



**PERENCANAAN PERBAIKAN TANAH DENGAN METODE
SAND COLUMN PEMBANGUNAN JALAN PRIMER PADA
PROYEK AKATARA GAS *PLANT FACILITY***

*diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana pada
program studi S1 TEKNIK SIPIL*

SKRIPSI

Oleh

**Sely Rohmah
201910301035**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK SIPIL
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2024**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Ibu saya, Ibu Supami yang selalu mendoakan, memotivasi, memberi dukungan, bekerja keras, mencurahkan segenap kasih sayangnya, dan mendidik saya dengan tegas sehingga bisa menjadi pribadi yang lebih baik.
2. Bapak saya, Bapak Suari yang memberikan dukungan, mendoakan, selalu sabar dalam mendidik saya, dan bekerja keras untuk saya.
3. Kakak saya Irawati dan seluruh keluarga besar yang turut andil dalam mendoakan, memotivasi, memberikan dukungan, serta perhatiannya.
4. Dosen, guru, dan pihak-pihak lain yang telah membimbing, mendidik, memberikan ilmunya, serta wawasan yang tak terhingga selama saya menempuh pendidikan.
5. Teman-teman saya yang telah memberikan semangat, menemani dalam keadaan suka maupun duka.
6. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember

MOTTO

Wahai orang-orang yang beriman, jika kamu menolong (agama) Allah, niscaya
Dia akan menolongmu dan meneguhkan kedudukanmu
(Q.S. Muhammad : 7)

Dan barang siapa yang bertakwa kepada Allah, niscaya Allah menjadikan baginya
kemudahan dalam urusannya
(Q.S. At-Talaq : 4)



PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Sely Rohmah

NIM : 201910301035

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul: *“Perencanaan Perbaikan Tanah Dengan Metode Sand Column Pembangunan Jalan Primer Pada Proyek Akatara Gas Plant Facility”* adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 22 April 2024

Yang menyatakan,

(tanda tangan)

(Meterai Rp 10.000,00)

Sely Rohmah

NIM 201910301035

HALAMAN PERSETUJUAN

Skripsi berjudul "*Perencanaan Perbaikan Tanah Dengan Metode Sand Column Pembangunan Jalan Primer Pada Proyek Akatara Gas Plant Facility* telah diuji dan disetujui oleh Fakultas Teknik Universitas Jember pada:

Hari : Senin

Tanggal : 22 April 2024

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Pembimbing

Tanda Tangan

1. Pembimbing Utama

Nama : Dr Ir. Indra Nurtjahjaningtyas, S.T., M.T. (.....)

NIP : 197010241998032001

2. Pembimbing Anggota

Nama : Luthfi Amri Wicaksono, S.T., M.T. (.....)

NIP : 198806212023211011

Penguji

1. Penguji Utama

Nama : Paksitya Purnama Putra, S.T., M.T. (.....)

NIP : 199006062019031022

2. Penguji Anggota 1

Nama : Ir. Akhmad Hasanuddin, S.T., M.T. (.....)

NIP : 197103271998031003

ABSTRACT

The Akatara Gas Plant Facility project is built on soft ground, this is certainly a problem that will affect construction. Soft soil has low bearing capacity, small shear force, large compressibility, small permeability coefficient value and large compression. An effective improvement to overcome problems in soft soil is strengthening the soil by installing sand columns. This research aims to plan soil improvement with sand columns, determine the stability of the soil before and after the sand columns are installed, and the amount of settlement before and after the sand columns are installed. The sand column is planned using a triangular pattern, with a diameter of 0.6 m, a distance of 1 m, and a depth of 6 m. Based on the analysis results, the stability of the subgrade and embankment before the sand column was installed collapsed because the SF value was < 1 . After the sand column was installed, soil stability increased with an SF value of 1.267. The soil subsidence by manual calculation before the sand column was installed was 119,4 cm and decreased after the sand column was installed to 10,216 cm. The carrying capacity of the sand column is 120,461 kN/m², which is greater than the total load on the original soil, namely 75,895 kN/m². The sand column also affects the consolidation time because after the sand column is installed the length of time decreases.

Keywords: soft soil, sand column, stability

RINGKASAN

Perencanaan Perbaikan Tanah Dengan Metode *Sand Column* Pembangunan Jalan Primer Pada Proyek Akatara Gas *Plant Facility*; Sely Rohmah, 201910301035; 2024:63 halaman; Program Studi S1 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember.

Migas merupakan salah satu jenis energi fosil yang tidak dapat diperbaharui, saat ini terjadi kesenjangan antara konsumsi dan produksi migas. Maka diperlukan peningkatan produksi salah satu proyek migas yang berjalan saat ini yaitu pembangunan gas *facility* dan *pipeline* yang berada di Jambi. Proyek ini dibangun di area tanah dasar lunak yang memiliki daya dukung rendah, gaya geser kecil, kompresibilitas besar dan pemampatan yang besar. Kondisi tanah yang kurang baik akan mempengaruhi berbagai tahap rancang bangun konstruksi. Maka, untuk meningkatkan daya dukung tanah dan memperkecil penurunan perlu dilakukan perbaikan tanah. Pada proyek ini perbaikan tanah dilakukan pada area jalan *primary road* yang merupakan akses keluar masuknya kendaraan. Perencanaan perbaikan menggunakan *sand column* sebagai perkuatan untuk menahan beban dan mengurangi penurunan. Metode ini dipilih atas pertimbangan ketersediaan material di lokasi proyek yang paling dominan berupa pasir dengan potensi cadangan pasir sebesar 1.350.000 m³.

Perencanaan *sand column* dilakukan dengan menganalisa data tanah berdasarkan data hasil uji SPT dan data hasil uji laboratorium pada titik BH-01 dan BH-02. Hasil analisa berupa parameter tanah yang akan digunakan untuk *input* pemodelan tanah pada Plaxis 2D. Pemodelan dengan menggunakan program Plaxis 2D ini untuk memperoleh dimensi *sand column* yang efektif agar stabilitas tanah dasar dan tanah timbunan aman. Perhitungan penurunan, waktu konsolidasi sebelum dan sesudah dipasang *sand column*, serta daya dukung *sand column* dilakukan secara manual. Perencanaan dimensi pada *sand column* yaitu diameter 0,6 m, jarak *sand column* 1 m, kedalaman 6 m, dan pola pemasangan yang digunakan adalah pola segitiga.

Hasil perhitungan program Plaxis 2D sebelum dipasang *sand column* tanah dasar dan tanah timbunan mengalami kegagalan karena nilai SF < 1 dengan total deformasi sebesar 1,19 m. Setelah dipasang *sand column* di bawah timbunan dengan kedalaman 6 meter menunjukkan stabilitas tanah dasar dan tanah timbunan aman karena nilai SF 1,267 dan total deformasi 0,0187 m. Daya dukung *sand column group* sebesar 120,461 kN/m² lebih besar dibandingkan beban total diatas tanah asli yaitu 75,895 kN/m². Penurunan tanah sebelum dipasang *sand column* dengan perhitungan manual sebesar 119,4 cm. Sedangkan penurunan tanah setelah dipasang *sand column* dengan perhitungan manual sebesar 10,216 cm.



SUMMARY

Soil Improvement Planning Using the Sand Column Method for Primary Road Construction on the Akatara Gas Plant Facility Project; Sely Rohmah, 201910301035; 2024:43 pages; Undergraduate Civil Engineering Study Program, Faculty of Engineering, Jember University.

Oil and gas is a type of fossil energy that cannot be renewed, currently there is a gap between oil and gas consumption and production. So it is necessary to increase production in one of the oil and gas projects currently underway, namely the construction of a gas facility and pipeline in Jambi. This project was built on a soft subgrade area which has low bearing capacity, small shear force, large compressibility and large compression. Poor soil conditions will affect various stages of construction design. So, to increase the bearing capacity of the soil and reduce settlement, it is necessary to improve the soil. In this project, land improvements were carried out in the primary road area, which is the access for vehicles entering and leaving. Repair planning uses sand columns as reinforcement to withstand loads and reduce settlement. This method was chosen based on consideration of the availability of material at the project location, the dominant form of which is sand with potential sand reserves of 1,350,000 m³.

Sand column planning is carried out by analyzing soil data based on SPT test data and laboratory test data at points BH-01 and BH-02. The results of the analysis in the form of soil parameters will be used as input for soil modeling in Plaxis 2D. Modeling using the Plaxis 2D program is to obtain effective sand column dimensions so that the stability of the subgrade and embankment soil is safe. Calculations for settlement, consolidation time before and after the sand column is installed, and the bearing capacity of the sand column are done manually. The dimensions for the sand column are 0.6 m in diameter, 1 m in sand column spacing, 6 m in depth, and the installation pattern used is a triangular pattern.

The calculation results of the Plaxis 2D program before the sand column was installed, the subgrade and embankment failed because the SF value was < 1

with a total deformation of 1.19 m. After installing the sand column under the embankment with a depth of 6 meters, it shows that the stability of the subgrade and embankment soil is safe because the SF value is 1.267 and the total deformation is 0.0187 m. The carrying capacity of the sand column group is 120,461 kN/m², which is greater than the total load on the original soil, namely 75,895 kN/m². Soil subsidence before installing the sand column by manual calculation was 119,4 cm. Meanwhile, the soil subsidence after the sand column was installed by manual calculation was 10,216 cm.



PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT. karena atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Perencanaan Perbaikan Tanah Dengan Metode *Sand Column* Pembangunan Jalan *Primer* Pada Proyek Akatara Gas *Plant Facility*”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini penulis mendapat bantuan dari beberapa pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Dr Ir. Triwahju Hardianto, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember, Dr. Ketut Aswatama W., S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Jember dan selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil.
2. Ir. Sonya Sulistyono, S.T., M.T., IPM. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing penulis selama menjadi mahasiswa.
3. Dr Ir. Indra Nurtjahjaningtyas, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama, Luthfi Amri Wicaksono S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penyusunan skripsi ini.
4. Orang tua dan kakak penulis yang telah memberikan doa dan dukungan demi terselesaikannya skripsi ini.
5. Kerabat-kerabat penulis yang telah mendoakan dan membantu penulis selama menjadi mahasiswa.
6. Bapak Bramantyo yang telah membantu, dan memberikan data penelitian selama penyusunan skripsi ini.
7. Sahabat “OSDA” (Ega, Inul, Sofia, Lina, Shinta) yang selalu memberikan semangat, bantuan, serta dukungan dan motivasi kepada penulis sejak SMA.
8. Teman – teman “Ugal” yang telah mendukung, menemani dan membantu penulis selama menjadi mahasiswa.
9. Teman – teman Anantara yang telah membantu penulis selama menjadi mahasiswa S1 Teknik Sipil.

Segala kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis maupun pembaca.

Jember, 22 April 2024

Penulis,

Sely Rohmah

NIM 201910301035



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERSEMBAHAN.....	ii
MOTTO	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN	v
RINGKASAN	vii
SUMMARY	ix
PRAKATA.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
DAFTAR NOTASI.....	xviii
DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN	xix
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Penelitian	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB 2. TINJAUAN TEORI.....	4
2.1 Tanah Gambut	4
2.2 Stabilisasi Tanah	5
2.3 Penurunan Tanah.....	6
3.2.1 Penurunan Segera (Si)	6
3.2.2 Penurunan Konsolidasi (Sc).....	7
2.4 <i>Sand Column</i>	11
2.5 Daya Dukung <i>Sand Column</i>	12
2.6 Perencanaan <i>Sand column</i>	12
2.5.1 Penurunan Tanah dengan Adanya <i>Sand Column</i>	14
2.5.2 Perhitungan Waktu Penurunan dengan Adanya <i>Sand Column</i>	15
2.7 <i>Plaxis</i>	15
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN.....	16
3.1 Studi Pendahuluan.....	16

3.1.1 Studi Literatur	16
3.1.2 Penentuan Lokasi Penelitian	16
3.1.3 Pengumpulan Data	16
3.1.4 Analisa Data Tanah	17
3.1.5 Perhitungan Beban Rencana	17
3.1.6 Analisa Stabilitas Tanah	18
3.1.7 Perencanaan <i>Sand Column</i>	18
3.1.8 Pemodelan <i>Sand Column</i> dengan Plaxis 2D	18
3.1.9 Kesimpulan dan Saran	19
3.2 Diagram Alir Metode Penelitian	20
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	21
4.1 Hasil Pengumpulan Data	21
4.1.1 Data Gambar DED	21
4.1.2 Data Tanah Dasar	21
4.1.3 Data Perencanaan Timbunan	22
4.1.4 Data Spesifikasi Jalan dan Beban Lalu Lintas	22
4.2 Analisa Data Tanah	22
4.3 Perhitungan Beban Rencana	26
4.4 Analisa Stabilitas Tanah dengan Plaxis 2D	27
4.4.1 Perhitungan Penurunan Tanah Dasar	31
4.4.2 Waktu Penurunan Konsolidasi	44
4.5 Perencanaan <i>Sand Column</i>	46
4.6 Pemodelan <i>Sand Column</i> Dengan Plaxis 2D	47
4.6.1 Perhitungan Daya Dukung <i>Sand Column</i>	52
4.6.2 Perhitungan Penurunan Dengan <i>Sand Column</i>	54
4.6.3 Perhitungan Waktu Penurunan Dengan <i>Sand Column</i>	56
4.7 Gambar Perencanaan	57
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	61
5.1 Kesimpulan	61
5.2 Saran	61
DAFTAR PUSTAKA	62
LAMPIRAN-LAMPIRAN	64

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tipe Tanah Berdasarkan Kadar Organik	4
Tabel 2.2 Korelasi Nilai N pada Tanah <i>Cohesionless</i>	5
Tabel 2.3 Korelasi Nilai N pada Tanah <i>Cohesive</i>	5
Tabel 2.4 Hubungan T_v dan U	10
Tabel 4.1 Korelasi Parameter Tanah.....	23
Tabel 4.2 Parameter Pemodelan Timbunan Menggunakan Plaxis 2D.....	27
Tabel 4.3 Nilai I Distribusi Tegangan.....	31
Tabel 4.4 Penurunan Segera Tanah Organik.....	34
Tabel 4.5 Penurunan Segera Tanah Lanau Organik.....	35
Tabel 4.6 Rekapitulasi Total Penurunan Segera Pada Tanah	35
Tabel 4.7 Penurunan S_c Tanah Organik	37
Tabel 4.8 Penurunan S_c Tanah Lanau Organik	38
Tabel 4.9 Rekapitulasi Total Penurunan S_c Pada Tanah	38
Tabel 4.10 Penurunan S_s Tanah Organik.....	41
Tabel 4.11 Penurunan S_s Tanah Lanau Organik.....	43
Tabel 4.12 Rekapitulasi Total Penurunan S_s Pada Tanah	43
Tabel 4.13 Total Penurunan Pada Tanah	43
Tabel 4.14 Parameter Pemodelan <i>Sand Column</i> Menggunakan Plaxis 2D	48
Tabel 4.15 Hasil Percobaan Pemodelan <i>Sand Column</i> Kedalaman 1 – 8 m.....	51
Tabel 4.16 Daya Dukung <i>Sand Column</i> Kedalaman 1 - 8 m.....	53
Tabel 4.17 Penurunan Tanah dengan <i>Sand Column</i> Kedalaman 1 – 8 m.....	55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Grafik Koefisien-Koefisien f_1 dan f_2	6
Gambar 2.2 Grafik Faktor Pengaruh.....	9
Gambar 2.3 Idealisasi Unit Sel.....	13
Gambar 3.1 Lokasi Penelitian.....	16
Gambar 3.2 Diagram Alir Metode Penelitian.....	20
Gambar 4.1 Lokasi Penyelidikan Pengerjaan Tanah Dasar.....	21
Gambar 4.2 Stratigrafi Tanah.....	25
Gambar 4.3 Beban Rencana.....	26
Gambar 4.4 Timbunan.....	27
Gambar 4.5 Pemodelan Timbunan.....	29
Gambar 4.6 Kondisi Timbunan.....	29
Gambar 4.7 Jaringan Elemen Terdeformasi.....	30
Gambar 4.8 Perpindahan Total.....	30
Gambar 4.9 Hubungan Kedalaman dengan Nilia I.....	32
Gambar 4.10 Pemodelan <i>Sand Column</i> Kedalaman 6 m.....	48
Gambar 4.11 Kondisi Timbunan Kedalaman 6 m.....	49
Gambar 4.12 Nilai SF.....	49
Gambar 4.13 Jaringan Elemen Terdeformasi Kedalaman 6 m.....	50
Gambar 4.14 Perpindahan Total <i>Sand Column</i> Kedalaman 6 m.....	50
Gambar 4.15 Grafik Hubungan Kedalaman SC dengan Deformasi.....	51
Gambar 4.16 Grafik Hubungan Kedalaman dengan Daya Dukung.....	54
Gambar 4.17 Grafik Hubungan Kedalaman dengan Penurunan Tanah.....	56
Gambar 4.18 <i>Layout</i> Proyek.....	57
Gambar 4.19 Denah Perencanaan <i>Sand Column</i>	58
Gambar 4.20 Potongan Denah.....	58
Gambar 4.21 Potongan Melintang A-A.....	59
Gambar 4.22 Potongan Memanjang B-B.....	59
Gambar 4.23 Pola Pemasangan <i>Sand Column</i>	60

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 4.1 Gambar Potongan Melintang Jalan
- Lampiran 4.2 Gambar *Layout Proyek*
- Lampiran 4.3 Data Pengujian SPT BH-01 dan BH-02
- Lampiran 4.4 Data Hasil Uji Laboratorium BH-01 dan BH-02
- Lampiran 4.5 Data Perencanaan Timbunan
- Lampiran 4.6 Data Spesifikasi Rencana Jalan dan Lalu Lintas
- Lampiran 4.7 Penurunan Tanah
- Lampiran 4.8 Parameter Data Tanah
- Lampiran 4.9 Gambar Jaringan Elemen Deformasi
- Lampiran 4.10 Gambar Nilai SF Pada Plaxis 2D
- Lampiran 4.11 Gambar Perencanaan

DAFTAR NOTASI

S	: penurunan total (m)
S_i	: penurunan segera (m)
S_c	: penurunan konsolidasi primer (m)
S_s	: penurunan konsolidasi sekunder (m)
I_v	: faktor pengaruh permasalahan geometri
q	: beban yang bekerja (kN/m^2)
B	: lebar daerah yang terbebani (m)
E_u	: modulus elastisitas <i>undrained</i> (kN/m^2)
H	: tebal lapisan <i>compressible</i> (m)
e_0	: angka pori awal
C_c	: compression index
C_s	: swelling index
$\Delta\sigma$: besarnya tegangan di muka tanah (surcharge) (kN/m^2)
σ'_0	: tegangan overburden efektif (kN/m^2)
σ'_c	: tegangan prakonsolidasi efektif (kN/m^2)
γ'	: berat volume tanah efektif (kN/m^3)
γ	: berat volume tanah (kN/m^3)
I	: faktor pengaruh
q_0	: beban terbagi rata di atas (kN/m^2)
H'	: setengah dari lapisan lempung yang diperhitungkan (m)
t	: waktu konsolidasi (detik)
T_v	: faktor waktu
H_{dr}	: panjang aliran air/ drainage terpanjang (cm)
q_{ult}	: daya dukung <i>sand column</i> (kN/m^2)
C_v	: koefisien konsolidasi vertikal (cm^2/detik)
θ	: berat volume tanah disekeliling SC (kN/m^3)
K_p	: koefisien tanah pasif dari <i>Rankie</i>
C_{avg}	: kohesi gabungan
D_e	: diameter equivalen (m)
as	: rasio pengganti area (m)
A_s	: luas <i>sand column</i> (m^2)
A	: luas total di unit (m^2)
D	: diameter (m)
s	: jarak (m)
n	: angka reduksi penurunan <i>sand column</i>
A_c	: luas penampang <i>sand column</i> (cm^2)
A	: luas penampang equivalen (cm^2)
R	: perbandingan modulus deformasi
St	: besarnya penurunan tanah dasar (m)

DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN

Singkatan/Istikal	Arti dan keterangan
SPT	<i>Standart Penetration Test</i>
SF	<i>Safety Factor</i>



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Minyak mentah dan gas bumi atau disebut Migas adalah sumber daya alam yang penting dan dibutuhkan untuk kehidupan manusia di dunia sampai saat ini, termasuk di Indonesia. Migas merupakan salah satu jenis energi fosil yang tidak dapat diperbarui (DPR, 2017). Adanya kesenjangan yang terjadi saat ini, antara konsumsi dan produksi dalam industri migas maka, perlu adanya langkah strategis untuk peningkatan produksi migas (Gunita, 2015). Terdapat banyak proyek untuk memproduksi migas, salah satu proyek yang berjalan saat ini yaitu pembangunan *gas facility* dan *pipeline* yang berada di Jambi.

Lokasi pembangunan proyek Akatara *Gas Plant Facility* berada di Desa Bram Itam Raya, Kecamatan Bram Itam, Kabupaten Tanjung Jabung Barat, Provinsi Jambi. Proyek ini dibangun di area yang memiliki kondisi tanah dasar lunak. Berdasarkan hasil uji laboratorium pada kedalaman 1-3 meter termasuk tanah gambut dan kedalaman 4-12 meter berjenis tanah organik. Tanah lunak (*soft soil*) memiliki daya dukung yang rendah, gaya geser kecil, kompresibilitas besar, penurunan yang besar, serta koefisien permeabilitas kecil (Nurtjahjaningtyas, 2005). Kondisi tanah yang kurang baik akan berdampak pada tahapan rancang bangun konstruksi, seperti tahap perencanaan, tahap pelaksanaan, ataupun dalam tahap operasional dan tahap pemeliharaan (Panguriseng, and Makassar 2018). Maka, untuk meningkatkan daya dukung pada tanah dan memperkecil penurunan tanah, perlu dilakukan perbaikan tanah.

Perbaikan tanah adalah salah satu jenis stabilisasi tanah untuk memberikan perbaikan atau mempertahankan kemampuan kinerja pada tanah sesuai syarat teknis yang dibutuhkan, dengan memakai bahan *additive*, pencampuran tanah, pengeringan pada tanah, atau dengan penyaluran energi statis atau dinamis ke dalam lapisan tanah (fisik) (Panguriseng and Makassar, 2018). Perbaikan tanah terbagi menjadi dua yaitu perbaikan tanah secara kimiawi serta perbaikan secara

fisik yang memiliki kesesuaian dalam tujuan yang ingin didapatkan, perbedaannya berada pada metode maupun bahan pencampur yang digunakan (Panguriseng and Makassar, 2018). Pada proyek ini perbaikan tanah dilakukan pada area jalan *primary road* yang merupakan akses keluar masuknya kendaraan. Lebar perencanaan jalur jalan 4 – 6 m.

Pada penelitian ini akan dilakukan perencanaan perbaikan tanah dengan menggunakan *sand column* sebagai perkuatan untuk menahan beban dan mengurangi penurunan. Metode ini dipilih atas pertimbangan ketersediaan material di lokasi proyek yang paling dominan berupa pasir dengan potensi cadangan pasir sebesar 1.350.000 m³ (Kurniawan, 2018). Agar metode perbaikan sesuai dengan keadaan seperti di lapangan dan kondisi pekerjaan, maka dibutuhkan perhitungan yang tepat dengan menggunakan pemodelan. Pemodelan perbaikan tanah ini menggunakan *software* Plaxis 2D. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui stabilitas dan penurunan tanah pada kondisi eksisting, perencanaan perbaikan tanah dengan *sand column* serta stabilitas dan besar penurunan setelah dilakukan perbaikan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah yang ada, dapat diambil rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana stabilitas tanah dan penurunan tanah pada kondisi eksisting ?
2. Bagaimana perencanaan perbaikan tanah dengan metode *sand column* ?
3. Bagaimana stabilitas dan penurunan tanah sesudah dipasang *sand column* ?

1.3 Batasan Penelitian

Penelitian ini perlu diberikan batasan masalah sehingga penelitian menjadi terfokus dan terarah. Batasan masalah pada penelitian ini yaitu meliputi :

1. Tidak membandingkan dengan metode yang lain
2. Perhitungan menggunakan Plaxis 2D dan perhitungan manual
3. Perencanaan hanya pada area yang diteliti
4. Tidak menganalisa peningkatan parameter tanah

5. Tidak menghitung RAB
6. Tidak membahas tentang metode pelaksanaan
7. Tidak membandingkan variasi diameter

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, maka tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui stabilitas tanah dan penurunan tanah kondisi eksisting
2. Untuk mengetahui perencanaan perbaikan tanah dengan metode *sand column*
3. Untuk mengetahui stabilitas tanah dan penurunan tanah sesudah dipasang *sand column*

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan menjadi suatu solusi dan metode alternatif untuk memperbaiki kondisi tanah di area *primary road* pada proyek pembangunan *gas facility* agar tanah kuat menahan beban di atasnya. Serta dapat digunakan sebagai acuan bagi pembaca dalam penggunaan *sand column* pada tanah lunak.

BAB 2. TINJAUAN TEORI

2.1 Tanah Gambut

Tanah merupakan kumpulan bahan organik, mineral, serta sedimen yang relatif lepas (*loose*), yang terdapat di atas batuan dasar (Hardiyatmo et al., 1992). Berdasarkan sifat lekatannya tanah dibedakan menjadi 3 yaitu tanah organik, tanah kohesif, dan tanah non kohesif (Budi, Heri, n.d.). Tanah gambut merupakan material organik yang berasal dari tumbuhan dan tercipta pada tanah berair yang mengalami perubahan akibat cuaca dan kondisi geografi. Secara fisik tanah gambut mempunyai kadar air dan bahan organik yang tinggi, angka pori besar, dan adanya serat-serat. Dalam implementasi geoteknik, klasifikasi tipe tanah dibedakan berdasarkan kadar organiknya yang tertera pada tabel 2.1 sebagai berikut:

Tabel 2.1 Tipe Tanah Berdasarkan Kadar Organik

Jenis Tanah	Kadar Air %
Lempung	<25
Lempung Organik	25-75
Gambut	>75

Tanah gambut sering dipermasalahkan dalam suatu pekerjaan pelaksanaan konstruksi karena daya dukungnya yang rendah (Masrur, 2022). Sehingga hal ini dapat menimbulkan permasalahan apabila dijadikan pondasi pada bangunan jika tidak dilakukan stabilisasi tanah. Untuk memperbaiki sifat tanah gambut perlu dilakukan stabilisasi tanah untuk perbaikan mutu tanah yang tidak baik (Ishmah et al., 2019).

Penyelidikan tanah juga perlu dilakukan untuk mendapatkan parameter tanah yang dibutuhkan dalam perhitungan. Salah satu penyelidikan tanah yaitu dengan uji SPT pada jumlah pukulan (N) dikorelasikan dengan parameter tanah lainnya untuk mengetahui konsistensi tanah. Korelasi nilai pukulan (N) SPT dengan menggunakan parameter tanah, menurut Bowles (1983) dapat dilihat pada Tabel 2.2 dan Tabel 2.3.

Tabel 2.2 Korelasi Nilai N pada Tanah *Cohesionless*

N	0 – 3	4 – 10	11 – 30	31 – 50	>50
γ (kN/m ³)	-	16 – 25	14 – 18	16 – 20	18 – 23
ϕ	0	25 – 32	28 – 36	30 – 40	>30
<i>State</i>	<i>Very Loose</i>	<i>Loose</i>	<i>Medium</i>	<i>Dense</i>	<i>Very Dense</i>
Dr (%)	0 – 15	15 – 35	35 – 65	65 – 85	85 – 100

Tabel 2.3 Korelasi Nilai N pada Tanah *Cohesive*

N	<4	4 – 6	6 – 15	16 – 25	>25
γ (kN/m ³)	14 – 16	16 – 18	16 – 18	16 – 20	18 – 23
<i>qu</i> (kPa)	<25	20 – 50	30 – 60	40 – 200	>100
<i>Consistency</i>	<i>Very Soft</i>	<i>Soft</i>	<i>Medium</i>	<i>Stiff</i>	<i>Hard</i>

2.2 Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah merupakan teknik perawatan atau perbaikan tanah supaya memiliki karakteristik yang diharapkan agar bangunan di atasnya tidak mengalami kegagalan (Listyawan, 2015). Stabilisasi tanah dilakukan untuk memenuhi satu sasaran dari 4 sasaran sebagai berikut :

1. Untuk meningkatkan daya dukung tanah
2. Untuk menurunkan permeabilitas dan *swelling* potensial tanah
3. Untuk mengurangi penurunan pada tanah
4. Untuk mempertahankan kekuatan tanah yang ada

Berdasarkan jenisnya stabilisasi tanah dibedakan menjadi 4 yakni, stabilisasi kimia dengan menggunakan bahan-bahan kimia seperti semen, kapur, larutan kimia. Stabilisasi fisik dengan menggunakan energi yang dialirkan pada lapisan tanah seperti stabilisasi kompaksi, *vibroflot process*. Stabilisasi mekanis dengan menggunakan material sisipan pada lapisan tanah, stabilisasi tanah secara mekanis juga sering disebut perkuatan tanah contohnya, *sand column*, *stone column*, *nailing*, dan lain-lain. Stabilisasi termal dengan menggunakan panas untuk membakar material tanah contohnya pembuatan keramik, batu bata, gerabah, dsb (I. D. Panguriseng, 2001).

2.3 Penurunan Tanah

Penurunan tanah adalah bergantinya lapisan tanah karena rongga pori berkurang yang disebabkan pembebanan di atasnya. Jika lapisan tanah diberi beban, tanah akan mengalami regangan atau penurunan atau tanah yang mengalami tegangan akan mengalami regangan pada tanah tersebut. Pada tanah yang berbutir halus yang berada dibawah muka air tanah akan mengalami konsolidasi dengan penurunan yang memerlukan waktu yang lama (Anggrahini & Fitriyana, 2022). Penurunan total dari tanah berbutir halus yang jenuh adalah jumlah penurunan segera dan penurunan konsolidasi. Penurunan konsolidasi dibedakan lagi menjadi penurunan konsolidasi primer dan konsolidasi sekunder. Bentuk persamaan penurunan total dapat dihitung menggunakan persamaan 2.1.

$$S = S_i + S_c + S_s \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan:

S = penurunan total (m)

S_i = penurunan segera (m)

S_c = penurunan akibat konsolidasi primer (m)

S_s = penurunan akibat konsolidasi sekunder (m)

3.2.1 Penurunan Segera (S_i)

Penurunan segera merupakan penurunan dengan jangka waktu pendek atau cepat pada saat pembebanan terjadi. Secara umum penurunan pada tanah lempung sangat kecil apabila dibandingkan dengan penurunan konsolidasi (Iverson & Dervan, 2017). Penurunan segera yang terjadi pada tanah gambut dapat dihitung dengan rumus persamaan 2.2.

$$S_i = \frac{I_v \cdot q \cdot B}{E_u} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan:

S_i = penurunan segera (m)

I_v = faktor pengaruh permasalahan geometri

q = beban yang bekerja (kN/m^2)

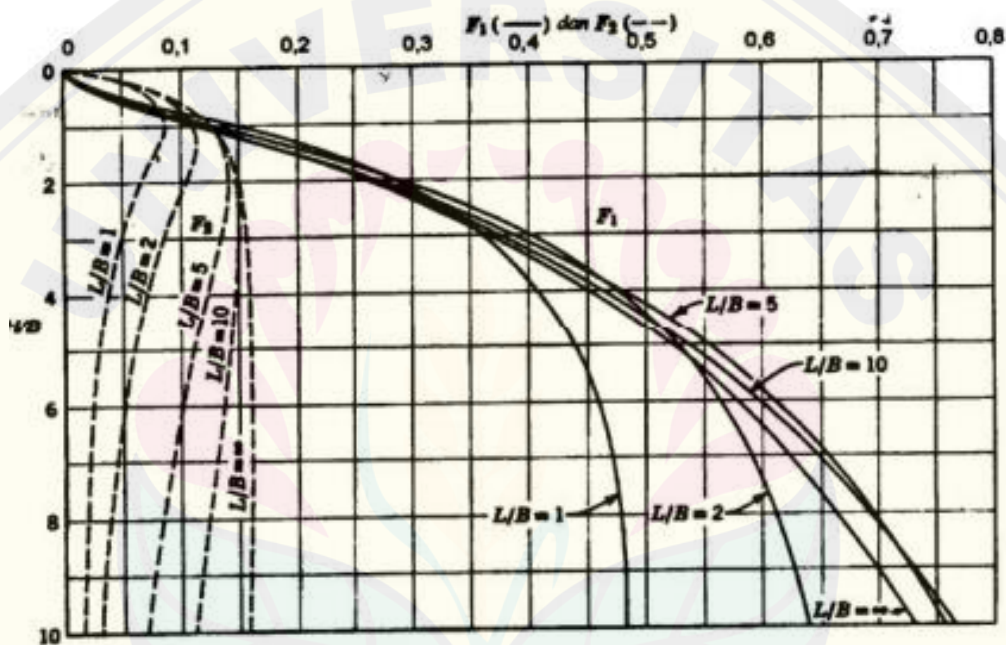
B = lebar daerah yang terbebani (m)

E_u = modulus elastisitas *undrained* (kN/m^2)

Faktor pengaruh permasalahan geometri dapat dihitung dengan persamaan 2.3.

$$I_v = \frac{3}{4} f_1 \dots \dots \dots (2.3)$$

F_1 dapat ditentukan dengan menggunakan grafik Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Grafik Koefisien-Koefisien f_1 dan f_2

3.2.2 Penurunan Konsolidasi (S_c)

Penurunan konsolidasi (S_c) adalah penurunan yang diakibatkan oleh berkurangnya volume tanah karena air pori yang keluar. Penurunan konsolidasi terjadi pada tanah kohesif jenuh, penurunan ini terbagi menjadi dua jenis, yaitu:

1) Penurunan konsolidasi primer (S_c)

Penurunan konsolidasi primer menyebabkan volume tanah berubah karena keluarnya air pori. Tanah terkonsolidasi terbagi menjadi dua jenis, yakni tanah terkonsolidasi normal dan tanah terkonsolidasi berlebihan. Tanah terkonsolidasi

normal adalah tanah yang belum pernah mendapatkan beban yang lebih besar sebelumnya. Penurunan ini dapat dihitung menggunakan persamaan 2.4.

$$S_c = \frac{C_c \cdot H}{1+e_0} \log \left(\frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma}{\sigma'_0} \right) \dots\dots\dots (2.4)$$

Tanah terkonsolidasi berlebihan merupakan tanah dasar yang selesai dibebani atau pernah mendapat beban sebelumnya (Iverson & Dervan, 2017). Penurunan tanah terkonsolidasi berlebihan dapat dihitung dengan persamaan 2.5 dan 2.6.

Jika $\sigma'_0 + \Delta\sigma \leq \sigma'_c$, maka:

$$S_c = \frac{C_s \cdot H}{1+e_0} \log \left(\frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma}{\sigma'_0} \right) \dots\dots\dots (2.5)$$

Jika $\sigma'_0 + \Delta\sigma > \sigma'_c$, maka:

$$S_c = \frac{C_s \cdot H}{1+e_0} \log \left(\frac{\sigma'_c}{\sigma'_0} \right) + \frac{C_c \cdot H}{1+e_0} \log \left(\frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma}{\sigma'_c} \right) \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan:

C_c = *compression index*

C_s = *swelling index*

H = tebal lapisan *compressible* (m)

e_0 = angka pori awal

$\Delta\sigma$ = nilai tegangan di muka tanah (kN/m²)

σ'_0 = tegangan *overburden* efektif (kN/m²)

σ'_c = tegangan prakonsolidasi efektif (kN/m²)

a. Parameter Perhitungan Penurunan

1. Tegangan *Overburden* Efektif (σ'_0)

Tegangan *overburden* efektif merupakan tegangan vertikal efektif dari tanah asli yang disebabkan beban pada tanah dasar yang diteliti (Setiawan, 2019).

Tegangan *overburden* dapat dihitung menggunakan persamaan 2.7.

$$\sigma'_0 = \gamma' \times H \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan:

γ' = berat volume tanah efektif (kN/m³)

H = tebal lapisan tanah (m)

2. Beban atau *surcharge*

Surcharge merupakan beban yang terjadi di atas permukaan tanah dasar. Perhitungan beban dapat dihitung menggunakan persamaan 2.8.

$$P_0 = \gamma \times H \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan:

γ = berat volume tanah (kN/m³)

H = tebal lapisan tanah (m)

3. Distribusi tegangan (ΔP)

Distribusi tegangan tanah dapat dihitung dengan persamaan 2.9.

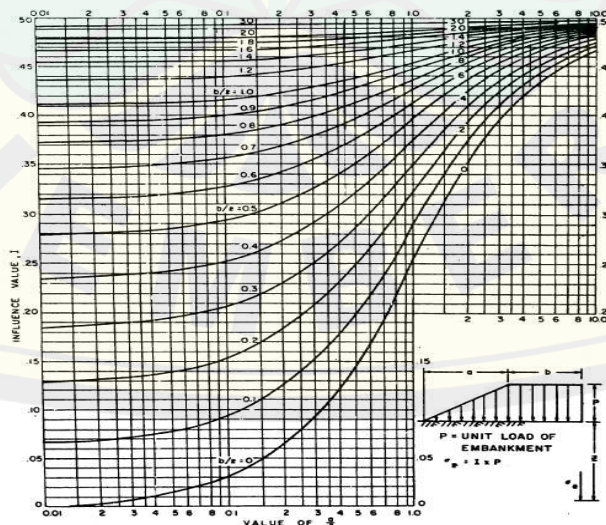
$$\Delta P = I \times q_0 \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan:

I = faktor pengaruh

q_0 = beban merata (kN/m²)

4. Faktor pengaruh (I), perhitungan didapat dari grafik Gambar 2.2



Gambar 2.2 Grafik Faktor Pengaruh

b. Waktu Penurunan Konsolidasi

Waktu penurunan konsolidasi dipengaruhi oleh jenis tanah, tanah kohesif memiliki nilai permeabilitas rendah sehingga waktu yang dibutuhkan dalam konsolidasi cukup lama. Waktu penurunan konsolidasi dapat dihitung menggunakan persamaan 2.10.

$$t = T_v \frac{H_{dr}^2}{C_v} \dots\dots\dots (2.10)$$

Untuk menghitung nilai C_v pada tanah yang berlapis-lapis maka digunakan persamaan 2.11.

$$C_v \text{ gabungan} = \frac{(H_1+H_2+\dots+H_n)^2}{\left(\frac{H_1}{\sqrt{C_{v1}}} + \frac{H_2}{\sqrt{C_{v2}}} + \dots + \frac{H_n}{\sqrt{C_{vn}}}\right)^2} \dots\dots\dots (2.11)$$

Keterangan:

- t = waktu konsolidasi (detik)
- T_v = faktor waktu
- H_{dr} = panjang aliran air terpanjang (cm)
- C_v = koefisien konsolidasi vertikal (cm^2/detik)
- $C_{v1}, C_{v2}, \dots, C_{vn}$ = harga C_v untuk masing-masing lapisan tanah.
- H_1, H_2, \dots, H_n = tebal lapisan lempung yang mengalami pemampatan (m)

Faktor waktu merupakan fungsi dari derajat konsolidasi (U%). Berikut hubungan antara T_v dan U dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2. 4 Hubungan T_v dan U

Derajat Konsolidasi (U%)	Faktor Waktu (T_v)
0	0
10	0,008
20	0,031
30	0,071
40	0,126
50	0,197
60	0,287
70	0,403
80	0,567
90	0,848
100	∞

- 2) Penurunan akibat konsolidasi sekunder/*consolidation secondary settlement* (S_s).

Penurunan konsolidasi sekunder terjadi akibat adanya orientasi kerangka tanah setelah tekanan pori yang berlebih menghilang. Penurunan kondolidasi sekunder pada tanah gambut dihitung menggunakan persamaan 2.12.

$$S_s = \frac{C_\alpha \cdot H}{1+e_p} \log \frac{t}{t_p} \dots\dots\dots (2.12)$$

Keterangan:

- S_s = penurunan konsolidasi sekunder (m)
- C_α = koefisien konsolidasi sekunder
- e_p = angka pori pada saat akhir konsolidasi primer
- t = umur masa layan timbunan (hari)
- t_p = lama konsolidasi primer (hari)

Koefisien konsolidasi dapat dikorelasikan menggunakan persamaan 2.13.

$$\frac{C_\alpha}{C_c} = 0,06 \pm 0,01 \dots\dots\dots (2.13)$$

Angka pori pada saat akhir konsolidasi primer dihitung dengan persamaan 2.14

$$e_p = e_0 - \frac{1 \cdot e_0}{H} \cdot S_c \dots\dots\dots (2.14)$$

2.4 Sand Column

Kolom pasir (*sand column technique*) adalah peningkatan dari teknik *vibroflotation*, dengan memakai bahan pengisi dari pasir. Teknik *sand column* dikembangkan berdasarkan acuan bahwa kolom di dalam tanah terbentuk dari susunan pasir yang dipadatkan akan memperbaiki kinerja tanah yang akan diperbaiki, dan berlanjut ke arah permukaan. Menurut Barksdale dan Banchus, 1982 selain meningkatkan daya dukung tanah, fungsi lain *sand column* adalah :

1. Memperpendek waktu konsolidasi.
2. Mengurangi total *settlement* tanah.
3. Mengurangi banyak *liquefaction*.

Konstruksi *sand column* juga digunakan untuk menahan kelongsoran tanah dasar bersama tanah dasar itu sendiri. Secara umum, konstruksi *sand column* melibatkan pembuatan lubang pada tanah yang akan ditingkatkan daya dukungnya. Setelah itu material granular dengan berbagai ukuran dimasukkan ke dalam lubang tersebut (Ramadhan, 2011).

2.5 Daya Dukung *Sand Column*

Daya dukung *sand column* ditentukan oleh keadaan tanah disekelilingnya (C_u) dan sudut geser pada material. Hal ini terjadi karena *sand column* dapat berdiri tegak karena adanya tanah penyangga disekelilingnya. Apabila tidak ada material penyangga maka *sand column* akan runtuh. Oleh karena itu kekuatan *sand column* merupakan tahanan tanah pasif dari material tersebut dan daya dorong tanah sekelilingnya (PUPR, 1992). Rumus perhitungan daya dukung *sand column* dapat dilihat pada persamaan rumus 2.15.

$$q_{ult} = [\partial \cdot Z \cdot K_p + 2 \cdot C_u \cdot \tan \beta] \tan^2 \beta + C_{avg} \cdot \tan \beta \quad \dots \dots \dots (2.15)$$

Keterangan:

- q_{ult} = Daya dukung *sand column* (kN/m²)
- ∂ = Berat volume tanah di sekeliling SC (kN/m³)
- Z = Kedalaman *sand column* (m)
- k_p = $\tan^2(45 + \theta / 2)$ koefisien tanah pasif dari Rankie
- C_u = Tahanan geser *undrained* sebelum perbaikan (kN/m²)
- β = $45^\circ + 0,5 \phi_{avg}$
- ϕ_{avg} = $\tan^{-1} a_s$
- C_{avg} = Kohesi gabungan

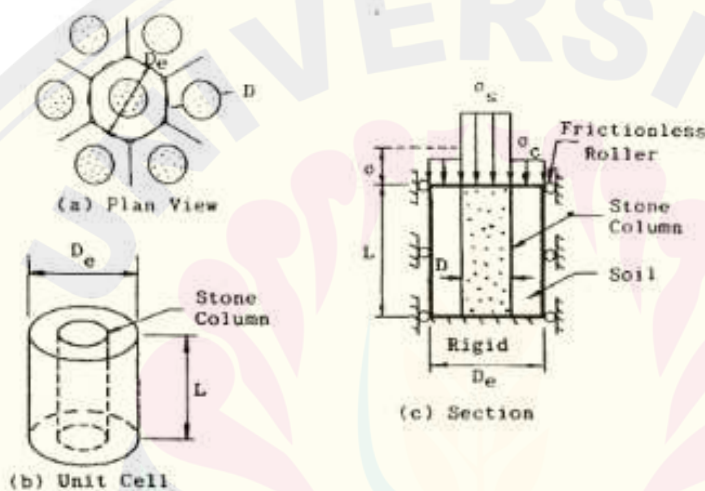
2.6 Perencanaan *Sand column*

Terdapat banyak hal yang perlu diperhatikan dalam perencanaan *sand column* diantaranya yaitu jarak, diameter, kedalaman, rasio penggantian area. Untuk memperkirakan jarak (*spacing*) dan penurunan pada kolom pasir yang ditempatkan pada dasar tanah yang lunak, penting untuk mengembangkan model

yang menjadi dasar perencanaan semua jenis kinerja. Sehingga banyak insiyur yang mengadopsi penggunaan pola ‘unit sel’ untuk memodelkan kolom pasir yang ditempatkan pada tanah dasar lunak (Panguriseng and Makassar, 2018). Hal-hal yang perlu dan harus diperhatikan dalam perencanaan *sand column* antara lain :

1. Diameter *sand column* dan konsep *unit cell* :

Perencanaan diameter *sand column*, tergantung dari tipe tanah yang diperbaiki, beban tanah, dan pola pemasangannya. Untuk memudahkan *calculating*, *sand column* dan tanah disekitarnya akan dikelompokkan menjadi *sand column* kelompok yang disebut sebagai *unit cell* seperti pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Idealisasi Unit Sel

Pola penempatan *sand column* akan berpengaruh pada bentuk *unit cell*. Pola pemasangannya dibedakan menjadi dua yaitu, pola bujur sangkar (*square pattern*) dan pola segitiga (*equilateral triangular pattern*). Diameter *sand column* 60 sampai dengan 120 cm kedua jenis penampang tersebut didekati dengan bentuk lingkaran yang memiliki D_e (diameter ekuivalen) (Nurtjahjaningtyas, 2005).

$D_e = 1.05s$ (Untuk pola segitiga)

$D_e = 1.13s$ (Untuk pola segiempat), dimana s adalah jarak antar *sand column*.

2. Panjang dan jarak *sand column*

Rasio penggantian area antara tanah dengan pasir, dapat dilihat pada persamaan rumus 2.16 (Virginia, 1983)

$$as = A_s / A \dots \dots \dots (2.16)$$

Keterangan:

as = Rasio penggantian area (m)

A_s = Luas *sand column* (m²)

A = Luas total di unit (m²)

Jarak antar *sand column* adalah 1,5D sampai 2,5D.

Rasio penggantian area juga dapat didefinisikan dengan persamaan rumus 2.17 (Virginia, 1983).

$$as = c_1 (D / S)^2 \dots \dots \dots (2.17)$$

Keterangan:

as = Rasio penggantian area (m)

c_1 = $\pi / 4$ untuk pola pemasangan segiempat
0,907 untuk pola pemasangan segitiga

D = Diameter

S = Jarak

2.5.1 Penurunan Tanah dengan Adanya *Sand Column*

Besarnya penurunan dengan dipasang *sand column* adalah perkalian faktor reduksi dengan penurunan total pada tanah asli (Panguriseng and Makassar, 2018)

Koefisien reduksi n dilihat pada persamaan rumus 2.18 berikut.

$$n = \frac{1}{1 + \frac{A_c}{A}(R-1)} \dots \dots \dots (2.18)$$

Keterangan:

n = Angka reduksi penurunan *sand column*

A_c = Luas penampang *sand column* (cm²)

A = Luas penampang ekuivalen (cm²)

R = Perbandingan modulus deformasi $\frac{E_c}{E_s}$

Penurunan dengan adanya *sand column* dapat dilihat pada persamaan rumus 2.19 berikut.

$$S_c = \frac{1}{n} \times S_t \dots \dots \dots (2.19)$$

Keterangan:

S_c = Besarnya penurunan *sand column* (cm)

n = Angka reduksi

S_t = Besarnya penurunan total tanah dasar (cm)

2.5.2 Perhitungan Waktu Penurunan dengan Adanya *Sand Column*

Perhitungan waktu penurunan pada *sand column* dapat dilihat dengan menggunakan rumus persamaan 2.20.

$$t = \frac{T_v \cdot D_e^2}{c_v} \dots \dots \dots (2.20)$$

Keterangan:

t = Waktu penurunan (hari)

T_v = Faktor Waktu

D_e = Diameter equivalen (cm)

c_v = Koefisien Konsolidasi

2.7 *Plaxis*

Plaxis adalah sebuah paket elemen hingga yang ditata berdasarkan metode elemen yang telah dikembangkan secara khusus untuk melakukan analisis deformasi dan stabilitas tanah dalam bidang rekayasa geoteknik. Pembuatan model secara geografis yang mudah memungkinkan pembuatan suatu model elemen hingga yang rumit dapat dilakukan dengan cepat. Fasilitas yang ada dapat dipakai untuk menampilkan hasil komputasi secara mendetail (**Plaxis 2D, 2010**). Program *Plaxis* lebih detail dibandingkan dengan metode perhitungan manual karena *output* yang dihasilkan lebih lengkap seperti deformasi, tegangan efektif, faktor aman, dan lainnya. Pada penggunaan *Plaxis 2D* dibutuhkan nilai parameter tanah yang didapat dari hasil penyelidikan tanah yang digunakan sebagai data *input* tanah (Beni Deni Sitompul, 2021).

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

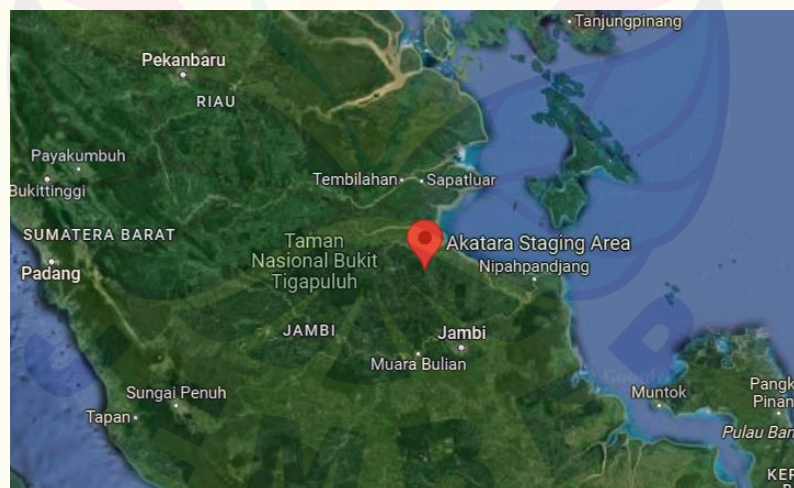
3.1 Studi Pendahuluan

3.1.1 Studi Literatur

Studi literatur adalah tahap penelitian pertama yang dilakukan peneliti untuk mengumpulkan informasi yang aktual sesuai dengan topik yang dibahas pada penelitian. Informasi ini didapatkan dari buku-buku, internet, jurnal, karya ilmiah serta sumber-sumber tertulis maupun elektronik. Studi literatur yang harus dipahami adalah data tanah SPT, metode perbaikan tanah dengan *sand column*, penurunan dan kapasitas daya dukung tanah dengan *sand column*, *software* plaxis 2D.

3.1.2 Penentuan Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian pada proyek Akatara Gas *Plant Facility* tepatnya berada di Lapangan Akatara Blok Lemang PSC Provinsi Jambi Pulau Sumatera. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Lokasi Penelitian

3.1.3 Pengumpulan Data

Penelitian ini memperoleh data dari proyek Akatara Gas *Plant Facility* Blok Lemang PSC Jambi. Adapun data yang dipakai untuk keperluan penelitian yaitu :

1. Data tanah N-SPT
2. Data hasil laboratorium
3. Gambar DED
4. Data perencanaan timbunan
5. Data beban lalu lintas

Pada proyek pembangunan *Gas Plant Facility*, peninjauan tanah yang dilakukan adalah peninjauan lapangan yaitu SPT dan uji laboratorium.

3.1.4 Analisa Data Tanah

1. Pengolahan data tanah untuk mengetahui karakteristik tanah berdasarkan hasil korelasi nilai SPT untuk mendapatkan nilai modulus elastisitas tanah yang akan digunakan pada perhitungan penurunan.
2. Analisis data DED untuk mengetahui keadaan area yang akan diperbaiki, desain rencana konstruksi, letak, dan dimensi dari jalan.
3. Korelasi data tanah diolah setelah semua data yang dibutuhkan terkumpul. Tujuan korelasi data tanah pada SPT untuk mengetahui karakteristik atau sifat-sifat fisik tanah yang telah dilakukan pengujian seperti di laboratorium. Sehingga diperoleh parameter yang akan digunakan untuk kebutuhan perhitungan. Korelasi data tanah dari nilai N-SPT menggunakan metode Bowles.
2. Pembuatan diagram stratigrafi tanah setelah mengetahui karakteristik pada tanah. Pembagian lapisan tanah dalam diagram stratigrafi tanah berdasarkan jenis tanah yang diteliti. Pembuatan stratigrafi tanah menggunakan program bantu *AutoCad*.

3.1.5 Perhitungan Beban Rencana

Beban rencana pada jalan primer yaitu beban timbunan dan beban lalu lintas. Beban jalan lalu lintas dihitung untuk memperoleh beban merata, data beban rencana didapatkan dari proyek *Akatara Gas Plant Facility*.

3.1.6 Analisa Stabilitas Tanah

Analisa stabilitas tanah dengan menggunakan *software* Plaxis 2D dengan memasukkan parameter tanah. Stabilitas tanah pada penelitian ini meliputi stabilitas tanah dasar dan tanah timbunan. *Output* yang dihasilkan berupa total deformasi dan nilai SF yang akan menentukan perlu atau tidaknya perbaikan tanah. Pada analisa stabilitas tanah juga dilakukan perhitungan manual penurunan tanah yang terdiri dari penurunan tanah segera menggunakan persamaan 2.2, penurunan tanah konsolidasi dengan memakai persamaan 2.4 dan penurunan konsolidasi sekunder menggunakan persamaan 2.12. Perhitungan waktu konsolidasi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.10.

3.1.7 Perencanaan *Sand Column*

Dalam perencanaan *sand column* yang perlu diperhatikan dan dipertimbangkan yaitu :

1. Diameter *sand column*
2. Area *replacement ratio* dapat dihitung seperti pada persamaan 2.16 atau 2.17
3. Jarak *sand column*
4. Pola kolom yang digunakan

3.1.8 Pemodelan *Sand Column* dengan Plaxis 2D

Pemodelan *sand column* dengan Plaxis 2D dengan memasukkan parameter tanah, beban timbunan, beban rencana lalu lintas yang diperlukan untuk pemodelan. Pemodelan dengan *software* Plaxis akan didapatkan total deformasi dan nilai *safety factor* tanah.

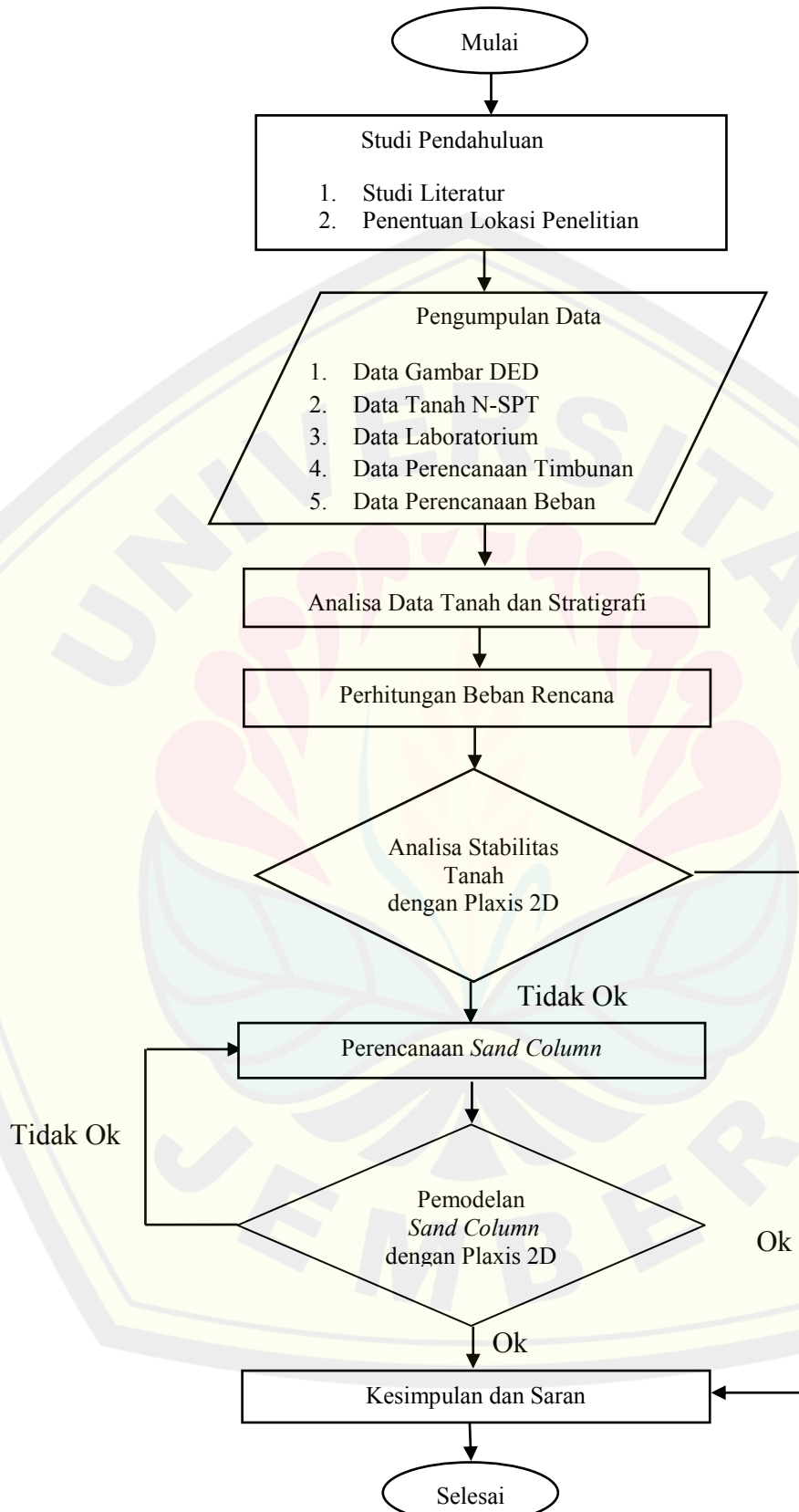
Selain itu, juga dilakukan perhitungan kapasitas daya dukung pada *sand column* menggunakan perhitungan manual dengan menggunakan persamaan rumus 2.15. Serta perhitungan penurunan tanah dengan *sand column* menggunakan perhitungan manual dengan menggunakan persamaan 2.19 dan waktu konsolidasi setelah dipasang *sand column* dihitung dengan menggunakan persamaan 2.20.

3.1.9 Kesimpulan dan Saran

Hasil analisis kemudian disimpulkan mengenai stabilitas dan penurunan kondisi eksisting tanah, perencanaan *sand column*, dan stabilitas serta penurunan setelah dilakukan perbaikan tanah dengan *sand column* menggunakan perhitungan manual dan Plaxis 2D.



3.2 Diagram Alir Metode Penelitian



Gambar 3.2 Diagram Alir

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

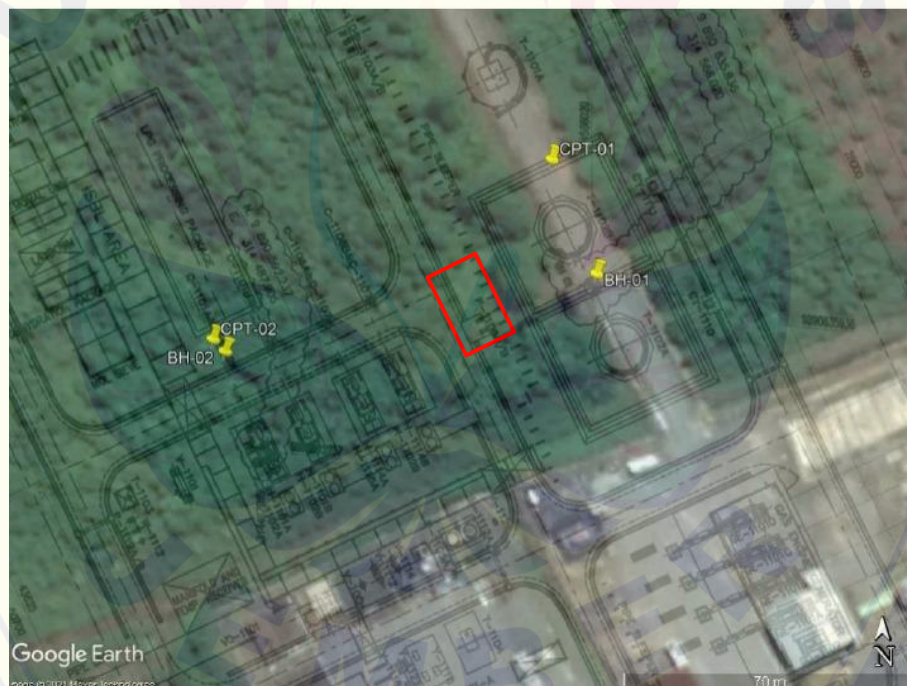
4.1 Hasil Pengumpulan Data

4.1.1 Data Gambar DED

Gambar DED yang diperoleh berupa gambar potongan melintang jalan, dan *layout* lokasi penelitian (Lampiran 4.1 dan 4.2). Gambar DED berfungsi sebagai acuan pelaksanaan atau perbaikan proyek.

4.1.2 Data Tanah Dasar

Data tanah dasar didapatkan dari hasil pengujian SPT dan hasil uji laboratorium (Lampiran 4.3 dan 4.4). Penyelidikan tanah pada dua titik borlog dengan SPT yaitu pada BH-01 dan BH-02. Lokasi penyelidikan tanah dasar uji SPT, dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Lokasi Pengerjaan Penyelidikan Tanah Dasar

Pada Gambar 4.1 jarak atau elevasi BH-01 dengan BH-02 yaitu 90,1 m dengan kedalaman pengambilan sampel tanah sedalam 70 m. Kotak warna merah merupakan tempat penelitian perencanaan perbaikan tanah dengan metode *sand column*.

4.1.3 Data Perencanaan Timbunan

Perencanaan timbunan pada proyek ini direncanakan setinggi 1,5 m dengan lebar bahu 1 m dan berat volume (γ) 19 kN/m³ dengan material tanah granular. Data

4.1.4 Data Spesifikasi Jalan dan Beban Lalu Lintas

Data spesifikasi jalan yang diperoleh berupa rencana dimensi jalan, dan volume kendaraan per hari. Lebar jalan primer 4-6 meter dan lebar bahu 1-1,5 meter. Beban lalu lintas yang direncanakan untuk jalan primer berupa beban truk derek hidrolik. Beban yang harus ditahan sebesar 70 ton atau beban roda gandar tunggal 8000 pon (3625 kg) dan beban roda gandar ganda sebesar 32000 pon (14500 kg). Volume kendaraan 10 hingga 100 kendaraan per hari. Data spesifikasi jalan dan beban lalu lintas terdapat pada Lampiran 4.6.

4.2 Analisa Data Tanah

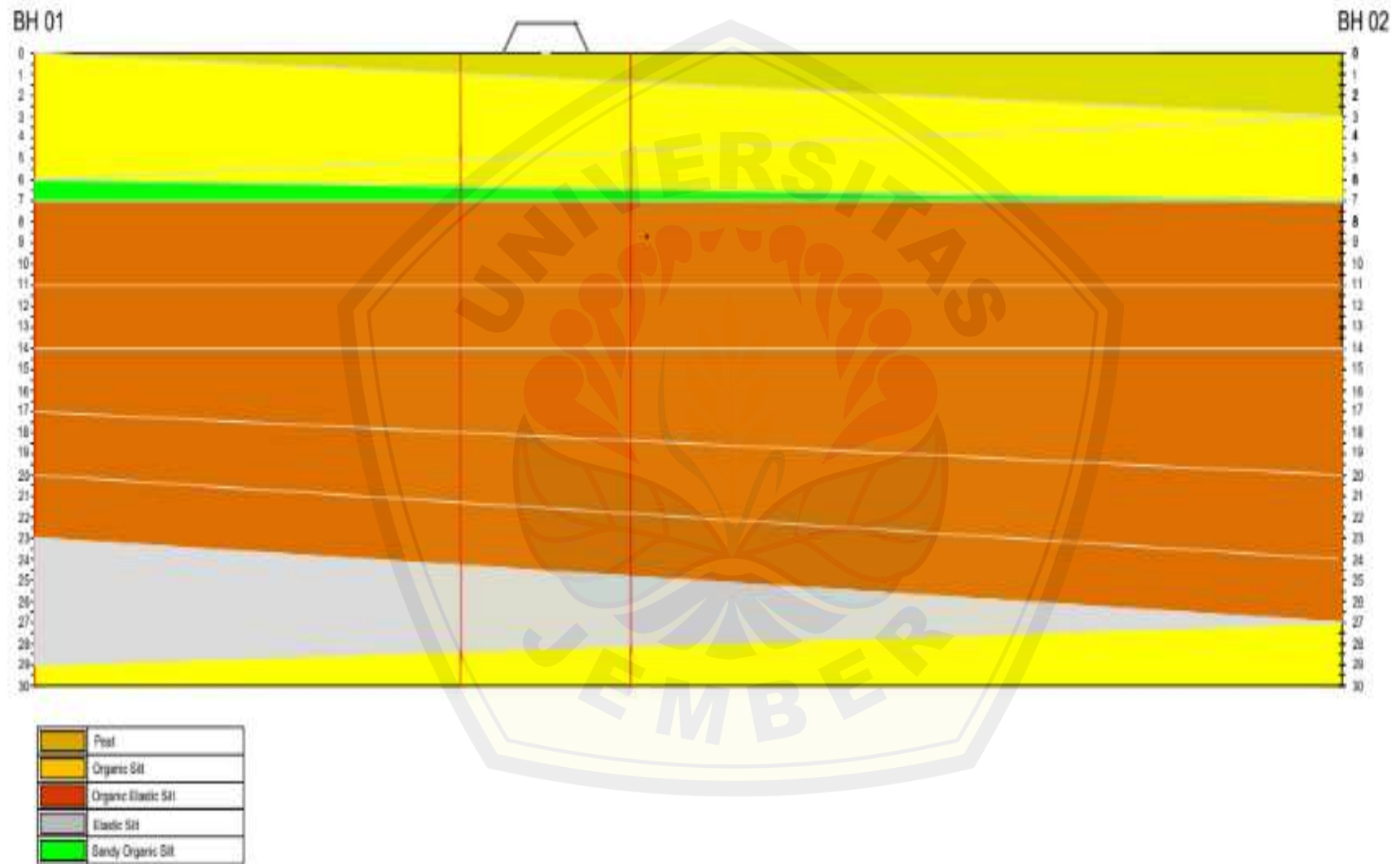
Data tanah hasil uji laboratorium dan uji SPT dianalisa untuk mendapatkan parameter tanah yang diperlukan dalam perhitungan. Analisa dilakukan dengan mengkorelasikan hasil uji laboratorium dan nilai N-SPT dengan metode Bowles dan membuat stratigrafi tanah. Parameter data tanah dapat dilihat pada Tabel 4.1. Sedangkan stratigrafi tanah bertujuan untuk mengetahui pembagian setiap lapisan tanah, karakteristiknya, serta tebal lapisan tanah. Diagram stratigrafi tanah BH 01 dan BH 0-2 dapat dilihat pada Gambar 4.2

Tabel 4.1 Korelasi Parameter Tanah

No	H (m)	N-SPT	Konsistensi	Layer Type	γ_{sat} (Kn/m ³)	γ_{unsat} (Kn/m ³)	C (kPa)	ϕ (°)	E_u (Kn/m ²)	v	C_c	e_0	γ' (Kn/m ³)	C_c	C_v
1	0-1	0	Very Soft	Peat	8,747	1,400	5,667	0,000	1172,150	0,500	9,591	1,965	1,25	2,082	0,002
2	1-4	0	Very Soft	Organic Soil	11,653	2,817	5,000	0,000	1253,659	0,500	7,734	1,404	6,61	1,488	0,003
3	4-6	0	Very Soft	Organic Soil	14,538	7,348	5,000	0,000	1258,371	0,500	1,796	0,208	9,08	0,354	0,001
4	6-6,5	0	Very Soft	Sandy Organic Silt	14,450	6,739	5,000	0,000	1341,993	0,500	2,804	0,262	2,23	0,697	0,001
5	6,5-11,5	0	Very Soft	Organic Elastic Silt	14,965	7,107	5,000	0,000	2056,237	0,500	2,581	0,262	19,86	0,476	0,001
6	11,5-14,5	2,5	Very Soft	Organic Elastic Silt	15,093	7,372	5,000	0,000	2453,950	0,500	2,424	0,287	15,28	0,476	0,001
7	14,5-18,5	0,0	Very Soft	Organic Elastic Silt	15,390	7,992	6,111	0,000	838,100	0,500	2,132	0,257	18,86	0,484	0,002
8	18,5-21,5	6,2	Soft	Organic Elastic Silt	15,426	9,001	4,500	0,000	5548,833	0,500	2,028	0,170	16,28	0,605	0,002
9	21,5-24,5	13	Medium	Organic Elastic Silt	15,426	9,001	4,500	0,000	12087,920	0,500	2,028	0,166	10,85	0,598	0,002
10	24,5-26,5	16	Stiff	Elastic Silt	14,960	7,799	5,000	0,000	15297,707	0,500	2,489	0,166	14,88	0,871	0,002
11	26,5-29	7	Medium	Elastic Silt	14,960	7,799	5,000	0,000	5050,588	0,500	2,489	0,236	14,88	0,871	0,002
12	29-30	19	Stiff	Organic Soil	15,892	10,202	4,000	0,000	17847,324	0,450	2	0,236	5,89	0,325	0,002

Parameter tanah pada Tabel 4.1 merupakan hasil dari uji laboratorium, korelasi nilai N-SPT dan hasil interpolasi dari BH-01 dan BH-02. Parameter tanah sampai pada kedalaman 30 m.





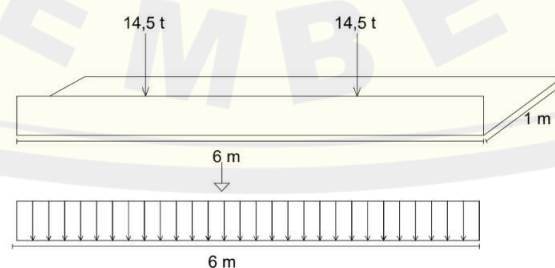
Gambar 4.2 Diagram Stratigrafi Tanah

Berdasarkan Gambar 4.2 pada BH-01 lapis pertama jenis tanahnya berupa *organic soil* (tanah organik) sedangkan pada BH-02 jenis tanahnya adalah *peat* (gambut) dengan nilai N-SPT 0. Pada lapis kedua BH-01 berupa *sandy organic silt* (lanau organik berpasir) dengan nilai N-SPT sebesar 0 dan BH-02 tanah berjenis *organic soil* (tanah organik) dengan nilai N-SPT 0. Pada lapis ketiga jenis tanah BH-01 dan BH-02 memiliki kesamaan berupa *organic elastic silt* (lanau organik) dengan nilai N-SPT 0. Berdasarkan Tabel 2.2 nilai N-SPT 0 konsistensi tanah tersebut adalah tanah *very soft*. Pada lapis keempat BH-01 dan BH-02 tanah *organic elastic silt* (lanau organik) dengan nilai N-SPT 0-16 berdasarkan Tabel 4.2 konsistensi tanah tersebut adalah *very soft - stiff*. Pada lapisan kelima BH-01 dan BH-02 sama yaitu jenis tanah berupa *organic soil* (tanah organik) dengan nilai N-SPT 16-24 yang berdasarkan Tabel 4.2 konsistensi tanahnya adalah *stiff*.

Berdasarkan stratigrafi tanah dan data hasil uji laboratorium, tanah dasar pada BH-01 memiliki kandungan organik 28,66% berdasarkan Tabel 2.1 lapisan ini termasuk jenis tanah lempung organik. Sedangkan tanah dasar pada BH-02 memiliki kandungan organik sebesar 96,98% yang berdasarkan Tabel 2.1 tergolong tanah gambut. Tanah gambut maupun tanah organik memiliki daya dukung rendah yang dapat mengakibatkan penurunan yang besar.

4.3 Perhitungan Beban Rencana

Beban merupakan salah satu parameter yang memengaruhi besar penurunan. Beban yang besar diatas tanah lunak akan membuat penurunan tanah yang juga besar. Beban lalu lintas yang direncanakan pada proyek ini adalah beban roda gandar tunggal atau gandar ganda. Pada perencanaan *sand column* beban roda perlu dikonversi menjadi beban merata (q) seperti pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Beban Rencana

Beban sumbu (P) = 14,5 t

Lebar rencana jalan (L) = 6 m

Penyelesaian :

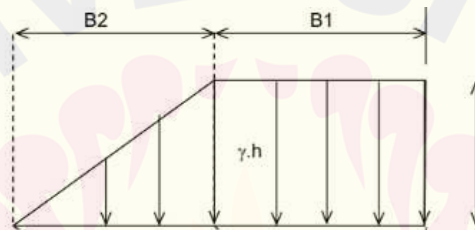
$$q = \frac{\sum P}{L \times 1 \text{ m}}$$

$$= \frac{14,5 + 14,5}{6 \times 1 \text{ m}}$$

$$= 4,833 \text{ t/m}^2 = 47,395 \text{ kN/m}^2$$

Jadi, beban rencana lalu lintas pada jalan primer sebesar 47,395 kN/m²

Selain beban rencana lalu lintas beban timbunan juga memengaruhi besarnya penurunan tanah. Rencana timbunan dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Timbunan

Data:

H = 1,5 m

γ_{timb} = 1,9 t/m³

B1 = 3 m

B2 = 1 m

Penyelesaian;

$$\text{Berat Timbunan} = \gamma_{\text{timb}} \times H$$

$$= 19 \times 1,5 = 28,5 \text{ kN/m}^2$$

Jadi, total beban rencana adalah 47,395 + 28,5 = 75,895 kN/m²

4.4 Analisa Stabilitas Tanah dengan Plaxis 2D

Analisa stabilitas tanah pada penelitian ini adalah analisis tanah dasar dan tanah timbunan jalan dengan tinggi timbunan 1,5 meter dan lebar jalan 4-6 meter. Parameter tanah didapatkan dari hasil korelasi nilai N-SPT dan data hasil uji

laboratorium. Parameter tanah yang di *input* pada program Plaxis 2D dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan gambar pemodelan dapat dilihat pada Gambar 4.5.

Tabel 4.2 Parameter Pemodelan Timbunan Menggunakan Plaxis 2D

Lapisan	Parameter Material										
	Model	Tipe	γ_{unsat} (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	K_x (m/day)	K_y (m/day)	E_{ref} (kN/m ²)	ν	C_{ref} (kN/m ²)	Φ (°)	Ψ (°)
Peat	Mohr-Columb	Undrained	1,4	8,747	0,002	0,001	1172	0,5	5,67	0	0
Organic Soil	Mohr-Columb	Undrained	2,817	11,65	0,002	0,001	1254	0,5	9,59	0	0
Organic Soil	Mohr-Columb	Undrained	7,348	14,54	0,002	0,001	1258	0,5	5	0	0
Sandy Organic Soil	Mohr-Columb	Undrained	6,739	14,45	0,1	0,1	1890	0,5	5	0	0
Organic Elastic Silt	Mohr-Columb	Undrained	7,107	14,96	0,1	0,1	2056	0,5	5	0	0
Timbunan	Mohr-Columb	Drained	16	19	1	1	3000	0,3	10	30	0

Keterangan:

γ_{unsat} = berat jenis tanah di atas muka air tanah

γ_{sat} = berat jenis tanah di bawah muka air tanah

K_x = koefisien permeabilitas horizontal

K_y = koefisien permeabilitas horizontal

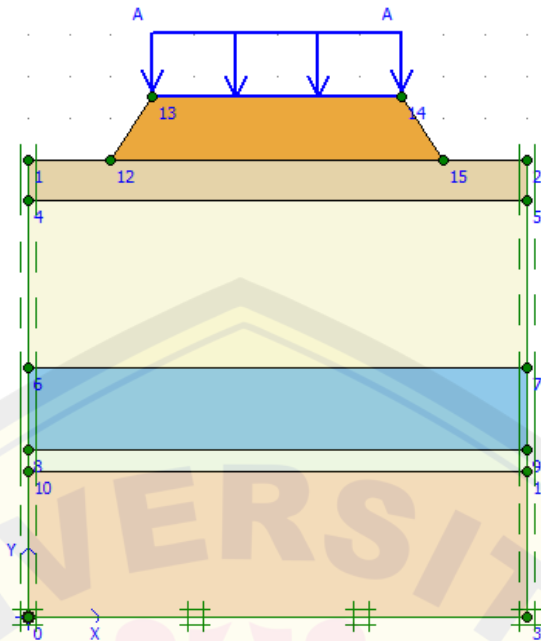
E_{ref} = Modulus Young

ν = Angka Poisson

C_{ref} = kohesi

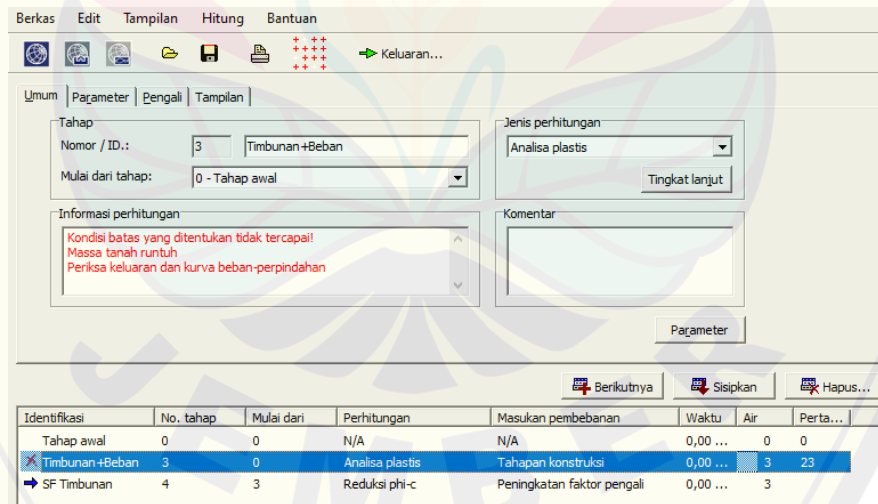
Φ = sudut geser

Ψ = sudut dilatasi

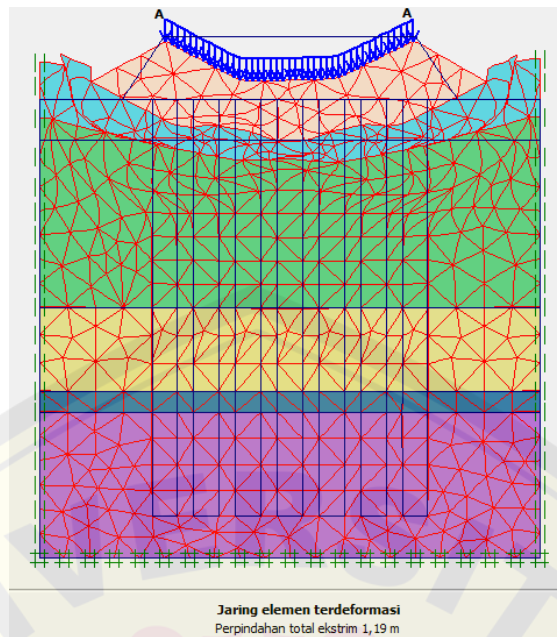


Gambar 4.5 Pemodelan Timbunan

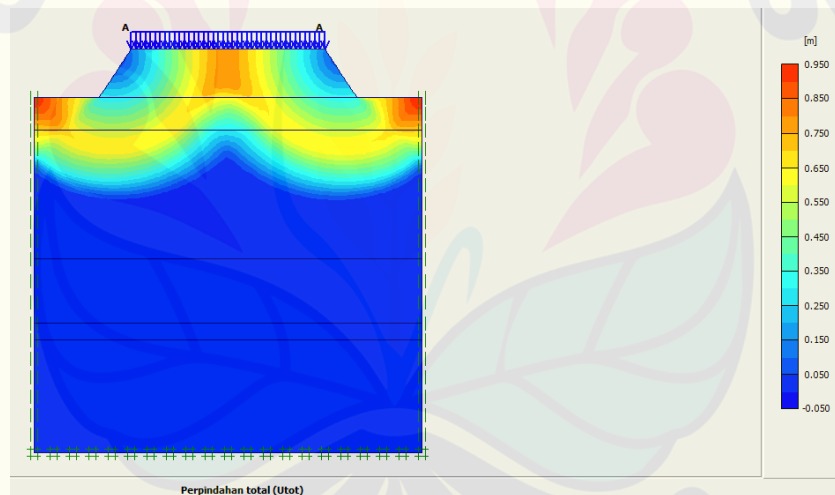
Gambar 4.5 merupakan gambar pemodelan tanah dasar dengan timbunan setinggi 1,5 meter dengan beban lalu lintas sebesar $47,395 \text{ kN/m}^2$ di atasnya. Pada saat tahap kalkulasi timbunan mengalami *collapse* seperti pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Kondisi Timbunan



Gambar 4.7 Jaringan Elemen Terdeformasi



Gambar 4.8 Perpindahan Total

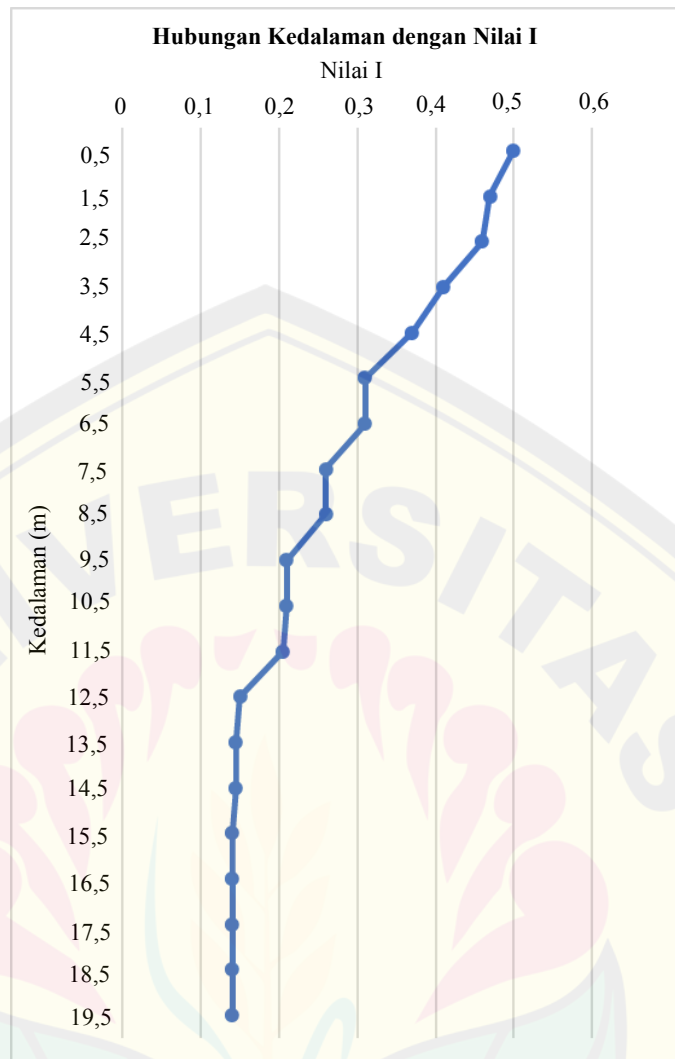
Pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.8 merupakan *output* dari perhitungan stabilitas tanah dasar dan tanah timbunan dengan program plaxis 2D. Tanah dasar dan timbunan mengalami *collapse* dengan nilai $SF < 1$ dan total deformasi 1,19 meter.

4.4.1 Perhitungan Penurunan Tanah Dasar

Berdasarkan stratigrafi tanah dan data hasil uji laboratorium jenis tanah pada proyek Akatara *Gas Plant Facility* adalah tanah lunak berupa gambut, tanah organik, dan lanau. Oleh sebab itu, komponen penurunan perlu dipertimbangkan yaitu penurunan segera, penurunan konsolidasi primer, dan penurunan konsolidasi sekunder. Kedalaman tanah yang dipengaruhi oleh penurunan dapat ditentukan dengan mencari nilai I pada distribusi tegangan. Hubungan nilai I dengan kedalaman tanah yang dipengaruhi oleh penurunan dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan Gambar 4.9.

Tabel 4.3 Nilai I Distribusi Tegangan

H (m)	z (m)	a/z	b/z	I
1	0,5	2	6	0,5
1	1,5	0,7	2	0,47
1	2,5	0,4	1,2	0,46
1	3,5	0,3	0,9	0,41
1	4,5	0,2	0,7	0,37
1	5,5	0,2	0,5	0,31
1	6,5	0,2	0,5	0,31
1	7,5	0,13	0,4	0,26
1	8,5	0,12	0,4	0,26
1	9,5	0,11	0,3	0,21
1	10,5	0,10	0,3	0,21
1	11,5	0,09	0,3	0,205
1	12,5	0,08	0,2	0,15
1	13,5	0,07	0,2	0,145
1	14,5	0,06	0,2	0,14
1	15,5	0,06	0,2	0,14
1	16,5	0,06	0,2	0,14
1	17,5	0,06	0,2	0,14
1	18,5	0,05	0,2	0,14
1	19,5	0,05	0,2	0,14



Gambar 4.9 Hubungan Kedalaman dengan Nilai I

Berdasarkan Tabel 4.3 dan Gambar 4.9 nilai I memiliki nilai konstan pada kedalaman 14,5 meter, sehingga pengaruh penurunan terhadap kedalaman dihitung sampai kedalaman 14,5 meter.

1. Penurunan Segera (S_i)

Penurunan tanah segera dapat dihitung menggunakan persamaan 2.2.

a. Tanah Gambut

Data:

$$q = 75,895 \text{ kN/m}^2$$

$$B = 6 \text{ m}$$

$$f_1 = 0,025 \text{ (diperoleh dari grafik pada Gambar 2.1)}$$

$$\begin{aligned}
 E_u &= 1172,5 \\
 I_v &= \frac{3}{4} f_1 \text{ (Persamaan 2.3)} \\
 &= \frac{3}{4} \cdot 0,025 \\
 &= 0,01875
 \end{aligned}$$

Penyelesaian:

$$\begin{aligned}
 S_i &= \frac{I_v \cdot q \cdot B}{E_u} \\
 &= \frac{0,01875 \cdot 75,895 \cdot 6}{1172,5} \\
 &= 0,0073 \text{ m}
 \end{aligned}$$

b. Tanah Organik

Data:

$$\begin{aligned}
 q &= 75,895 \text{ kN/m}^2 \\
 B &= 6 \text{ m} \\
 f_1 &= 0,05 \text{ (diperoleh dari grafik pada Gambar 2.1)} \\
 E_u &= 1254 \\
 I_v &= \frac{3}{4} f_1 \text{ (Persamaan 2.3)} \\
 &= \frac{3}{4} \cdot 0,05 \\
 &= 0,0375
 \end{aligned}$$

Penyelesaian:

$$\begin{aligned}
 S_i &= \frac{I_v \cdot q \cdot B}{E_u} \\
 &= \frac{0,0375 \cdot 75,895 \cdot 6}{1254} \\
 &= 0,01362 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Rekapitulasi penurunan segera pada tanah organik dapat dilihat pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Penurunan Segera Tanah Organik

H	q	B	f _l	E _u	I _v	S _i
4	75,895	6	0,05	1254	0,0375	0,01362
2	75,895	6	0,035	1258	0,0265	0,0095
					S _i	0,02312 m

c. Tanah Lanau Organik Berpasir

Data:

$$q = 75,895 \text{ kN/m}^2$$

$$B = 6 \text{ m}$$

$$f_l = 0,01 \text{ (diperoleh dari grafik pada Gambar 2.1)}$$

$$E_u = 1890$$

$$I_v = \frac{3}{4} f_l \text{ (Persamaan 2.3)}$$

$$= \frac{3}{4} \cdot 0,01$$

$$= 0,0075$$

Penyelesaian:

$$S_i = \frac{I_v \cdot q \cdot B}{E_u}$$

$$= \frac{0,0075 \cdot 75,895 \cdot 6}{1890}$$

$$= 0,001807 \text{ m}$$

d. Tanah Lanau Organik

Data:

$$q = 75,895 \text{ kN/m}^2$$

$$B = 6 \text{ m}$$

$$f_l = 0,05 \text{ (diperoleh dari grafik pada Gambar 2.1)}$$

$$E_u = 2056$$

$$I_v = \frac{3}{4} f_l \text{ (Persamaan 2.3)}$$

$$= \frac{3}{4} \cdot 0,05$$

$$= 0,0375$$

$$\begin{aligned}
 S_i &= \frac{I_v \cdot q \cdot B}{E_u} \\
 &= \frac{0,0375 \cdot 75,895 \cdot 6}{2056} \\
 &= 0,0083 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Rekapitulasi penurunan segera pada tanah lanau organik dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Penurunan Segera Tanah Lanau Organik

H	q	B	fl	E_u	I_v	S_i
4	75,895	6	0,05	2056	0,0375	0,0083
3	75,895	6	0,045	2453,95	0,0338	0,0063
S_i						0,0146 m

Berdasarkan Tabel 4.5 penurunan segera tanah lanau organik setebal 7 m adalah 0,0146 m. Rekapitulasi penurunan tanah segera dapat dilihat pada Tabel 4.6

Tabel 4.6 Rekapitulasi Total Penurunan Segera Pada Tanah

H	q	B	fl	E_u	I_v	S_i
0-1	75,895	6	0,025	1172,5	0,01875	0,00728
1-4	75,895	6	0,05	1254	0,0375	0,01362
4-6	75,895	6	0,035	1258	0,0265	0,0095
6-6,5	75,895	6	0,01	1890	0,0075	0,0018
6,5-11,5	75,895	6	0,05	2056	0,0375	0,0083
11,5-14,5	75,895	6	0,045	2453,95	0,0338	0,0063
S_i Total						0,0467 m

Berdasarkan Tabel 4.6 penurunan total tanah dasar sampai pada kedalaman 14,5 m adalah sebesar 0,0467 m.

2. Penurunan Konsolidasi (S_c)

Perhitungan konsolidasi dapat dihitung dengan persamaan 2.4.

a. Tanah Gambut

Data:

$$q = 75,895 \text{ kN/m}^2$$

$$C_s = 1,965$$

$$H = 1 \text{ m}$$

$$e_0 = 9,591$$

$$\gamma' = 1,25 \text{ kN/m}^3$$

$$I = 0,5 \text{ (diperoleh dari grafik pada Gambar 2.2)}$$

$$\sigma'_0 = \gamma' \times \frac{1}{2} H \text{ (Persamaan 2.8)}$$

$$= 1,25 \times \frac{1}{2} \cdot 1$$

$$= 0,63 \text{ kN/m}^2$$

$$\Delta\sigma = q \times I \text{ (Persamaan 2.9)}$$

$$= 75,895 \times 0,5$$

$$= 37,95 \text{ kN/m}^2$$

Penyelesaian:

$$\begin{aligned} S_c &= \frac{C_s \cdot H}{1 + e_0} \log \left(\frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma}{\sigma'_0} \right) \\ &= \frac{1,965 \cdot 1}{1 + 9,591} \log \left(\frac{0,63 + 37,95}{0,63} \right) \\ &= 0,3321 \text{ m} \end{aligned}$$

b. Tanah Organik

Data:

$$q = 75,895 \text{ kN/m}^2$$

$$C_s = 1,404$$

$$H = 4 \text{ m}$$

$$e_0 = 7,7338$$

$$\gamma' = 1,65 \text{ kN/m}^3$$

$$I = 0,36 \text{ (diperoleh dari grafik pada Gambar 2.2)}$$

$$\begin{aligned}\sigma'_0 &= \gamma' \times \frac{1}{2} H \text{ (Persamaan 2.8)} \\ &= \left(1,65 \times \frac{1}{2} \cdot 4\right) + 0,63 \\ &= 3,93 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta\sigma &= q \times I \text{ (Persamaan 2.9)} \\ &= 75,895 \times 0,36 \\ &= 27,324 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

Penyelesaian:

$$\begin{aligned}S_c &= \frac{C_s \cdot H}{1 + e_0} \log\left(\frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma}{\sigma'_0}\right) \\ &= \frac{1,404 \cdot 4}{1 + 7,7338} \log\left(\frac{3,93 + 27,324}{3,93}\right) \\ &= 0,5794 \text{ m}\end{aligned}$$

Rekapitulasi penurunan konsolidasi primer pada tanah organik dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Penurunan S_c Tanah Organik

H	q	C_s	e_0	γ'	I	σ'_0	$\Delta\sigma$	S_c
4	75,895	1,404	7,7338	1,65	0,36	3,93	27,324	0,5794
2	75,895	0,208	1,796	4,54	0,29	8,47	22,011	0,0828
S_c								0,6623 m

Perhitungan S_c pada tanah organik setebal 6 meter dengan total penurunan S_c pada tanah organik sebesar 0,6623 meter.

c. Tanah Lanau Organik Berpasir

Data:

$$q = 75,895 \text{ kN/m}^2$$

$$C_s = 0,262$$

$$H = 0,5 \text{ m}$$

$$e_0 = 2,804$$

$$\gamma' = 4,45 \text{ kN/m}^3$$

$$I = 0,25 \text{ (diperoleh dari grafik pada Gambar 2.2)}$$

$$\begin{aligned}\sigma'_0 &= \gamma' \times \frac{1}{2} H \text{ (Persamaan 2.8)} \\ &= (4,45) \times \frac{1}{2} \cdot 0,5 + 8,47 \\ &= 9,58 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta\sigma &= q \times I \text{ (Persamaan 2.9)} \\ &= 75,895 \times 0,25 \\ &= 18,975 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

Penyelesaian:

$$\begin{aligned}S_c &= \frac{C_s \cdot H}{1 + e_0} \log \left(\frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma}{\sigma'_0} \right) \\ &= \frac{0,262 \cdot 0,5}{1 + 2,804} \log \left(\frac{9,58 + 18,975}{9,58} \right) \\ &= 0,0163 \text{ m}\end{aligned}$$

d. Tanah Lanau Organik

Data:

$$q = 75,895 \text{ kN/m}^2$$

$$C_s = 0,262$$

$$H = 4 \text{ m}$$

$$e_0 = 2,581$$

$$\gamma' = 19,86 \text{ kN/m}^3$$

$$I = 0,21 \text{ (diperoleh dari grafik pada Gambar 2.2)}$$

$$\begin{aligned}\sigma'_0 &= \gamma' \times \frac{1}{2} H \text{ (Persamaan 2.8)} \\ &= (19,86) \times \frac{1}{2} \cdot 4 + 9,58 \\ &= 49,30 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta\sigma &= q \times I \text{ (Persamaan 2.9)} \\ &= 75,895 \times 0,21 \\ &= 15,939 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

Penyelesaian:

$$S_c = \frac{C_s \cdot H}{1 + e_0} \log \left(\frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma}{\sigma'_0} \right)$$

$$= \frac{0,262 \cdot 4}{1 + 2,581} \log\left(\frac{49,30 + 15,939}{49,30}\right)$$

$$= 0,03558 \text{ m}$$

Rekapitulasi penurunan konsolidasi primer pada tanah lanau organik dapat dilihat pada tabel 4.8.

Tabel 4.8 Penurunan Sc Tanah Lanau Organik

H	q	Cs	e ₀	γ'	I	σ' ₀	Δσ	Sc
4	75,895	0,262	2,581	19,86	0,21	49,30	15,393	0,0356
3	75,895	0,287	2,424	15,28	0,15	72,22	11,385	0,0160
Sc								0,0515 m

Perhitungan Sc pada tanah lanau organik setebal 7 m menyebabkan penurunan tanah sebesar 0,0515 meter. Rekapitulasi penurunan konsolidasi primer (Sc) dapat dilihat pada Tabel 4.9

Tabel 4.9 Rekapitulasi Penurunan Total Sc

H	q	Cs	e ₀	γ'	I	σ' ₀	Δσ	Sc
0-1	75,895	1,965	9,591	1,25	0,5	0,63	37,95	0,3321
1-4	75,895	1,404	7,7338	1,65	0,36	3,93	27,324	0,5794
4-6	75,895	0,287	1,796	4,54	0,29	8,47	22,011	0,0828
6-6,5	75,895	0,262	2,804	4,45	0,25	9,58	18,975	0,0163
6,5-11,5	75,895	0,262	2,581	19,86	0,21	49,30	15,393	0,0356
11,5-14,5	75,895	0,287	2,424	15,28	0,15	72,22	11,385	0,0160
Sc Tot								1,0623 m

Berdasarkan Tabel 4.9 total penurunan Sc sampai pada kedalaman 14,5 m adalah sebesar 1,0623 m.

3. Penurunan Konsolidasi Sekunder (Ss)

Penurunan konsolidasi sekunder dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.12.

a. Tanah Gambut

Data:

$$H = 1 \text{ m}$$

$$t = 3650 \text{ hari}$$

$$t_p = 14 \text{ hari}$$

$$C_c = 1,589$$

$$e_0 = 9,591$$

$$S_0 = 0,3321 \text{ m}$$

$$C_\alpha = C_c \times 0,06 \text{ (persamaan 2.13)}$$

$$= 1,589 \times 0,06$$

$$= 0,09534$$

$$e_p = e_0 - \frac{1 \cdot e_0}{H} \cdot S_0 \text{ (persamaan 2.14)}$$

$$= 9,591 - \frac{1 \cdot 9,591}{1} \cdot 0,3321$$

$$= 6,4056$$

Penyelesaian:

$$S_s = \frac{C_\alpha \cdot H}{1 + e_p} \log \frac{t}{t_p}$$

$$= \frac{0,09534 \cdot 1}{1 + 6,4056} \log \frac{3650}{14}$$

$$= 0,03118 \text{ m}$$

b. Tanah Organik

Data:

$$H = 4 \text{ m}$$

$$t = 3650 \text{ hari}$$

$$t_p = 938 \text{ hari}$$

$$C_c = 1,488$$

$$e_0 = 7,7338$$

$$S_0 = 0,5794 \text{ m}$$

$$C_\alpha = C_c \times 0,06 \text{ (persamaan 2.13)}$$

$$= 1,488 \times 0,06$$

$$= 0,089$$

$$\begin{aligned}
 e_p &= e_0 - \frac{1 \cdot e_0}{H} \cdot S_0 \text{ (persamaan 2.14)} \\
 &= 7,7388 - \frac{1 \cdot 7,7388}{4} \cdot 0,5794 \\
 &= 3,252
 \end{aligned}$$

Penyelesaian:

$$\begin{aligned}
 S_s &= \frac{C_\alpha \cdot H}{1 + e_p} \log \frac{t}{t_p} \\
 &= \frac{0,0829}{1 + 3,252} \log \frac{3650}{938} \\
 &= 0,0124 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Rekapitulasi penurunan tanah pada konsolidasi sekunder pada tanah organik dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Penurunan Ss Tanah Organik

H	t	tp	e ₀	S ₀	C _α	e _p	S _s
4	3650	938	7,7338	0,5794	0,089	3,252	0,0124
2	3650	938	1,796	0,0828	0,023	1,796	0,0048
						S _s	0,0172

c. Tanah Lanau Orgnik Berpasir

Data:

$$H = 0,5 \text{ m}$$

$$t = 3650 \text{ hari}$$

$$t_p = 5 \text{ hari}$$

$$C_c = 0,697$$

$$e_0 = 2,804$$

$$S_0 = 0,0163 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 C_\alpha &= C_c \times 0,06 \text{ (persamaan 2.13)} \\
 &= 0,697 \times 0,06 = 0,04182
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 e_p &= e_0 - \frac{1 \cdot e_0}{H} \cdot S_0 \text{ (persamaan 2.14)} \\
 &= 2,804 - \frac{1 \cdot 2,804}{0,5} \cdot 0,0163 \\
 &= 2,758
 \end{aligned}$$

Penyelesaian:

$$\begin{aligned} S_s &= \frac{C_\alpha \cdot H}{1 + e_p} \log \frac{t}{t_p} \\ &= \frac{0,04182}{1+2,758} \log \frac{3650}{5} \\ &= 0,0314 \text{ m} \end{aligned}$$

Jadi penurunan tanah konsolidasi sekunder pada tanah lanau organik berpasir adalah 0,0314 m.

d. Tanah Lanau Orgnik

Data:

$$\begin{aligned} H &= 4 \text{ m} \\ t &= 3650 \text{ hari} \\ t_p &= 2190 \text{ hari} \\ C_c &= 0,476 \\ e_0 &= 2,581 \\ S_0 &= 0,0356 \text{ m} \\ C_\alpha &= C_c \times 0,06 \text{ (persamaan 2.13)} \\ &= 0,476 \times 0,06 \\ &= 0,0285 \\ e_p &= e_0 - \frac{1 \cdot e_0}{H} \cdot S_0 \text{ (persamaan 2.14)} \\ &= 2,581 - \frac{1 \cdot 2,581}{4} \cdot 0,0356 \\ &= 2,489 \end{aligned}$$

Penyelesaian:

$$\begin{aligned} S_s &= \frac{C_\alpha \cdot H}{1 + e_p} \log \frac{t}{t_p} \\ &= \frac{0,0285 \cdot 4}{1+2,489} \cdot \log \frac{3650}{2190} \\ &= 0,00181 \text{ m} \end{aligned}$$

Rekapitulasi penurunan tanah pada konsolidasi sekunder pada tanah lanau organik dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Penurunan Ss Tanah Lanau Organik

H	t	tp	e ₀	So	Ca	ep	Ss	
4	3650	2190	2,581	0,0356	0,0285	2,489	0,00185	
3	3650	1460	2,424	0,0160	0,0285	2,423	0,00332	
							Ss	0,0052

Berdasarkan Tabel 4.11 penurunan konsolidasi sekunder tanah lanau organik setebal 7 m adalah 0,0052 m. Rekapitulasi penurunan tanah konsolidasi sekunder dapat dilihat pada Tabel 4.12

Tabel 4.12 Rekapitulasi Total Penurunan Konsolidasi Sekunder Pada Tanah

H	t	tp	e ₀	So	Ca	ep	Ss	
0-1	3650	13,8	9,591	0,3321	0,0953	6,406	0,03118	
1-4	3650	938	7,7338	0,5794	0,089	3,252	0,0124	
4-6	3650	938	1,796	0,0828	0,023	1,796	0,0048	
6-6,5	3650	5,47	2,804	0,0163	0,0418	2,758	0,0314	
6,5-11,5	3650	2190	2,581	0,0356	0,0285	2,489	0,00185	
11,5-14,5	3650	1460	2,424	0,0160	0,0285	2,423	0,00332	
							Ss Tot	0,0849 m

Total penurunan tanah segera, penurunan konsolidasi primer, dan konsolidasi sekunder dapat dilihat pada Tabel 4.13

Tabel 4.13 Total Penurunan Pada Tanah

Kedalaman (m)	Jenis Tanah	Si (m)	Sc (m)	Ss (m)
0-1	Gambut	0,0073	0,3321	0,0312
1-4	Organik	0,0136	0,5794	0,0124
4-6	Organik	0,0095	0,0828	0,0049
6-6,5	Lanau Organik Berpasir	0,0018	0,0163	0,0314
6,5-11,5	Lanau Organik	0,0083	0,0356	0,0018
11,5-14,5	Lanau Organik	0,0063	0,0160	0,0033
Jumlah		0,0468	1,0623	0,0850
Total Penurunan		1,1940 m		

Jadi penurunan total tanah sebelum dipasang *sand column* yaitu sebesar 1,1940 meter.

4.4.2 Waktu Penurunan Konsolidasi

Perhitungan waktu konsolidasi sebelum perbaikan tanah menggunakan *sand column* dapat dilihat pada persamaan 2.10.

a. Tanah Gambut

$$\begin{aligned} H_{dr} &= H \text{ (drainase 2 arah)} \\ &= 50 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$T_{v90\%} = 0,848 \text{ (berdasarkan Tabel 2.2)}$$

$$\begin{aligned} C_v &= 0,002 \text{ cm}^2/\text{s} \text{ (berdasarkan Tabel 4.1)} \\ &= 56029 \text{ cm}^2/\text{tahun} \end{aligned}$$

Penyelesaian:

$$\begin{aligned} t &= T_v \frac{H_{dr}^2}{C_v} \\ &= 0,848 \frac{50^2}{56029} \\ &= 0,038 \text{ tahun} \\ &= 14 \text{ hari} \end{aligned}$$

Jadi, waktu yang diperlukan agar mencapai konsolidasi 90% pada lapisan tanah gambut adalah 0,038 tahun.

b. Tanah organik

$$H_{dr} = 600 \text{ cm}$$

$$T_{v90\%} = 0,848 \text{ (berdasarkan Tabel 2.2)}$$

$$H_2 = 400 \text{ cm} \quad C_{v2} = 0,003 \text{ cm}^2/\text{s}$$

$$H_3 = 200 \text{ cm} \quad C_{v3} = 0,001 \text{ cm}^2/\text{s}$$

Pada tanah yang berlapis-lapis C_v yang digunakan adalah C_v gabungan dengan persamaan 2.11.

$$C_v \text{ gabungan} = \frac{(H_1 + H_2 + \dots H_n)^2}{\left(\frac{H_1}{\sqrt{C_{v1}}} + \frac{H_2}{\sqrt{C_{v2}}} + \dots + \frac{H_n}{\sqrt{C_{vn}}} \right)^2}$$

$$= \frac{(400 + 200)^2}{\left(\frac{400}{\sqrt{0,003}} + \frac{200}{\sqrt{0,001}}\right)^2}$$

$$= 0,00188 \text{ cm}^2/\text{s} = 59392,3 \text{ cm}^2/\text{th}$$

Penyelesaian:

$$t = T_v \frac{H_{dr}^2}{C_v}$$

$$= 0,848 \frac{600^2}{59392,3}$$

$$= 5,14 \text{ tahun}$$

Jadi, waktu yang diperlukan agar memenuhi konsolidasi 90% pada lapisan tanah organik adalah 5,14 tahun.

c. Tanah lanau organik berpasir

$$H_{dr} = 25 \text{ cm}$$

$$T_{v90\%} = 0,848 \text{ (berdasarkan Tabel 2.2)}$$

$$H_4 = 50 \text{ cm}$$

$$C_{v4} = 0,001 \text{ cm}^2/\text{s} \text{ (berdasarkan Tabel 4.1)}$$

Penyelesaian:

$$t = T_v \frac{H_{dr}^2}{C_v}$$

$$= 0,848 \frac{25^2}{0,001}$$

$$= 0,015 \text{ tahun}$$

Jadi, waktu yang diperlukan agar memenuhi konsolidasi 90% pada lapisan tanah lanau organik berpasir adalah 0,015 tahun.

d. Tanah lanau organik

$$H_{dr} = 700 \text{ cm}$$

$$T_{v90\%} = 0,848 \text{ (berdasarkan Tabel 2.2)}$$

$$H_5 = 400 \text{ cm}$$

$$C_{v5} = 0,001 \text{ cm}^2/\text{s}$$

$$H_6 = 300 \text{ cm}$$

$$C_{v6} = 0,001 \text{ cm}^2/\text{s}$$

Pada tanah yang berlapis-lapis C_v yang digunakan adalah C_v gabungan dengan persamaan 2.11.

$$\begin{aligned}
C_v \text{ gabungan} &= \frac{(H_1 + H_2 + \dots H_n)^2}{\left(\frac{H_1}{\sqrt{C_{v1}}} + \frac{H_2}{\sqrt{C_{v2}}} + \dots + \frac{H_n}{\sqrt{C_{vn}}}\right)^2} \\
&= \frac{(400 + 300)^2}{\left(\frac{400}{\sqrt{0,001}} + \frac{300}{\sqrt{0,001}}\right)^2} \\
&= 0,001 \text{ cm}^2/\text{s} = 41154 \text{ cm}^2/\text{th}
\end{aligned}$$

Penyelesaian:

$$\begin{aligned}
t &= T_v \frac{H_{dr}^2}{C_v} \\
&= 0,848 \frac{700^2}{41154} \\
&= 7,42 \text{ tahun}
\end{aligned}$$

Jadi, waktu yang diperlukan agar memenuhi konsolidasi 90% pada lapisan tanah lanau organik adalah 7,42 tahun. Penurunan tanah total pada perencanaan jalan primer adalah sebesar 15,283 tahun.

Berdasarkan hasil perhitungan dengan menggunakan program plaxis 2D tanah mengalami *collapse*. *Collapse* ini terjadi karena tanah tidak mampu menahan beban lalu lintas yang berada di atasnya. Nilai SF < 1 dan total deformasi sebesar 1,19 meter sedangkan waktu penurunan yang dibutuhkan 15,283 tahun, oleh karena itu, agar tidak terjadi *collapse* dan untuk mengurangi penurunan tanah maka dipasang *sand column* sebagai perkuatan.

4.5 Perencanaan *Sand Column*

Perencanaan *sand column* meliputi diameter, pola pemasangan, panjang, dan jarak *sand column*.

a. Diameter *sand column*

Diameter *sand column* berkisar antara 60-120 cm (Ppt, n.d.), dan pada perencanaan ini menggunakan *sand column* diameter 60 cm. Pola pemasangan yang digunakan adalah *unit cell* yaitu pola segitiga.

- b. Jarak dan panjang *sand column*.

Jarak pada *sand column* yaitu 1,5D s/d 2,5 D sehingga jarak yang digunakan *sand column* yaitu:

$$\begin{aligned} S &= 1,65D \\ &= 1,65 \times 60 = 99 \text{ cm} \sim 100 \text{ cm} = 1 \text{ meter} \end{aligned}$$

Untuk panjang atau kedalaman *sand column* yang digunakan yaitu 6 m s/d 10 m (Ppt, n.d.), pada perencanaan ini kedalaman ditentukan dengan *trial and error* menggunakan Plaxis 2D. Diameter equivalen (D_e) untuk pemasangan *sand column* pola segitiga yaitu:

$$\begin{aligned} D_e &= 1,05s \\ &= 1,05 \times 100 \\ &= 105 \text{ cm} \end{aligned}$$

- c. Rasio pengganti area

Perhitungan rasio pengganti area pada *sand column* dapat dilihat pada persamaan 2.17.

$$\begin{aligned} a_s &= c_1(D / S)^2 \\ &= 0,907 (0,6 / 1)^2 \\ &= 0,326 \text{ m} \end{aligned}$$

Nilai c_1 pada pola pemasangan segitiga 0,907

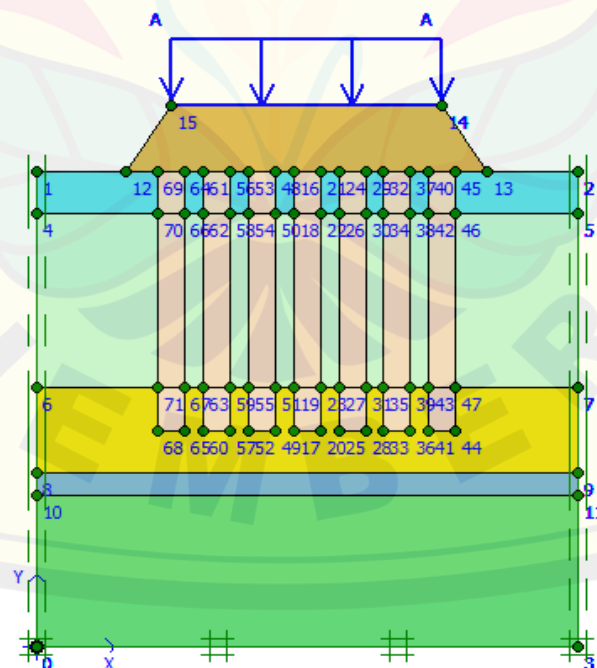
4.6 Pemodelan *Sand Column* Dengan Plaxis 2D

Perencanaan *sand column* dilakukan karena stabilitas tanah tidak memenuhi yang mengakibatkan *collapse* pada tanah terjadi. Perencanaan *sand column* kemudian dimodelkan dengan menggunakan *software* Plaxis 2D untuk menentukan kedalaman, untuk mengetahui nilai *safety factor*, dan untuk mengetahui nilai deformasi. Parameter *sand column* didapatkan dari hasil penelitian sebelumnya, sedangkan untuk parameter timbunan, dan lapisan tanah didapatkan dari data laboratorium dan N-SPT yang merupakan hasil dari perhitungan korelasi dan interpolasi data tanah dapat dilihat pada Lampiran 4.8. Parameter tanah yang dimasukkan ke Plaxis 2D dapat dilihat pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14 Parameter Pemodelan *Sand Column* Menggunakan Plaxis 2D

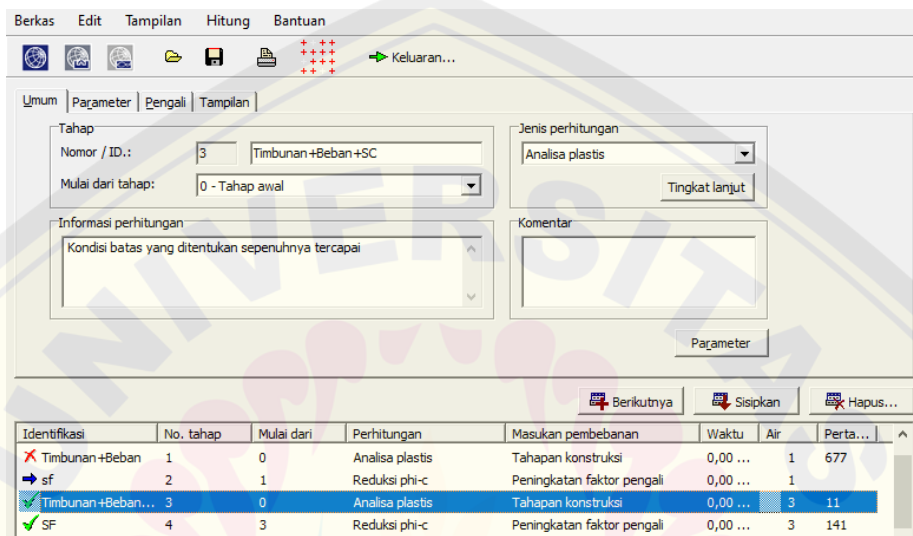
Lapisan	Parameter Material										
	Model	Tipe	γ_{unsat} (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	K_x (m/day)	K_y (m/day)	E_{ref} (kN/m ²)	ν	C_{ref} (kN/m ²)	Φ (°)	Ψ (°)
Peat	Mohr-Columb	Undrained	1,4	8,747	0,002	0,001	1172	0,5	5,67	0	0
Organic Soil	Mohr-Columb	Undrained	2,817	11,65	0,002	0,001	1254	0,5	9,59	0	0
Organic Soil	Mohr-Columb	Undrained	7,348	14,54	0,002	0,001	1258	0,5	5	0	0
Sandy Organic Soil	Mohr-Columb	Undrained	6,739	14,45	0,1	0,1	1890	0,5	5	0	0
Organic Elastic Silt	Mohr-Columb	Undrained	7,107	14,96	0,1	0,1	2056	0,5	5	0	0
Sand Column	Mohr-Columb	Drained	12	20	1,2	1,2	50000	0,3	0,01	38	8
Timbunan	Mohr-Columb	Drained	16	19	1	1	3000	0,3	10	30	0

Pemodelan *sand column* dilakukan pada tanah dasar dengan timbunan dan beban merata lalu lintas yang berada di atasnya. Pemodelan percobaan dilakukan pada kedalaman 1 – 8 meter, kedalaman diatur sampai mencapai kekuatan yang diinginkan atau tanah maupun *sand column* tidak mengalami *collapse* dengan batas maksimum kedalaman adalah 12 meter. Pemodelan *sand column* pada kedalaman 6 meter dapat dilihat pada Gambar 4.10.

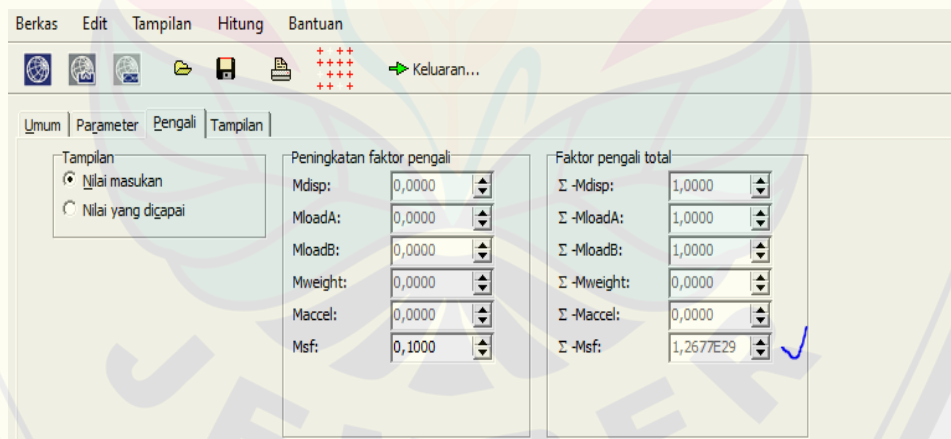


Gambar 4.10 Pemodelan *Sand Column* Kedalaman 6 m

Selanjutnya tahap kalkulasi, pada tahap ini akan dilakukan perhitungan pada setiap tahapan konstruksi setelah dipasang *sand column*. Hasil dari tahap ini akan didapatkan nilai faktor keamanan dan total deformasi dari tanah. *Sand column* yang dipasang pada kedalaman 6 meter aman karena tidak mengalami *collapse* dapat dilihat pada Gambar 4.11 dan nilai SF dapat dilihat pada gambar 4.12.

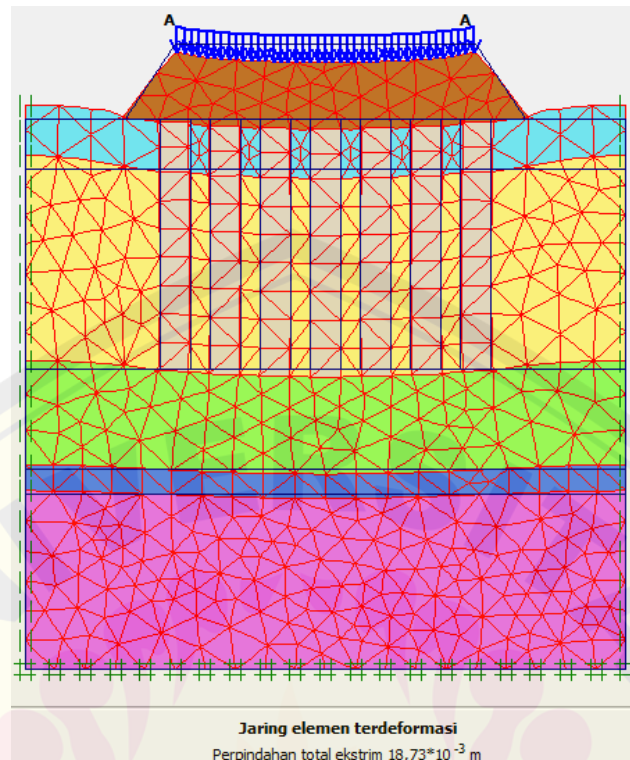


Gambar 4.11 Kondisi Timbunan Kedalaman 6 m

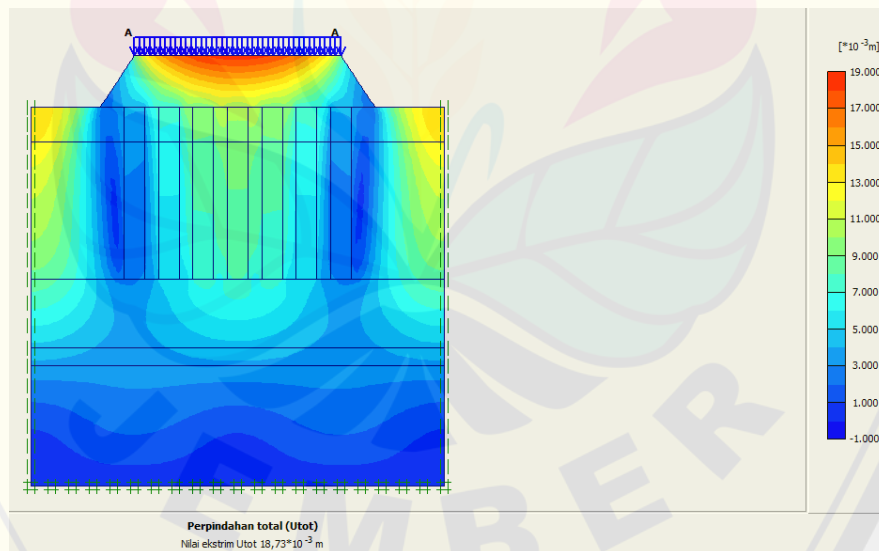


Gambar 4.12 Nilai SF

Nilai *Safety factor* pemodelan *sand column* pada kedalaman 6 meter adalah sebesar 1,267 nilai ini sudah melebihi batas minimum SF yaitu 1,25. Sehingga *sand column* mampu menahan dan memberi perkuatan pada konstruksi timbunan. *Output* dari perhitungan untuk tahap konstruksi *sand column* kedalaman 6 meter dapat dilihat pada Gambar 4.13 dan Gambar 4.14.



Gambar 4.13 Jaringan Elemen Terdeformasi Kedalaman 6 m

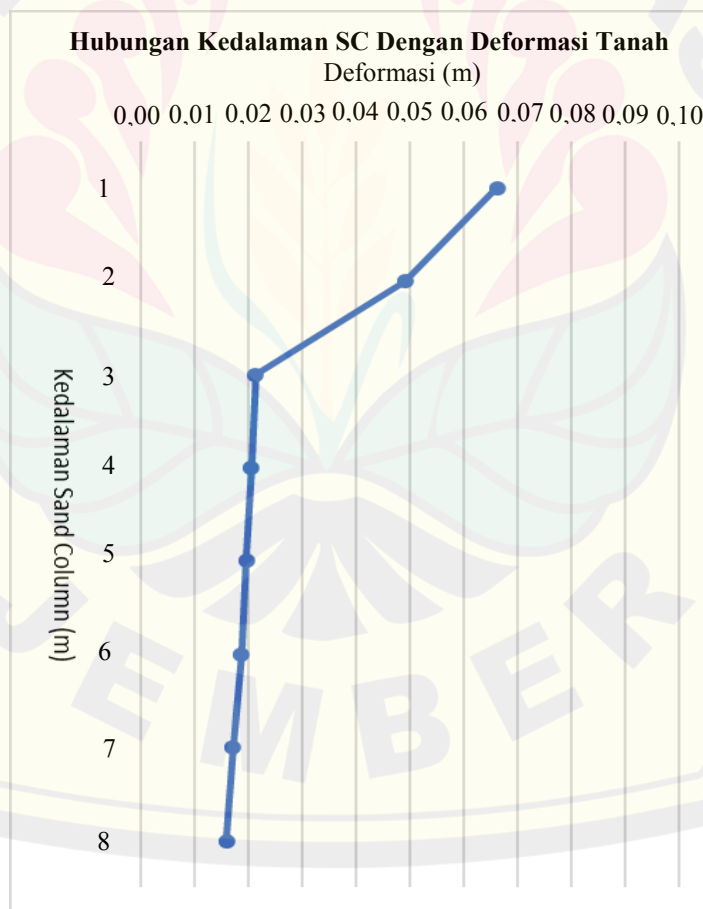
Gambar 4.14 Perpindahan Total *Sand Column* Kedalaman 6 m

Berdasarkan Gambar 4.12 dan 4.13 total deformasi sebesar 0,0187 meter. Kedalaman 6 meter pada *sand column* dapat mengurangi total deformasi sebelum dipasang *sand column*. Hasil percobaan pemodelan pada *sand column* kedalaman 1 – 8 meter dapat dilihat pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15 Hasil Percobaan Pemodelan Sand Column Kedalaman 1 – 8 m

H (m)	Deformasi (m)	SF	Keterangan
1	0,0663	< 1	Tidak Ok
2	0,0491	< 1	Tidak Ok
3	0,0214	< 1	Tidak Ok
4	0,0206	< 1	Tidak Ok
5	0,0197	< 1	Tidak Ok
6	0,0187	1,267	Ok
7	0,0172	1,473	Ok
8	0,0160	1,805	Ok

Hubungan antara kedalaman pemasangan *sand column* dengan deformasi dapat dilihat pada Gambar 4.15.



Gambar 4.15 Grafik Hubungan Kedalaman SC dan Deformasi

Berdasarkan Gambar 4.15 semakin dalam pemasangan *sand column* deformasinya semakin kecil. Sehingga dari pemodelan *sand column* menggunakan Plaxis 2D didapatkan kedalaman untuk perencanaan *sand column* yang digunakan sebesar 6 meter yang merupakan kedalaman minimal dari pemasangan *sand column*, diameter 0,6 meter, dengan pola pemasangan segitiga mampu meningkatkan stabilisasi tanah dasar dan tanah timbunan.

4.6.1 Perhitungan Daya Dukung *Sand Column*

Perhitungan daya dukung *sand column* untuk mengetahui kapasitas/daya dukung setelah dipasang *sand column*. Perhitungan daya dukung *sand column* menggunakan persamaan 2.15.

e. Daya dukung *sand column* kedalaman 1 meter

$$q_{ult} = [\partial \cdot z \cdot K_p + 2 \cdot C_u \cdot \tan \beta] \tan^2 \beta + C_{avg} \cdot \tan \beta$$

$$\partial = 1,25 \text{ kN/m}^3$$

$$z = 1 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} k_p &= \tan^2(45 + \theta / 2) \\ &= \tan^2(45 + 38^\circ / 2) \\ &= 4,204 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi_{avg} &= \text{tg}^{-1} \alpha \\ &= \text{tg}^{-1} 0,326 \\ &= 12,235 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta &= 45^\circ + 0,5 \phi_{avg} \\ &= 45^\circ + 0,5 \text{tg}^{-1} 0,326 \\ &= 2,285 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_{ult} &= [1,25 \cdot 1 \cdot 4,204 + 2 \cdot 18,167 \cdot \text{tg} 2,285] \text{tg}^2 2,285 + 12,235 \cdot \text{tg} 2,285 \\ &= 6,378 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

f. Daya dukung *sand column* kedalaman 6 meter

$$q_{ult} = [\partial \cdot z \cdot K_p + 2 \cdot C_u \cdot \tan \beta] \tan^2 \beta + C_{avg} \cdot \tan \beta$$

$$\partial = 4,94 \text{ kN/m}^3$$

$$z = 6 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} k_p &= \tan^2(45 + \theta / 2) \\ &= \tan^2(45 + 38^\circ / 2) \\ &= 4,204 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi \text{ avg} &= \text{tg}^{-1} \text{as} \\ &= \text{tg}^{-1} 0,326 \\ &= 12,235 \end{aligned}$$

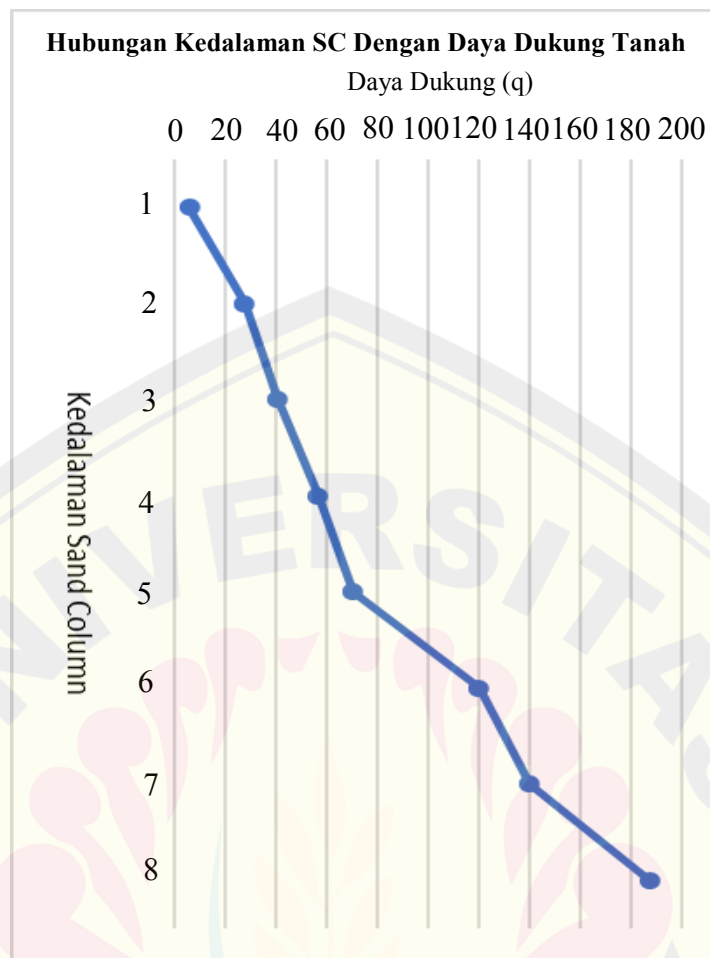
$$\begin{aligned} \beta &= 45^\circ + 0,5 \phi \text{ avg} \\ &= 45^\circ + 0,5 \text{tg}^{-1} 0,326 \\ &= 2,285 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_{ult} &= [4,94 \cdot 6 \cdot 4,204 + 2 \cdot 18,167 \cdot \text{tg} 2,285] \text{tg}^2 2,285 + 12,235 \cdot \text{tg} 2,285 \\ &= 120,461 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Hasil Perhitungan daya dukung *sand column* pada kedalaman 1 – 8 meter dapat dilihat pada Tabel 4.16 dan Gambar 4.16.

Tabel 4.16 Daya Dukung *Sand Column* Kedalaman 1 – 8 m

H (m)	q_{ult} (kN/m ²)
1	6,378
2	27,876
3	41,137
4	56,809
5	70,672
6	120,461
7	140,312
8	187,810



Gambar 4.16 Grafik Hubungan Kedalaman dan Daya Dukung

Berdasarkan Tabel 4.16 dan Gambar 4.16 semakin dalam pemasangan *sand column* daya dukungnya semakin meningkat begitu sebaliknya. Pemasangan *sand column* pada kedalaman 1 – 5 meter daya dukungnya lebih rendah dari beban timbunan dan beban lalu lintas.

Kapasitas *sand column* dengan diameter 0,6 meter dan kedalaman 6 meter mampu menahan beban timbunan dan beban lalu lintas yang berada di atasnya dengan daya dukung sebesar 120,461 kN/m².

4.6.2 Perhitungan Penurunan Dengan *Sand Column*

Penurunan tanah dengan *sand column* kedalaman 6 meter menggunakan rumus pada persamaan 2.19.

$$S_c = \frac{1}{n} \times S_t$$

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{1}{4} \times \pi \times (D)^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times (60)^2 \\ &= 2826 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A &= 0,25 \cdot \pi \cdot (0,907 \cdot (s)^2) \\ &= 0,25 \cdot 3,14 \cdot (0,907 \cdot (100)^2) \\ &= 6457,795 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R &= \frac{E_c}{E_s} \\ &= \frac{50000}{1258,371} = 39,7331 \end{aligned}$$

$$n = \frac{1}{1 + \frac{A_s}{A} (R - 1)} = \frac{1}{1 + \frac{2826}{6457,795} (39,7331 - 1)} = 19,23$$

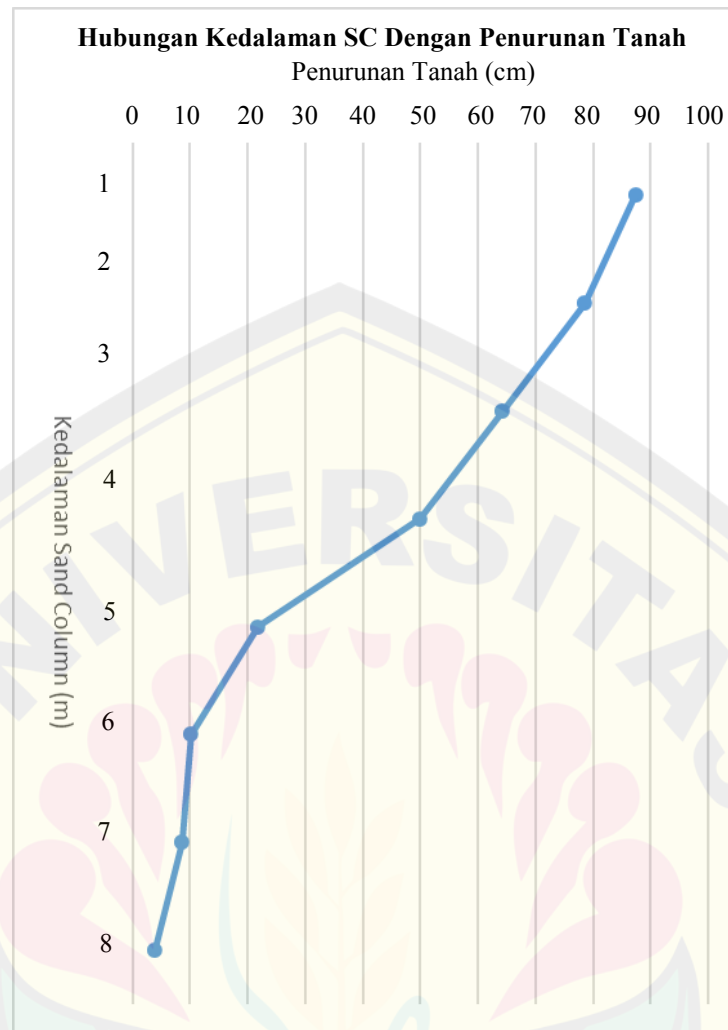
$$S_t = 92,186 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} S_c &= \frac{1}{19,23} \times 92,186 + 5,080 \\ &= 10,216 \text{ cm} \end{aligned}$$

Penurunan tanah setelah di pasang *sand column* pada kedalaman 1 – 8 meter dapat dilihat pada Tabel 4.17.

Tabel 4.17 Penurunan Tanah dengan *Sand Column* Kedalamn 1 – 8 m

Kedalaman Sc (m)	As	A	R	n	St Sc (cm)	Ss Sc (cm)	Ss tanah (cm)
1	2826	6457,795	42,657	19,23	37,058	1,927	87,390
2	2826	6457,795	39,883	18,02	52,194	2,897	78,605
3	2826	6457,795	39,883	18,02	67,330	3,737	64,309
4	2826	6457,795	39,883	18,02	82,467	4,577	50,013
5	2826	6457,795	39,883	18,02	87,326	4,847	21,787
6	2826	6457,795	39,734	17,95	92,186	5,136	10,216
7	2826	6457,795	39,734	17,95	97,142	5,412	8,606
8	2826	6457,795	37,258	16,87	98,133	5,818	3,905



Gambar 4.17 Grafik Hubungan Kedalaman *Sand Column* dengan Penurunan Tanah

Berdasarkan Tabel 4.17 dan Gambar 4.17 hubungan kedalaman *sand column* terhadap penurunan tanah adalah berbanding terbalik. Semakin dalam *sand column* penurunan tanah semakin berkurang. Penurunan tanah yang dipasang *sand column* sedalam 6 meter adalah 10,216 cm.

4.6.3 Perhitungan Waktu Penurunan Dengan *Sand Column*

Perhitungan waktu setelah dilakukan pemasangan *sand column* pada tanah dasar dapat dihitung menggunakan rumus pada persamaan 2.20.

$$t = \frac{Tv \cdot De^2}{Cv}$$

$$C_{v,gab} = \frac{(H_1 + H_2 + \dots + H_n)^2}{\left(\frac{H_1}{\sqrt{C_{v1}}} + \frac{H_2}{\sqrt{C_{v2}}} + \dots + \frac{H_n}{\sqrt{C_{vn}}}\right)^2}$$

$$= \frac{(100 + 400 + 100)^2}{\left(\frac{100}{\sqrt{0,002}} + \frac{400}{\sqrt{0,003}} + \frac{100}{\sqrt{0,001}}\right)^2}$$

$$= 68232,8 \text{ cm}^2/\text{th}$$

$$t = \frac{0,848 \cdot 105^2}{68232,8} = 0,137 \text{ th}$$

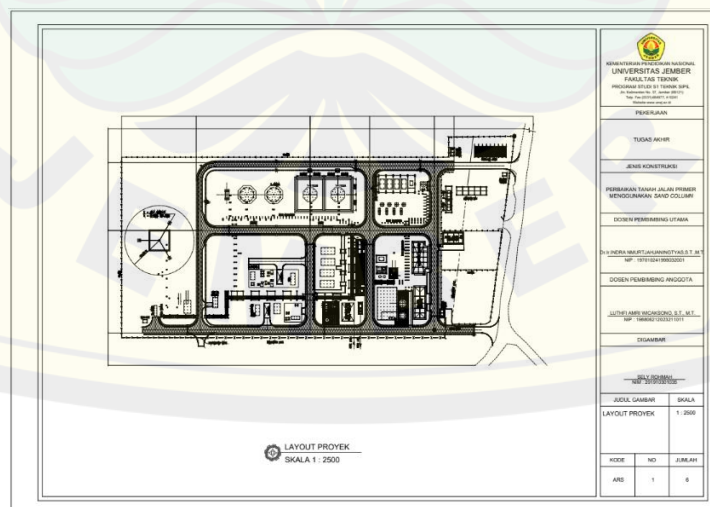
$$= 50 \text{ hari}$$

$$t \text{ Total} = 9,785 + 0,137 = 9,921 \text{ th}$$

Jadi, waktu penurunan setelah dipasang *sand column group* adalah 9,921 th. Waktu penurunan ini lebih cepat dibandingkan sebelum dipasang *sand column*.

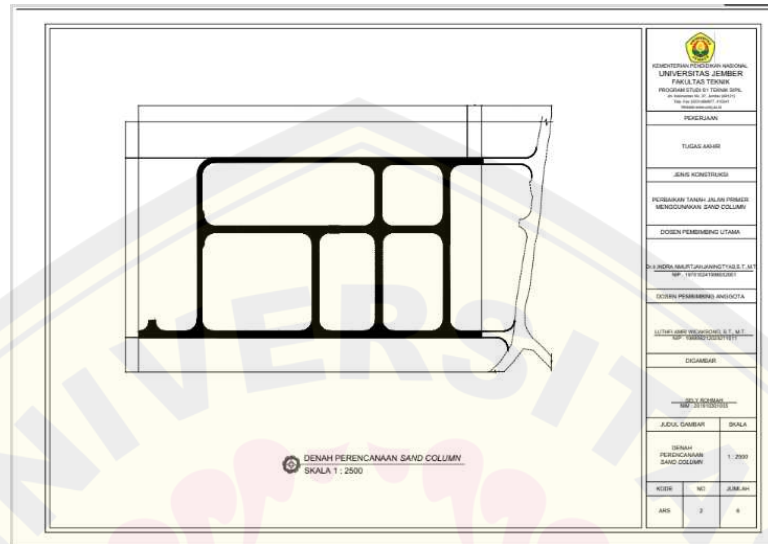
4.7 Gambar Perencanaan

Gambar perencanaan merupakan gambar teknis bangunan secara umum sampai detail. Gambar perencanaan secara rinci meliputi denah, potongan, dan seringkali dilengkapi dengan gambar 3D (Syahputra et al., 2021). Perbaikan tanah dengan menggunakan *sand column* dapat dilihat pada Gambar 4.18 sampai Gambar 4.23, dan Lampiran 4.9.



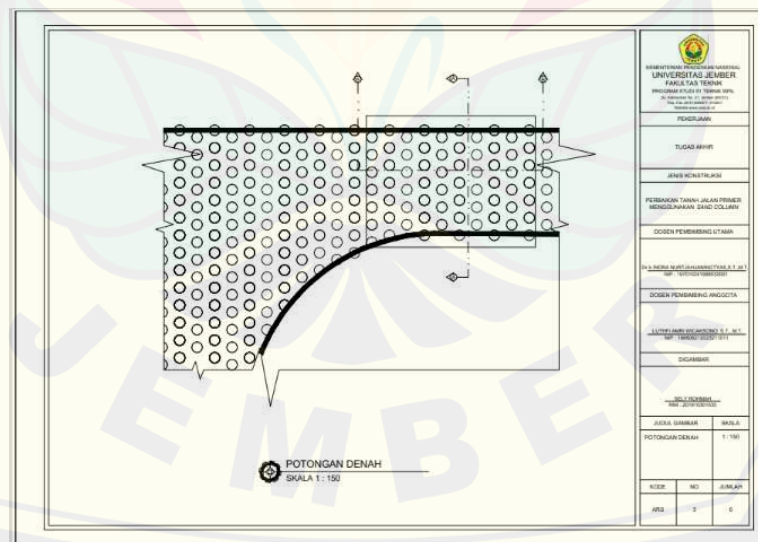
Gambar 4.18 *Layout Proyek*

Gambar 4.18 merupakan gambar *layout* proyek pembangun Akatara *Gas Plant Facility*. *Layout* proyek berisi tata letak keseluruhan elemen yang ada pada bangunan. Luas total area bangunan 395,065 x 181,353 meter.



Gambar 4.19 Denah Perencanaan *Sand Column*

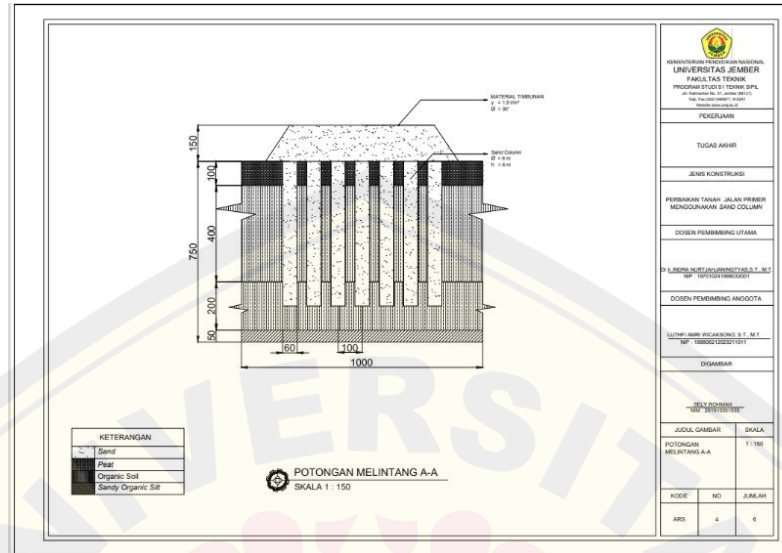
Gambar 4.19 merupakan gambar denah perencanaan *sand column* yang dipasang pada area jalan primer proyek Akatara *Gas Plant Facility*. Jalan primer yang diperbaiki memiliki panjang jalan 1.281,083 meter dengan lebar jalan 4-6 meter.



Gambar 4.19 Potongan Denah

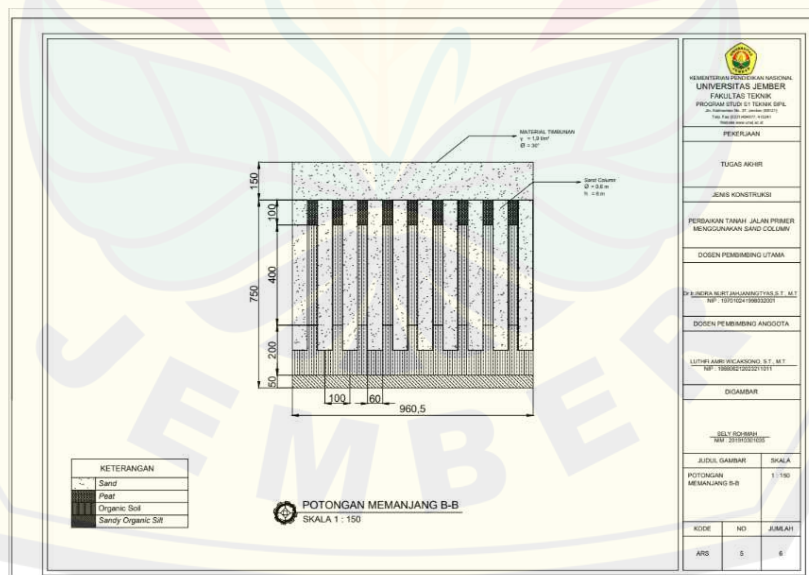
Gambar 4.20 merupakan gambar potongan denah jalan primer yang menjadi lokasi perencanaan perbaikan *sand column*. Pada gambar ini terlihat bahwa jalan

dengan lebar 6 meter memiliki kombinasi pemasangan *sand column* sebanyak 7 dan 6 kolom.



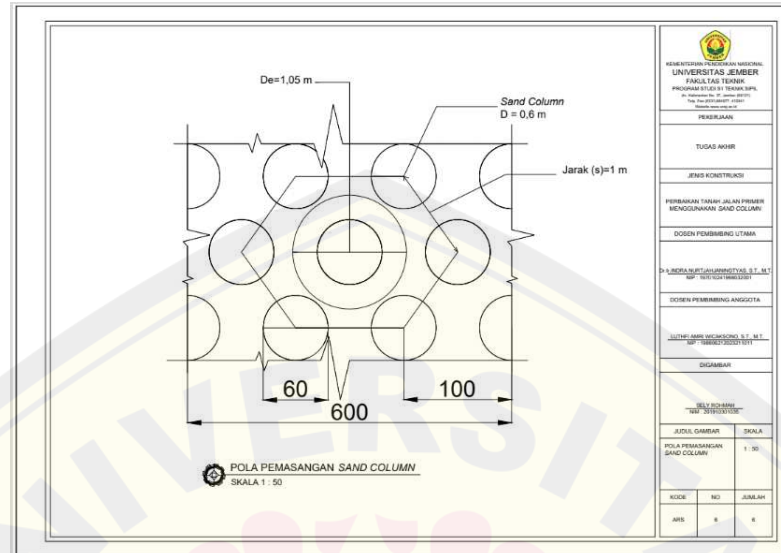
Gambar 4.21 Potongan Melintang A-A

Gambar 4.21 merupakan gambar potongan melintang A-A jalan primer dengan *sand column*. Pada gambar tersebut terdapat 7 buah *sand column* yang menopang timbunan jalan setinggi 1,5 meter. *Sand column* yang dipasang berada diantara lapis tanah *peat*, dan *organic soil*.



Gambar 4.22 Potongan Memanjang B-B

Gambar 4.22 adalah gambar potongan memanjang B-B dengan panjang area potongan 9,605 meter.



Gambar 4.23 Pola Pemasangan *Sand Column*

Gambar 4.23 merupakan gambar pola pemasangan *sand column* yaitu dengan tipe pola segitiga. Diameter equivalen (D_e) pada pola segitiga dengan jarak 1 meter dan diameter sand column 0,6 meter adalah 1,05 meter.

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis perencanaan perbaikan tanah pada area jalan primer proyek Akatara *Gas Plant Facility* menggunakan metode *sand column* dapat ditarik kesimpulan berupa:

1. Stabilitas tanah dasar dan timbunan pada kondisi eksisting mengalami *collapse* karena $SF < 1$ dengan total deformasi 1,19 m. Penurunan tanah pada kondisi eksisting dengan perhitungan manual sebesar 119,4 cm.
2. Perencanaan *sand column* yang dibutuhkan untuk menahan beban timbunan sebesar 28,5 kN/m² dan beban lalu lintas sebesar 47,395 kN/m². Direncanakan diameter sebesar 0,6 meter, jarak antar pusat *sand column* adalah 1 meter, dan kedalaman *sand column* 6 meter dibawah timbunan. Pola pemasangan yang digunakan yaitu pola segitiga *sand column group*.
3. Stabilitas tanah dasar dan timbunan setelah dipasang *sand column* sedalam 6 meter daya dukung tanah meningkat dengan nilai SF sebesar 1,267. Dalam hal ini $SF = 1,267 > 1,25$ (SF minimum) sehingga tidak terjadi *collapse* pada tanah dasar dan timbunan. Total deformasi tanah setelah dipasang *sand column* menjadi 0,0187 m. Daya dukung *sand column group* sebesar 120,461 kN/m² lebih besar dibandingkan beban total diatas tanah asli yaitu 75,895 kN/m². Penurunan tanah setelah dipasang *sand column* dengan perhitungan manual sebesar 10,216 cm.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil analisis perencanaan, penelitian selanjutnya disarankan untuk menambah variasi diameter dan jarak dari *sand column*, serta menambah lokasi penyelidikan tanah agar perhitungan lebih akurat .

DAFTAR PUSTAKA

- Anggrahini, Z., & Fitriyana, L. (2022). *Studi Kasus Perbaikan Tanah Lunak Pada Proyek Tol Semarang – Demak (STA 20 + 300 – STA 20 + 500)*.
- Beni Deni Sitompul, I. (2021). *JCEBT Pengaruh Tanah Timbunan Terhadap Daya Dukung Pondasi Influence of Heap Soil on The Carrying Capacity of Square*. 5(September), 109–125.
- Budi, Heri, S. (n.d.). *mekanika tanah dasar.pdf*.
- DPR. (2017). Naskah Akademik Rancangan Undang Undang Republik Indonesia tentang Minyak dan Gas Bumi. *Naskah Akademik*, 1–257.
<http://www.dpr.go.id/dokakd/dokumen/RJ1-20170524-082813-3567.pdf>
- Gunita, D. (2015). *Implementasi Manajemen Risiko Pada Proyek Pengembangan “X” Tahap Epc PT Pertamina Ep Dengan Pendekatan Bayesian Network*. 132.
- Hardiyatmo, H. C., Teknik, J., Universitas, S., Mada, G., Sipil, T., Teknik, F., & Gadjah, U. (1992). *Mekanika Tanah 1*.
- Ishmah, H., Alvionita, V., Ibrahim, & Herius, A. (2019). Pengaruh Nilai CBR dan Kuat Geser Tanah Gambut yang di Stabilisasi Menggunakan Petrasoil dengan Semen Portland. *Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Sriwijaya*, 14(01), 1–128.
- Iverson, B. L., & Dervan, P. B. (2017). *penurunan tanah*. 7823–7830.
- Kurniawan, D. (2018). *Potensi bahan galian di provinsi jambi*.
- Listyawan, A. B., Wiqoyah, Q., Renaningsih, & Santriyana, M. R. W. (2015). Effect of Sand Column on the Consolidation of Soft Clay Soil. *Proceedings 6th International Conference on Offshore Site Investigation and Geotechnics, OSIG, London UK, 11(Maret)*, 11–13.
- Masrur, M. A. (2022). *Potensi Perkuatan Tanah Gambut dengan Penambahan Tanah Non Organik dan Semen*. 8(2), 9–18.
- Nurtjahjaningtyas, I. (2005). Pemilihan Metode Perbaikan Tanah untuk Kawasan Pantai (Studi Kasus: Di Wilayah Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya). *Media Teknik Sipil*, 5(2), 65–70.
- Panguriseng, D., & Makassar, U. M. (2018). *Dasar-dasar Teknik Perbaikan Tanah Dasar-dasar Teknik Perbaikan Tanah | i* (Issue January).
- Panguriseng, I. D. (2001). *Stabilisasi Tanah.pdf*.

Plaxis 2D. (2010). *PLAXIS Versi 8 Manual Latihan*.

Ppt. (n.d.). *Konstruksi stone column*. 1–44.

PUPR. (1992). *Perilaku Stone Column*.

Ramadhan, A. (2011). *Analisis Penggunaan Stone Column*.

Setiawan, I. (2019). *Analisis Penurunan Dan Waktu Konsolidasi Pada Perbaikan Tanah Lunak Dengan Metode Preloading Dan Prefabricated Vertical Drain Dengan Pemodelan Mohr* 13–37.

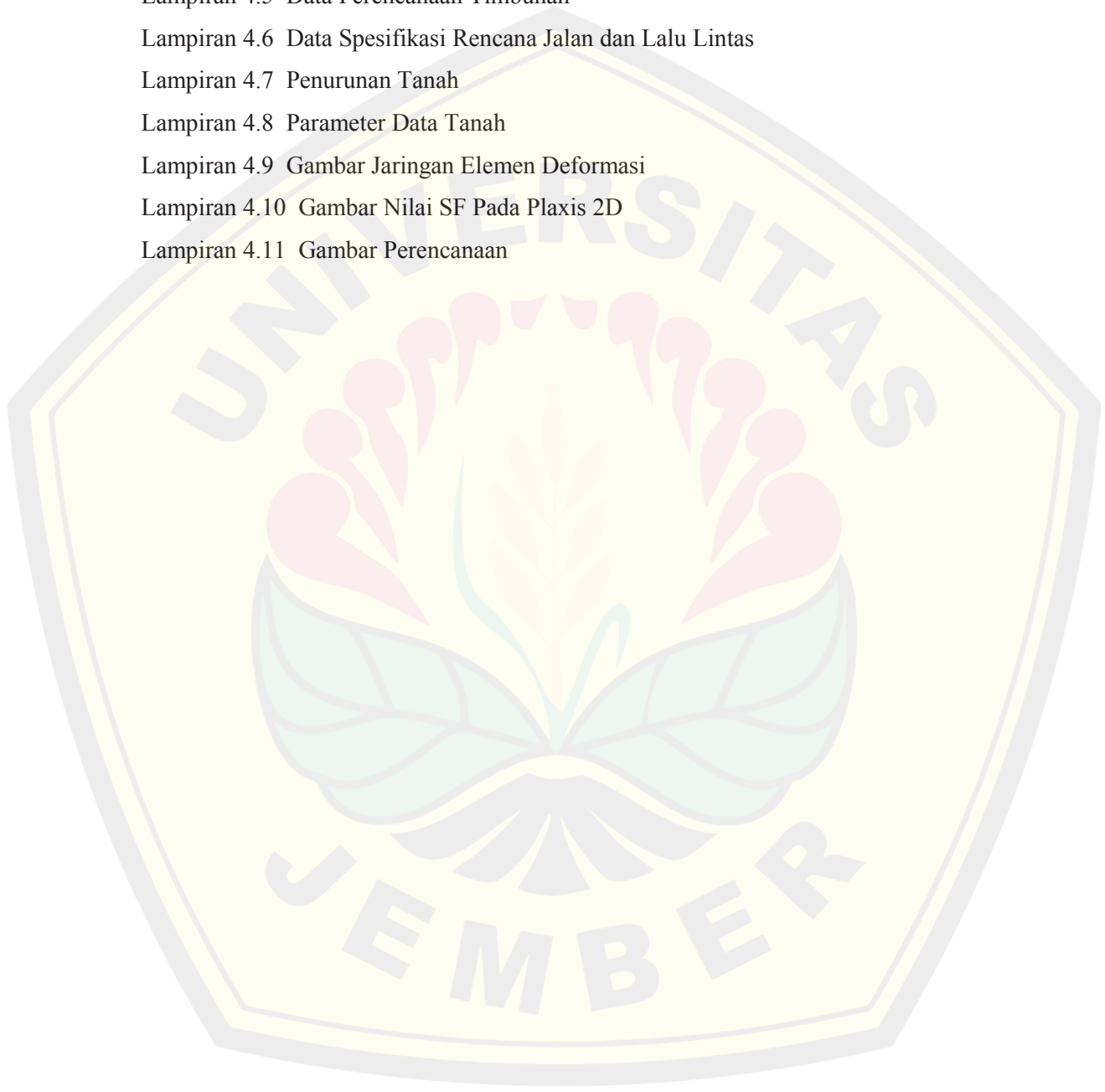
[https://dspace.uii.ac.id/handle/123456789/15259%0Ahttps://dspace.uii.ac.id/bitstream/handle/123456789/15259/05.5 bab 5.pdf?sequence=9&isAllowed=y](https://dspace.uii.ac.id/handle/123456789/15259%0Ahttps://dspace.uii.ac.id/bitstream/handle/123456789/15259/05.5%20bab%205.pdf?sequence=9&isAllowed=y)

Syahputra, D., Abni, W., Wayahdi, M. R., Hafiz, S., & Ginting, N. (2021). *Penggambaran Konstruksi Bangunan 2 Lantai dengan Archicad Berbasis Multimedia*. 1(1), 1–6.

Virginia. (1983). *DESIGN AND CONSTRUCTI.ON OF STONE COLUMNS VOL. I u.s.: Vol. I* (Issue December).

LAMPIRAN-LAMPIRAN

- Lampiran 4.1 Gambar Potongan Melintang Jalan
- Lampiran 4.2 Gambar *Layout Proyek*
- Lampiran 4.3 Data Pengujian SPT BH-01 dan BH-02
- Lampiran 4.4 Data Hasil Uji Laboratorium BH-01 dan BH-02
- Lampiran 4.5 Data Perencanaan Timbunan
- Lampiran 4.6 Data Spesifikasi Rencana Jalan dan Lalu Lintas
- Lampiran 4.7 Penurunan Tanah
- Lampiran 4.8 Parameter Data Tanah
- Lampiran 4.9 Gambar Jaringan Elemen Deformasi
- Lampiran 4.10 Gambar Nilai SF Pada Plaxis 2D
- Lampiran 4.11 Gambar Perencanaan



Lampiran

