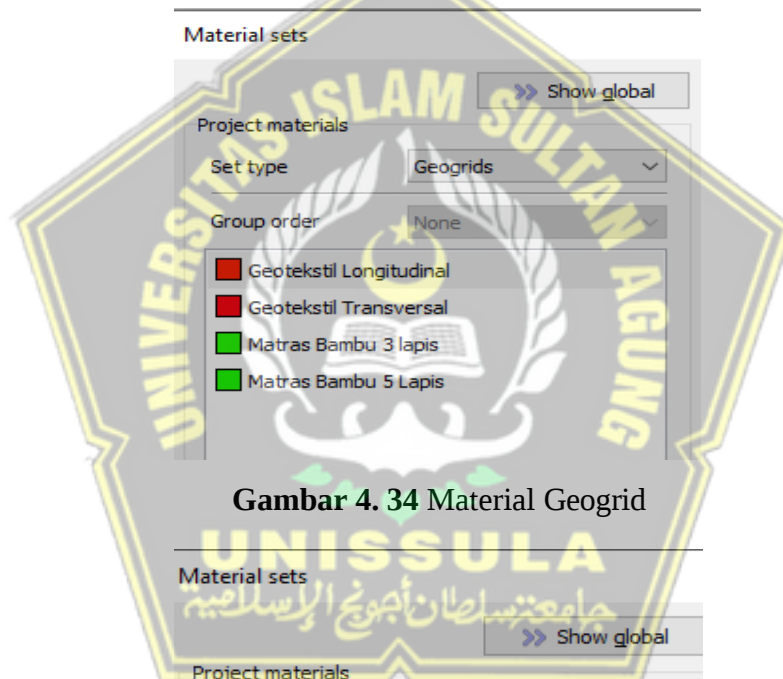


Gambar 4. 32 Permodelan Dengan Perkuatan

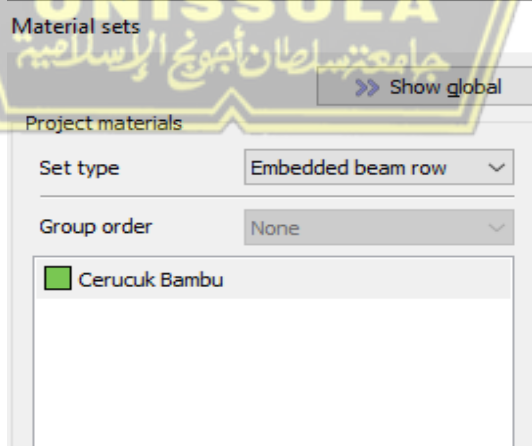
2. Penginputan material data



Gambar 4. 33 Material Tanah

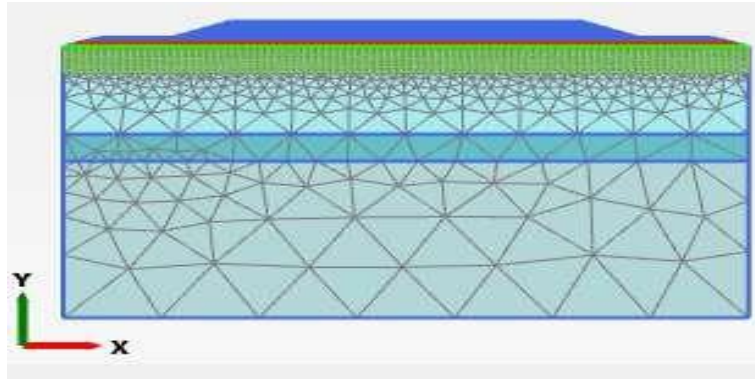


Gambar 4. 34 Material Geogrid



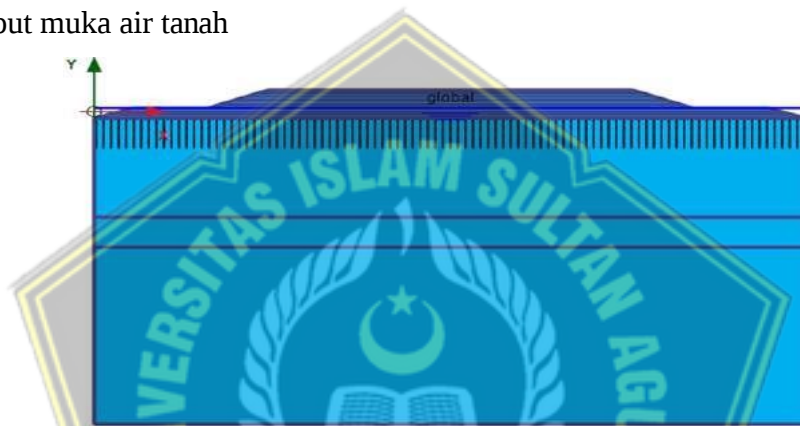
Gambar 4. 35 Material *Embedded Beam Row*

3. Penyusunan jaringan elemen (*mesh*)



Gambar 4. 36 Penyusunan Jaringan Elemen (*Mesh*)

4. Input muka air tanah



Gambar 4. 37 Penginputan Muka Air Tanah

4.3.2. Tahapan Perhitungan

Pada tahap perhitungan phase ini meliputi tahap pekerjaan timbunan menggunakan 2 jenis material yaitu sand drain dan common borrow. Kontruksi timbunan dengan perkuatan memiliki tahap pekerjaan matras dan cerucuk bambu kemudian pekerjaan geotekstil transversal, timbunan sand drain pertama, pekerjaan geotekstil longitudinal, timbunan sand drain kedua, timbunan sand drain +1 m, timbunan +2 m, timbunan +3 m, timbunan +4 m, timbunan +5 m, timbunan +5,8 m.

Pekerjaan matras bambu diberi time interval 3 hari, pekerjaan geotekstil dan timbunan memiliki time interval 1 hari. Setiap timbunan diberi masa tunggu menggunakan notasi konsolidasi dengan time interval 5 hari konsolidasi yang mana setelah timbunan selesai pada 5,8 meter dilakukan konsolidasi selama 1 tahun, 3 tahun, dan 10 tahun.

Berikut ini merupakan tahapan perhitungan atau pekerjaan untuk permodelan *software geoteknik* analisis timbunan dengan perkuatan

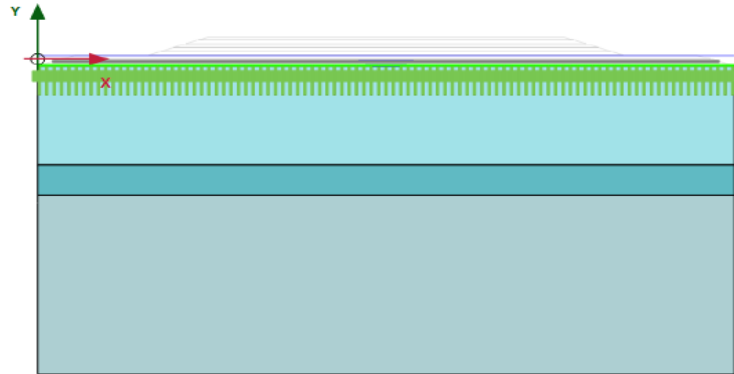
Pada tahap perhitungan phase



Gambar 4. 38 Tahapan Pekerjaan (Phase) Timbunan Dengan Perkuatan

Gambar 4. 39 Model *Intial Phase* Timbunan Dengan Perkuatan

2. Pekerjaan matras dan cerucuk bambu



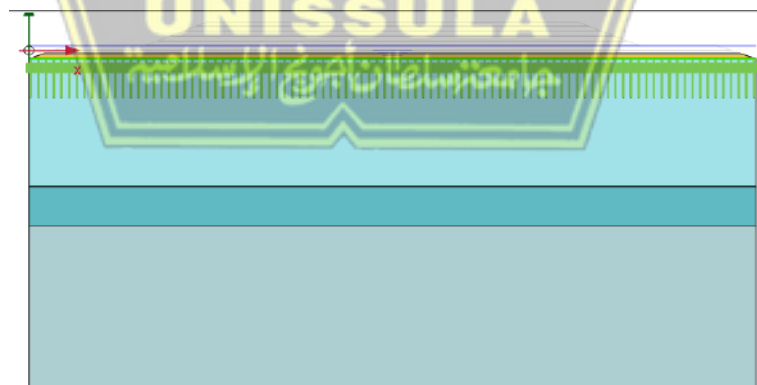
Gambar 4. 40 Model Pekerjaan Cerucuk Dan Matras Bambu

3. Pekerjaan geotekstil *transversal*



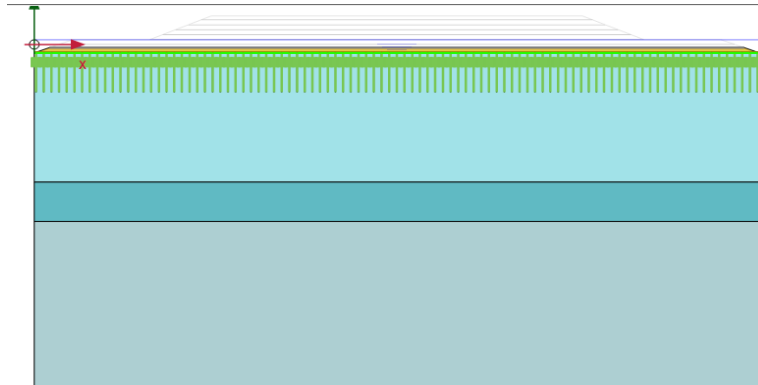
Gambar 4. 41 Model pekerjaan geotekstil *transversal*

4. Pekerjaan timbunan sand drain tahap 1



Gambar 4. 42 Permodelan Pekerjaan Timbunan *Sand Drain* Tahap 1

5. Konsolidasi



Gambar 4. 43 Permodelan Pekerjaan Konsolidasi Timbunan *Sand Drain* Tahap 1

6. Pekerjaan geotekstil *longitudinal*



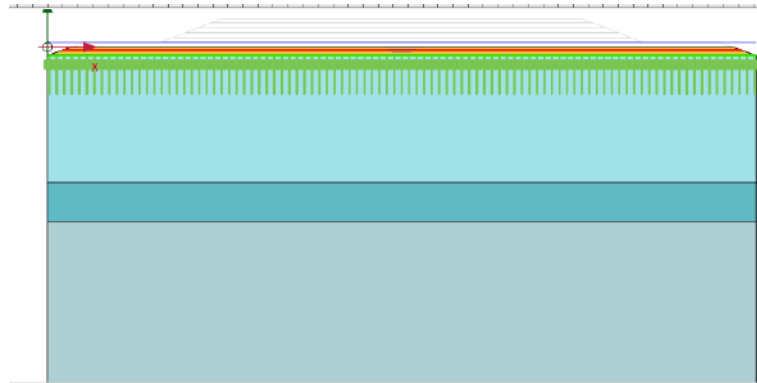
Gambar 4. 44 Permodelan Pekerjaan Geotekstil *Longitudinal*

7. Pekerjaan timbunan sand drain kedua



Gambar 4. 45 Permodelan Pekerjaan Timbunan *Sand Drain* Tahap 2

8. Konsolidasi



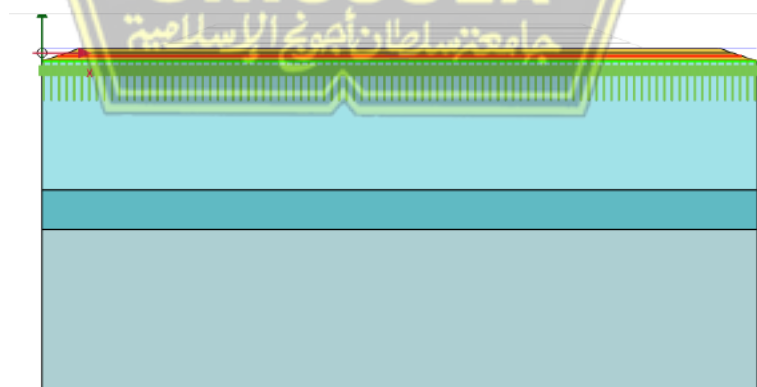
Gambar 4. 46 Permodelan Pekerjaan Konsolidasi
Timbunan Sand Drain Tahap 2

9. Pekerjaan timbunan *sand drain* +1 m



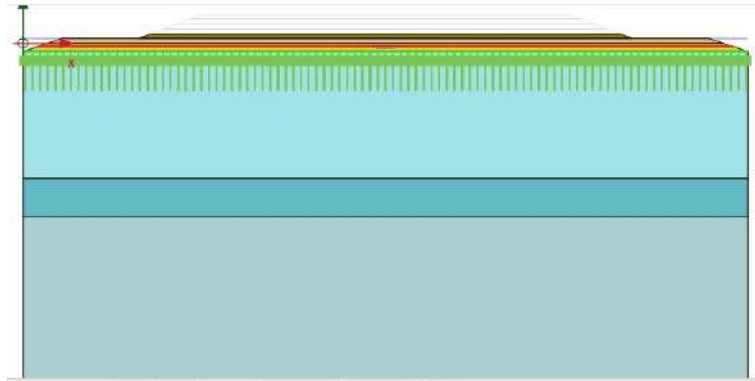
Gambar 4. 47 Permodelan Pekerjaan Timbunan *Sand Drain* +1 m

10. Konsolidasi



Gambar 4. 48 Permodelan Pekerjaan Konsolidasi
Timbunan *Sand Drain* +1 m

11. Pekerjaan timbunan *common borrow* +2 m



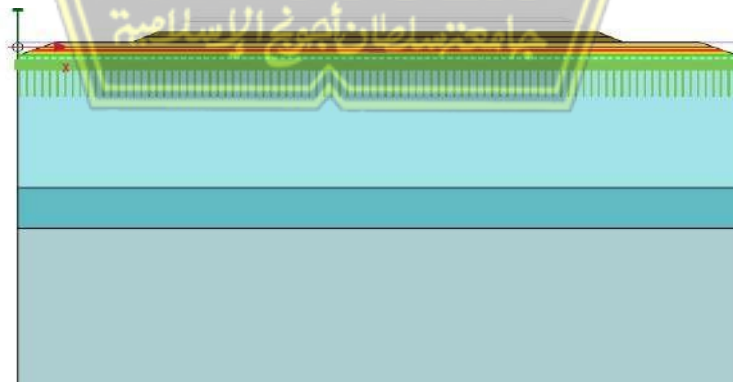
Gambar 4. 49 Gambar Permodelan Pekerjaan Timbunan *Common Borrow* +2 m

12. Konsolidasi



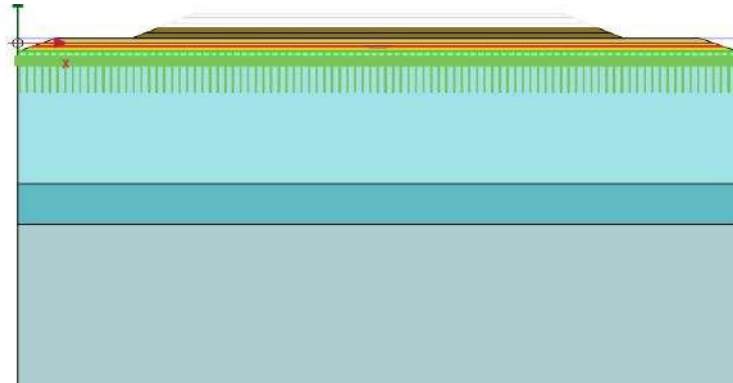
Gambar 4. 50 Permodelan Pekerjaan Konsolidasi Timbunan *Common Borrow* +2 m

13. Pekerjaan timbunan *common borrow* +3 m



Gambar 4. 51 Permodelan Pekerjaan Timbunan *Common Borrow* +3 m

14. Konsolidasi



Gambar 4. 52 Permodelan Pekerjaan Konsolidasi Timbunan
Common Borrow +3 m

15. Pekerjaan timbunan *common borrow* +4 m



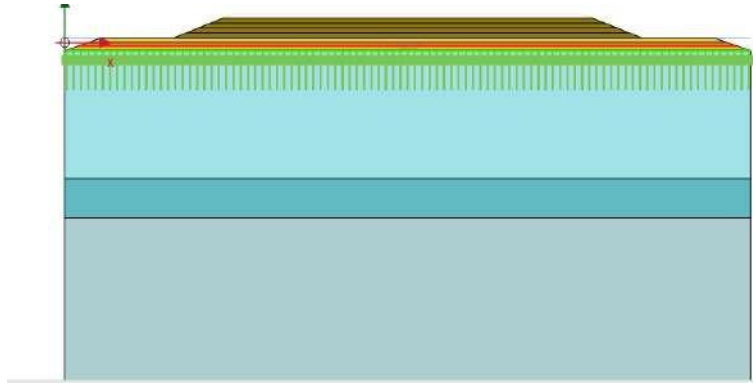
Gambar 4. 53 Permodelan Pekerjaan Timbunan *Common*
Borrow +4 m

16. Konsolidasi



Gambar 4. 54 Permodelan Pekerjaan Konsolidasi Timbunan
Common Borrow +4 m

17. Pekerjaan timbunan *common borrow* +5 m



Gambar 4. 55 Permodelan Pekerjaan Timbunan
Common Borrow +5 m

18. Konsolidasi



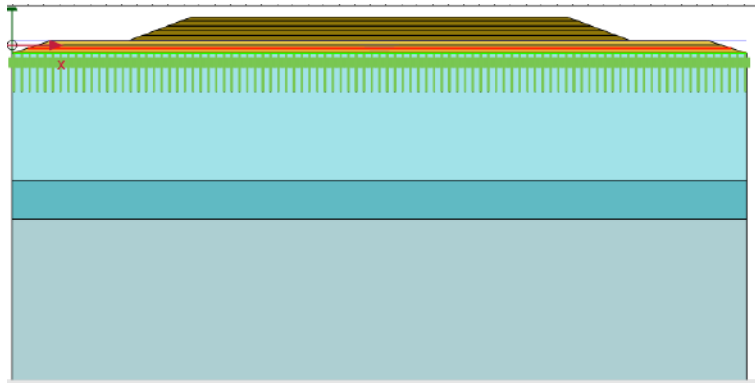
Gambar 4. 56 Permodelan Pekerjaan Konsolidasi
Timbunan *Common Borrow* +5m

19. Pekerjaan timbunan *common borrow* +5,8 m



Gambar 4. 57 Permodelan Pekerjaan Timbunan *Common*
Borrow +5,8 m

20. Konsolidasi 1 tahun



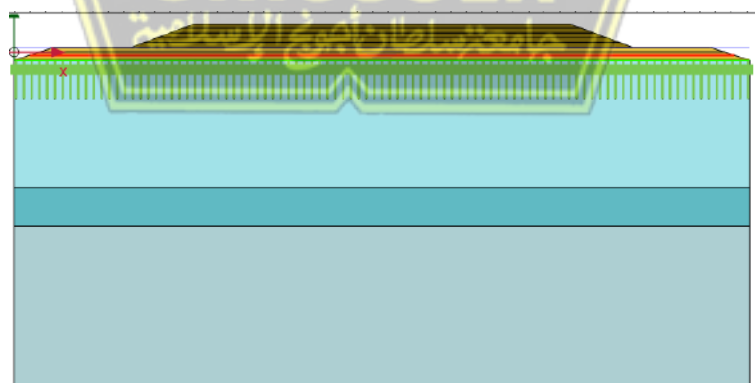
Gambar 4. 58 Permodelan Pekerjaan Konsolidasi Timbunan Dengan Perkuatan Selama 1 Tahun

21. Konsolidasi 3 tahun



Gambar 4. 59 Permodelan Pekerjaan Konsolidasi Timbunan Dengan Perkuatan Selama 3 Tahun

22. Konsolidasi 10 tahun



Gambar 4. 60 Permodelan Pekerjaan Konsolidasi Timbunan Dengan Perkuatan Selama 10 Tahun

4.3.3. Hasil Perhitungan

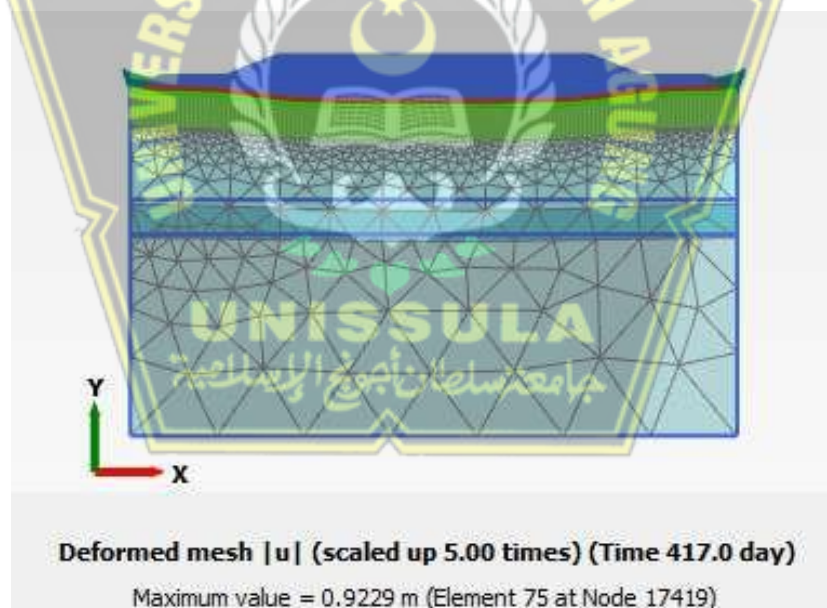
Pada proyek pembangunan Tol Semarang-Demak Seksi 1 menggunakan program *software geoteknik V22* berdasarkan permodelan *Mohr Coloumb*. Perhitungan permodelan Pembangunan Tol Semarang-Demak didapatkan nilai berupa perpindahan total (utot), *safety factor* dll.

Permodelan ini dibuat berdasarkan lapisan tanah hingga 83 meter, yang terdiri dari beberapa lapisan berdasarkan data yang diperoleh dari Proyek Pembangunan Tol Semarang - Demak Seksi 1.

4.3.3.1. Analisis Penurunan Tanah Menggunakan Matras Bambu 5 Lapis dengan Jarak Cerucuk 1 meter

1. Konsolidasi 1 tahun

Pada konsolidasi 1 tahun mendapatkan hasil yaitu dengan utot sebesar 0,9229 m dan *safety factor* sebesar 1,393 untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4. 59 dan Gambar 4.60



Gambar 4. 61 Perpindahan Total (Utot)

Reached values	
Reached total time	417.0 day
CSP - Relative stiffness	0.04699E-3
ForceX - Reached total force	0.000 kN
ForceY - Reached total force	0.000 kN
Pmax - Reached max pp	72.85 kN/m ²
ΣM_{stage} - Reached phase p	0.000
ΣM_{weight} - Reached weight	1.000
ΣM_{sf} - Reached safety fact	1.393

Gambar 4. 62 *Safety Factor*

2. Konsolidasi 3 tahun

Pada konsolidasi 3 tahun mendapatkan hasil yaitu dengan utot sebesar 0,9885 m dan safety factor sebesar 1,438 untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4. 61 dan Gambar 4.62



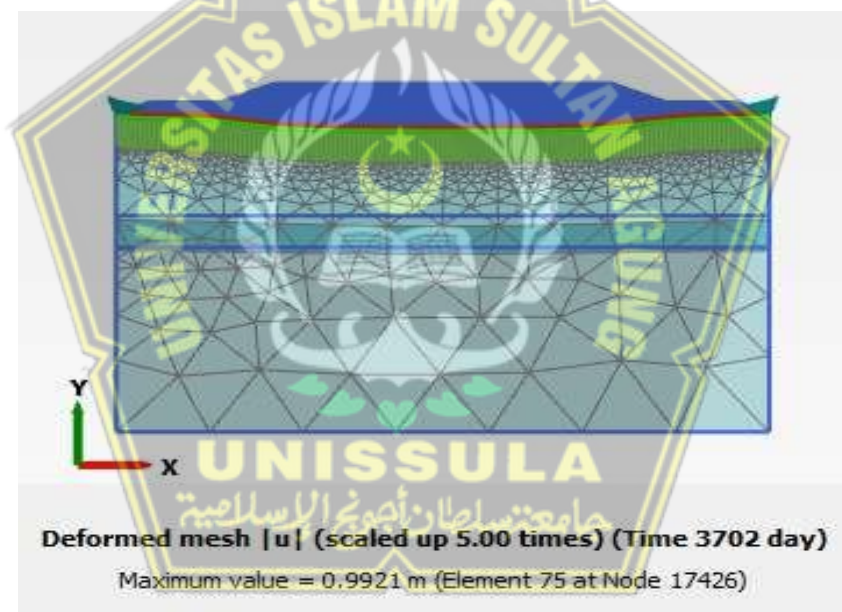
Gambar 4. 63 *Perpindahan Total (Utot)*

Reached values	
Reached total time	1147 day
CSP - Relative stiffness	0.04418E-6
ForceX - Reached total force	0.000 kN
ForceY - Reached total force	0.000 kN
Pmax - Reached max pp	63.83 kN/m ²
ΣM_{stage} - Reached phase p	0.000
ΣM_{weight} - Reached weight	1.000
ΣM_{sf} - Reached safety fact	1.438

Gambar 4. 64 *Safety Factor*

3. Konsolidasi 10 tahun

Pada konsolidasi 10 tahun mendapatkan hasil yaitu dengan utot sebesar 0,9921 m dan safety factor sebesar 1,438 untuk lebih jelasnya dilihat pada Gambar 4. 63 dan Gambar 4. 64



Gambar 4. 65 Perpindahan Total (Utot)

Reached values		
Reached total time		1147 day
CSP - Relative stiffness		0.04418E-6
ForceX - Reached total force		0.000 kN
ForceY - Reached total force		0.000 kN
Pmax - Reached max pp		63.83 kN/m ²
ΣM_{stage} - Reached phase p		0.000
ΣM_{weight} - Reached weight		1.000
ΣM_{sf} - Reached safety fact		1.438

Gambar 4. 66 *Safety Factor*

4.3.3.2. Analisis Penurunan Tanah Menggunakan Matras Bambu 3 Lapis dengan Jarak Cerucuk 1 meter

1. Konsolidasi 1 tahun

Pada konsolidasi 1 tahun mendapatkan hasil yaitu dengan utot sebesar 0,9246 m dan safety factor sebesar 1,401 untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4. 65 dan Gambar 4. 66



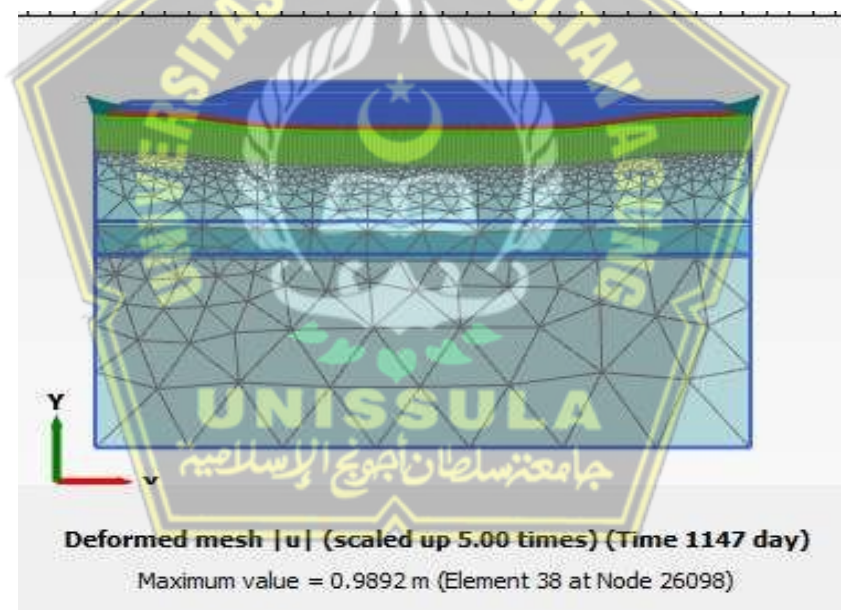
Gambar 4. 67 *Perpindahan Total (Utot)*

Reached values		
Reached total time		417.0 day
CSP - Relative stiffness		0.05620E-3
ForceX - Reached total force		0.000 kN
ForceY - Reached total force		0.000 kN
Pmax - Reached max pp		77.36 kN/m ²
ΣM_{stage} - Reached phase p		0.000
ΣM_{weight} - Reached weight		1.000
ΣM_{sf} - Reached safety fact		1.401

Gambar 4. 68 *Safety Factor*

2. Konsolidasi 3 tahun

Pada konsolidasi 3 tahun mendapatkan hasil yaitu dengan utot sebesar 0,9892 m dan safety factor sebesar 1,429 untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4. 67 dan Gambar 4. 68



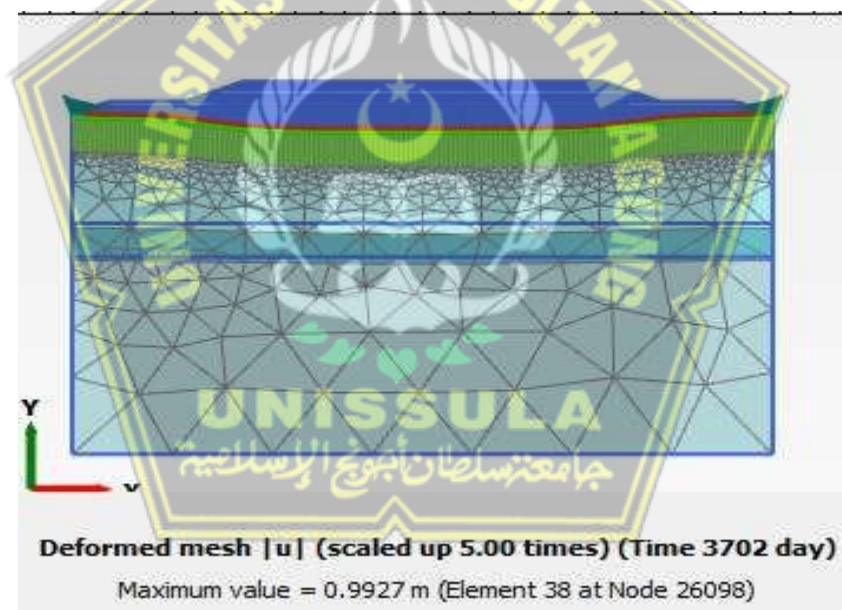
Gambar 4. 69 *Perpindahan Total (Utot)*

Reached values	
Reached total time	1147 day
CSP - Relative stiffness	1.659E-6
ForceX - Reached total force	0.000 kN
ForceY - Reached total force	0.000 kN
Pmax - Reached max pp	88.65 kN/m ²
ΣM_{stage} - Reached phase p	0.000
ΣM_{weight} - Reached weight	1.000
ΣM_{sf} - Reached safety fact	1.429

Gambar 4. 70 *Safety Factor*

3. Konsolidasi 10 tahun

Pada konsolidasi 10 tahun mendapatkan hasil yaitu dengan utot sebesar 0,9927m dan safety factor sebesar 1,429 untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4. 69 dan Gambar 4. 70



Gambar 4. 71 *Perpindahan Total (Utot)*

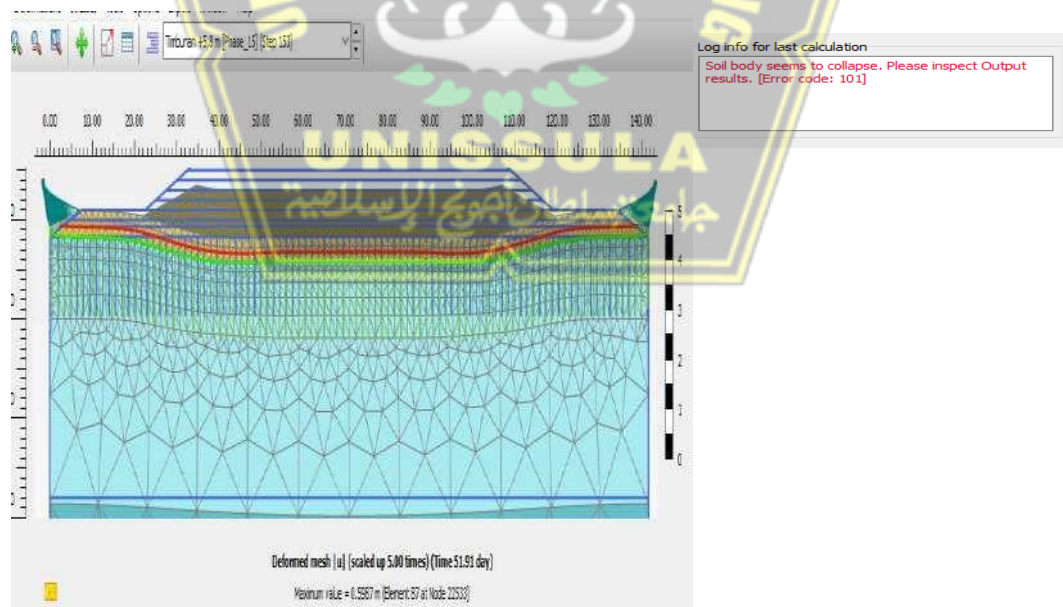
Reached values		
Reached total time		1147 day
CSP - Relative stiffness		1.659E-6
ForceX - Reached total force		0.000 kN
ForceY - Reached total force		0.000 kN
Pmax - Reached max pp		88.65 kN/m ²
ΣM_{stage} - Reached phase p		0.000
ΣM_{weight} - Reached weight		1.000
ΣM_{sf} - Reached safety fact		1.429

Gambar 4. 72 Safety Factor

4.3.3.3. Analisis Penurunan Tanah Menggunakan Matras Bambu 5 Lapis dengan Jarak Cerucuk 1,5 meter

Penggunaan matras bambu 5 lapis dengan jarak cerucuk tanah mengalami kegagalan pada timbunan +5,8 m, proses perhitungan timbunan tidak dapat selesai dikarenakan $\Sigma M_{stage} < 1$.

Tanah mengalami pada hari ke 51,9 dengan nilai ΣM_{stage} sebesar 0,9133 dan nilai *safety factor* sebesar 1, nilai ini belum memenuhi syarat aman untuk *safety factor* tanah. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4. 71 dan Gambar 4. 72



Gambar 4. 73 Kegagalan Tanah Timbunan Pada +5,8 m

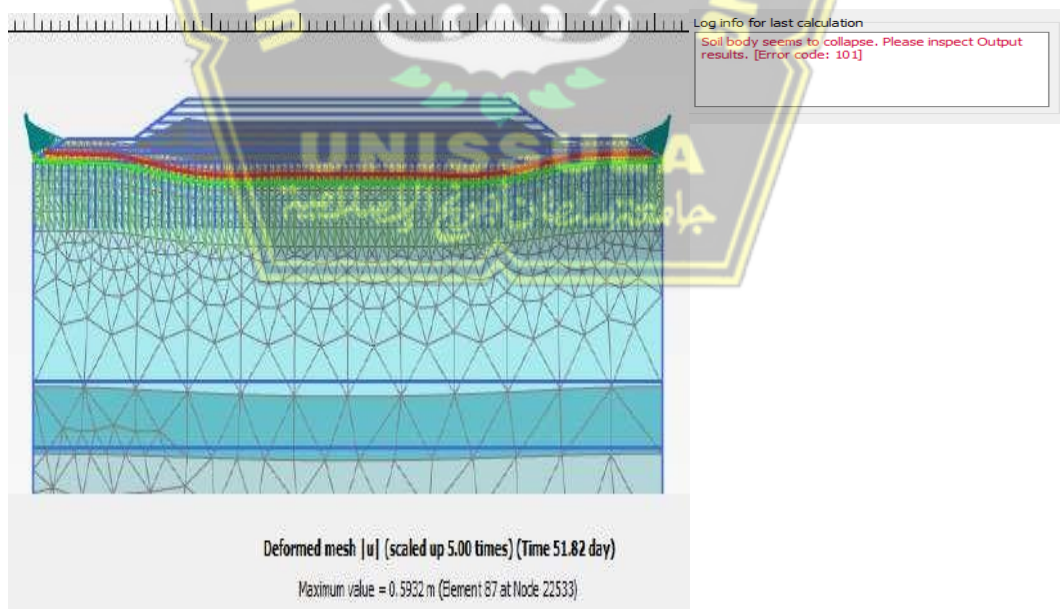
Reached values		
Reached total time		51.91 day
CSP - Relative stiffness		2.990E-3
ForceX - Reached total force		0.000 kN
ForceY - Reached total force		0.000 kN
Pmax - Reached max pp		157.0 kN/m ²
ΣM_{stage} - Reached phase p		0.9133
ΣM_{weight} - Reached weight		1.000
ΣM_{sf} - Reached safety fact		1.000

Gambar 4. 74 Nilai ΣM Stage Dan Safety Factor

4.3.3.4. Analisis Penurunan Tanah Menggunakan Matras Bambu 3 Lapis dengan Jarak Cerucuk 1,5 meter

Penggunaan matras bambu 3 lapis dengan jarak cerucuk tanah mengalami kegagalan pada timbunan +5,8 m, proses perhitungan timbunan tidak dapat selesai dikarenakan $\Sigma M_{stage} < 1$.

Tanah mengalami pada hari ke 51,82 dengan nilai ΣM_{stage} sebesar 0,8182 dan nilai *safety factor* sebesar 1, nilai ini belum memenuhi syarat aman untuk *safety factor* tanah. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4. 73 dan Gambar 4. 74



Gambar 4. 75 Kegagalan Tanah Timbunan Pada +5,8 m

Reached values	
Reached total time	51.82 day
CSP - Relative stiffness	0.01069
ForceX - Reached total force	0.000 kN
ForceY - Reached total force	0.000 kN
Pmax - Reached max pp	157.1 kN/m ²
ΣM_{stage} - Reached phase p	0.8182
ΣM_{weight} - Reached weight	1.000
ΣM_{sf} - Reached safety fact	1.000

Gambar 4. 76 Nilai ΣM Stage Dan Safety Factor

4.4. Pembahasan

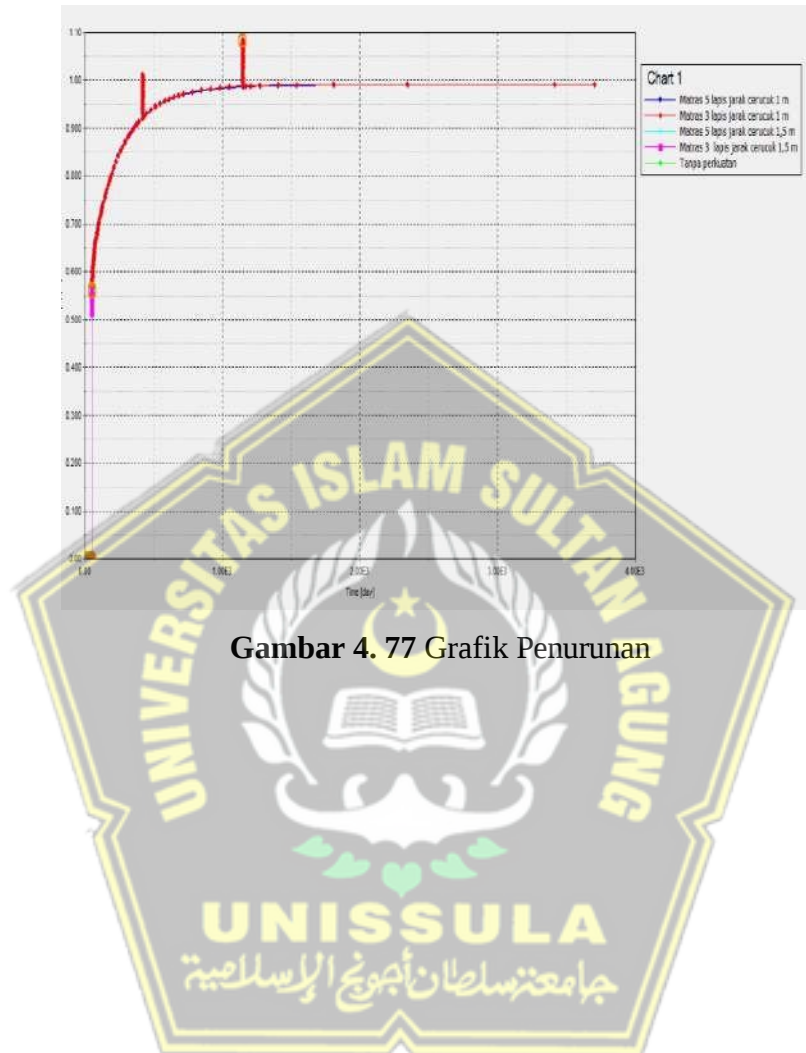
Pada hasil perhitungan di atas didapatkan sebagai berikut

Tabel 4. 6 Hasil Perhitungan

Phase	Konsolidasi					
	1 Tahun	SF	3 Tahun	SF	10 Tahun	SF
Tanah Tanpa Perkuatan	Tanah mengalami kegagalan pada timbunan +5 m					
Matras bambu 5 lapis dengan jarak cerucuk 1 m	0,9229	1,393	0,9885	1,438	0,9921	1,438
Matras bambu 3 lapis dengan jarak cerucuk 1 m	0,9246	1,401	0,9892	1,429	0,9927	1,429
Matras bambu 5 lapis dengan jarak cerucuk 1,5 m	Tanah mengalami kegagalan pada timbunan +5,8 m					
Matras bambu 3 lapis dengan jarak cerucuk 1,5 m	Tanah mengalami kegagalan pada timbunan +5,8 m					

Pada perbandingan menggunakan jarak cerucuk didapatkan bahwa cerucuk dengan jarak 1 m mampu menahan beban timbunan. Pada matras 5 dan 3 lapis dengan jarak 1 meter terjadi peningkatan safety factor pada saat konsolidasi 1 tahun, 3 tahun, dan 10 tahun. Matras 5 lapis dengan jarak 1 meter lebih sedikit mengalami penurunan tanah dibanding matras 3 lapis dengan jarak 1 meter.

Perbandingan penurunan tanah tidak signifikan pada matras bambu 5 lapis dan 3 lapis tidak terlalu jauh dikarenakan nilai parameter yang digunakan terlalu jauh. Untuk grafik perbandingan penurunan tanah dapat dilihat pada Gambar 4. 75



Gambar 4. 77 Grafik Penurunan

BAB V

PENUTUP

4.5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa dalam Tugas Akhir ini, maka dapat diambil kesimpulan bahwa :

1. Berdasarkan hasil analisa desain penurunan tanah lunak menggunakan *software geoteknik* 2D V22 bahwa timbunan tanah pada Proyek Pembangunan Tol Semarang- Demak Seksi 1 memerlukan perkuatan tanah dikarenakan tanpa perkuatan mengalami kegagalan pada timbunan +5m kemudian di variasi matras bambu 5 lapis dengan jarak cerucuk 1m mendapatkan hasil penurnnan 1 tahun 0,9229 m, 3 tahun 0,9885 m dan 10 tahun 0,9921, variasi matras bambu 3 lapis dengan jarak cerucuk 1m mendapatkan hasil penurnnan 1 tahun 0,9246, 3 tahun 0,9892 m dan 10 tahun 0,9927 m, sedangkan untuk variasi matras bambu 5 lapis dengan jarak cerucuk 1,5 m dan variasi matras bambu 3 lapis dengan jarak cerucuk 1,5 m mengalami kegagalan pada timbunan +5,8 m.
2. Berdasarkan hasil analisa efektivitas metode perkuatan tanah lunak pada timbunan dengan kombinasi cerucuk matras bambu dan geotekstil, terjadi penurunan tanah akibat adanya beberapa variasi perkuatan lapis matras bambu dan jarak antar cerucuk. Sehingga hasil analisis variasi yang efektif yaitu variasi matras bambu 5 lapis dengan jarak cerucuk 1m dikarenakan memiliki penuran tanah yang paling sedikit pada konsolidasi 1 tahun, 3 tahun, 10 tahun dan nilai safety factor yang benar

4.6. Saran

1. Perbanyak pengujian perhitungan dengan program *software geoteknik* supaya hasil yang didapat lebih banyak dan akurat.
2. Lebih detail dalam penggunaan dan analisa data agar lebih jelas saat menganalisa data

DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, J. E. (1991). Sifat-sifat Fisis Tanah dan Geoteknis Tanah. Erlangga. Jakarta.
- Chandrayanti, Reika. Pengaruh Aktivitas Pembangunan Tol Tanggul Laut Terhadap Ekosistem Mangrove Di Kecamatan Genuk. 2024. PhD Thesis. Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
- Darwis, H., and M. Sc. "Dasar-dasar Mekanika Tanah." Yogyakarta: Pena Indis (2018)
- Das, B. M. (1995). Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Tekayasa Geoteknis) (Vol.1). Jakarta : Erlang
- Darwis, H. (2017). Dasar-Dasar Teknik Perbaikan Tanah. Yogyakarta: Pustaka AQ
- Inzagky, B. B., & Firdausia, A. R. (2024). Analisis Base Land (Tanah Dasar) Dengan Metode Soil Improvement Matras Bambu Untuk Perkerasan Jalan Pada Tanah Rawa (Doctoral dissertation, Universitas Islam Sultan Agung Semarang).
- Mungkin, Moranain, et al. "Perancangan Sistem Pemantauan Panel Surya Polycrystalline Menggunakan Teknologi Web Firebase Berbasis IoT." INTECOMS: Journal of Information Technology and Computer Science 3.2 (2020): 319-327.
- Mudiyono, R., & Asfari, G. D. (2021). Kajian pengaruh pembangunan jalan tol Semarang-Demak terhadap kinerja jalan raya Kaligawe. Jurnal Planologi, 18(1), 132-142
- Swanandhia, R., & Hudaya, R. A. (2022). Analisis Daya Dukung Tanah Menggunakan Matras Bambu Terhadap Beban Struktur Atas Pada Proyek Jalan Tol Semarang–Demak Seksi 1 (Doctoral dissertation, Universitas Islam Sultan Agung).
- Widodo, B. (2023). Konstruksi Cerucuk-Matras Bambu Sebagai Perkuatan Tanah Dasar Yang Lunok Dengan Muka Air Tanah Tinggi Untuk Memikul Beban Timbunan (Doctoral dissertation, Universitas Islam Sultan Agung Semarang).