



**PERENCANAAN PERBAIKAN TANAH LUNAK
MENGUNAKAN METODE PRELOADING DAN
*PREFABRICATED VERTICAL DRAIN (PVD)***

SKRIPSI

Oleh

**Ana Crosita Ningsih
NIM 141910301047**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2018**



**PERENCANAAN PERBAIKAN TANAH LUNAK MENGGUNAKAN
METODE PRELOADING DAN *PREFABRICATED*
VERTICAL DRAIN (PVD)**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas seminar dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Sipil (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

**Ana Crosita Ningsih
NIM 141910301047**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2018**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Ibunda Yulis Sripirmanningsih dan Ayahanda Retno Budi Susanto yang selalu memberikan kasih sayang dan dukungan baik moril maupun materiil;
2. Adikku Aprilia Kristiandani tersayang yang selalu menjadi sumber canda tawa saat sedang berkumpul bersama keluarga besar;
3. Guru – guruku sejak taman kanak – kanak sampai perguruan tinggi, yang sudah memberikan ilmu dan membimbing dengan penuh kesabaran dan ketegasan;
4. Rekan – rekan seperjuangan satu kelompok studi geoteknik Stevianus, Celia, Mbak Di, Ari, Rendra, serta Mas Ade dan Mas Tristan yang sudah lulus terima kasih atas perhatian, kerjasama, dukungan dan bantuannya selama proses asistensi dan pengerjaan penyusunan tugas akhir ini;
5. Teman – temanku Ganas'14 yang selalu aku sayangi dan banggakan terimakasih atas kurang lebih empat tahun ini sudah memberikan warna dalam hidupku selama kuliah;
6. Keluargaku Wisma Dewi Kunti *Squad* Nur, Atun, Jeva, Risa, Retno, Zizah terimakasih banyak telah membantu, menemani dan memberi dukungan selama proses pengerjaan penyusunan tugas akhir ini;
7. Almamater Fakultas Teknik Jurusan Teknik Universitas Jember.
8. Semua pihak yang turut berperan serta dalam penyelesaian tugas akhir ini yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

MOTO

Hati yang gembira adalah obat yang manjur, tetapi semangat yang patah meringkan tulang.
(Amsal 17:22)¹

Apakah kekuatanku, sehingga aku sanggup bertahan, dan apakah masa depanku, sehingga aku harus bersabar?
(Ayub 6:11)¹

Musuh yang paling berbahaya di atas dunia ini adalah penakut dan bimbang.
Teman yang paling setia, hanyalah keberanian dan keyakinan yang teguh.
(Andrew Jackson)

¹ Lembaga Alkitab Indonesia. 2008. *Alkitab dengan Kidung Jemaat*. Jakarta: Percetakan Lembaga Alkitab Indonesia.

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

nama : Ana Crosita Ningsih

NIM : 141910301047

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “Perencanaan Perbaikan Tanah Lunak Menggunakan Metode *Preloading* dan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD)” adalah benar – benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan 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 ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, April 2018

Yang menyatakan,

Ana Crosita Ningsih
NIM 141910301047

SKRIPSI

**PERENCANAAN PERBAIKAN TANAH LUNAK MENGGUNAKAN
METODE PRELOADING DAN *PREFABRICATED*
VERTICAL DRAIN (PVD)**

Oleh

Ana Crosita Ningsih
NIM 141910301047

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : M. Farid Maruf, S.T.,M.T.,Ph.D.

Dosen Pembimbing Anggota : Luthfi Amri Wicaksono, S.T.,M.T.

PENGESAHAN

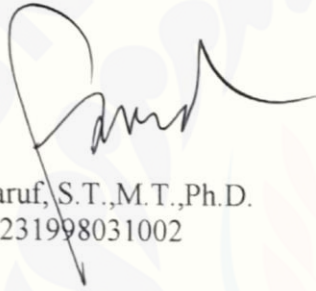
Skripsi berjudul “Perencanaan Perbaikan Tanah Lunak Menggunakan Metode *Preloading* dan *Prefabricated Vertical Drain (PVD)*” karya Ana Crosita Ningsih telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : Rabu, 18 April 2018

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji:

Pembimbing I,



M. Farid Maruf, S.T.,M.T.,Ph.D.
NIP 197212231998031002

Pembimbing II,



Lutfi Amri Wicaksono, S.T.,M.T.
NRP 760016771

Penguji I,



Dr. Gusfan Halik, S.T.,M.T.
NIP 197108041998031002

Penguji II,



Paksitya Purnama Putra, S.T.,M.T.
NRP 760016798

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik,
Universitas Jember



Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM
NIP 196612151995032002

RINGKASAN

Perencanaan Perbaikan Tanah Lunak Menggunakan Metode *Preloading* dan *Prefabricated Vertical Drain (PVD)*; Ana Crosita Ningsih, 141910301047; 2018: 60 halaman; Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember.

Wilayah pesisir pantai utara Jawa, khususnya Gresik dan sekitarnya merupakan daerah dengan kandungan tanah berupa *alluvium* yang terdiri dari batu kerikil/koral, pasir, tanah lempung dan pecahan kulit kerang. Kondisi tanah dasar yang sangat lunak menyebabkan penurunan tanah (*settlement*) dan mengakibatkan level muka air tanah menjadi lebih tinggi dari daratan. Sehingga perlu adanya kegiatan reklamasi agar area tersebut bisa dijadikan lahan bangunan, pabrik, pelabuhan dan lain sebagainya. Supaya permasalahan *settlement* pada lahan reklamasi dapat diatasi, maka perlu dilakukan metode perbaikan tanah.

Tugas akhir ini membahas perencanaan tinggi timbunan awal akibat *settlement*, perencanaan perbaikan tanah untuk mempercepat pemampatan dengan kombinasi sistem *preloading* dan PVD, serta membandingkan hasil prediksi perhitungan dengan hasil data lapangan/*monitoring*.

Pada perencanaan metode perbaikan tanah dengan kombinasi sistem *preloading* dan PVD, tebal penimbunan untuk sistem *preloading* adalah 50 cm perminggu. PVD dipancang sedalam 25 m dengan pola pemasangan segitiga dan jarak antar PVD sebesar 1,3 m. Pada pemasangan PVD, waktu konsolidasi untuk mencapai derajat konsolidasi (U) 95% adalah 16 minggu. Timbunan awal untuk beban *preloading* setinggi 3,5 m yang mengakibatkan terjadinya penurunan primer sebesar 1,928 m. Beban bangunan yang direncanakan adalah 1 t/m^2 dan besar penurunan yang terjadi adalah 0,569 m.

SUMMARY

Planning of Soft Soil Improvement with Preloading and Prefabricated Vertical Drain Method; Ana Crosita Ningsih, 141910301047; 2018: 60 pages; the Civil Engineering Department, the Faculty of Engineering, Jember University.

The northern coastal areas of Java, especially Gresik and surrounding areas are areas with alluvium soils consisting of gravel / coral, sand, clay soil and shells. The conditions of very soft soil base cause land subsidence (settlement) and result in higher groundwater level from mainland. So, the area need for reclamation activities can be used as building land, factory, port and so forth. In order for settlement problems on reclamation land to be overcome, soil improvement methods are needed.

This final project aims to plans the high initial of embankment due to the soil settlement, soil improvement plans with a combination of preloading systems and PVD to accelerate the consolidation time, and compare the result settlement calculations with monitoring data.

In the term of soil improvement method by preloading and PVD system combination, the thickness of accumulation for preloading system is 50 cm per week. The PVD is to be driven until 25 m depth with a triangular pattern and spacing 1,3 m. In the PVD installation plan, consolidation time to achieve the degree of consolidation (U) 95% is 16 weeks. The initial embankment for 3.5 m resulted in a primary decline of 1.928 m. The planned construction load is $1 \text{ t} / \text{m}^2$ and the decrease is 0.569 m.

PRAKATA

Puji Syukur ke hadirat Tuhan YME atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Perencanaan Perbaikan Tanah Lunak Menggunakan Metode *Preloadng* dan *Prefabricated Drain* (PVD). Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. M. Farid Maruf, S.T.,M.T.,Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Utama dan Luthfi Amri Wicaksono, S.T.,M.T., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
2. Ibu Wiwik Yunarni Widiarti, S.T.,M.T., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing selama penulis menjadi mahasiswa;
3. Bapak Retno Budi Susanto dan Ibu Yulis Sripirmaningsih sekeluarga yang telah memberikan dorongan dan doanya demi terselesaikannya tugas akhir ini;
4. semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis juga menerima kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, April 2018

Penulis

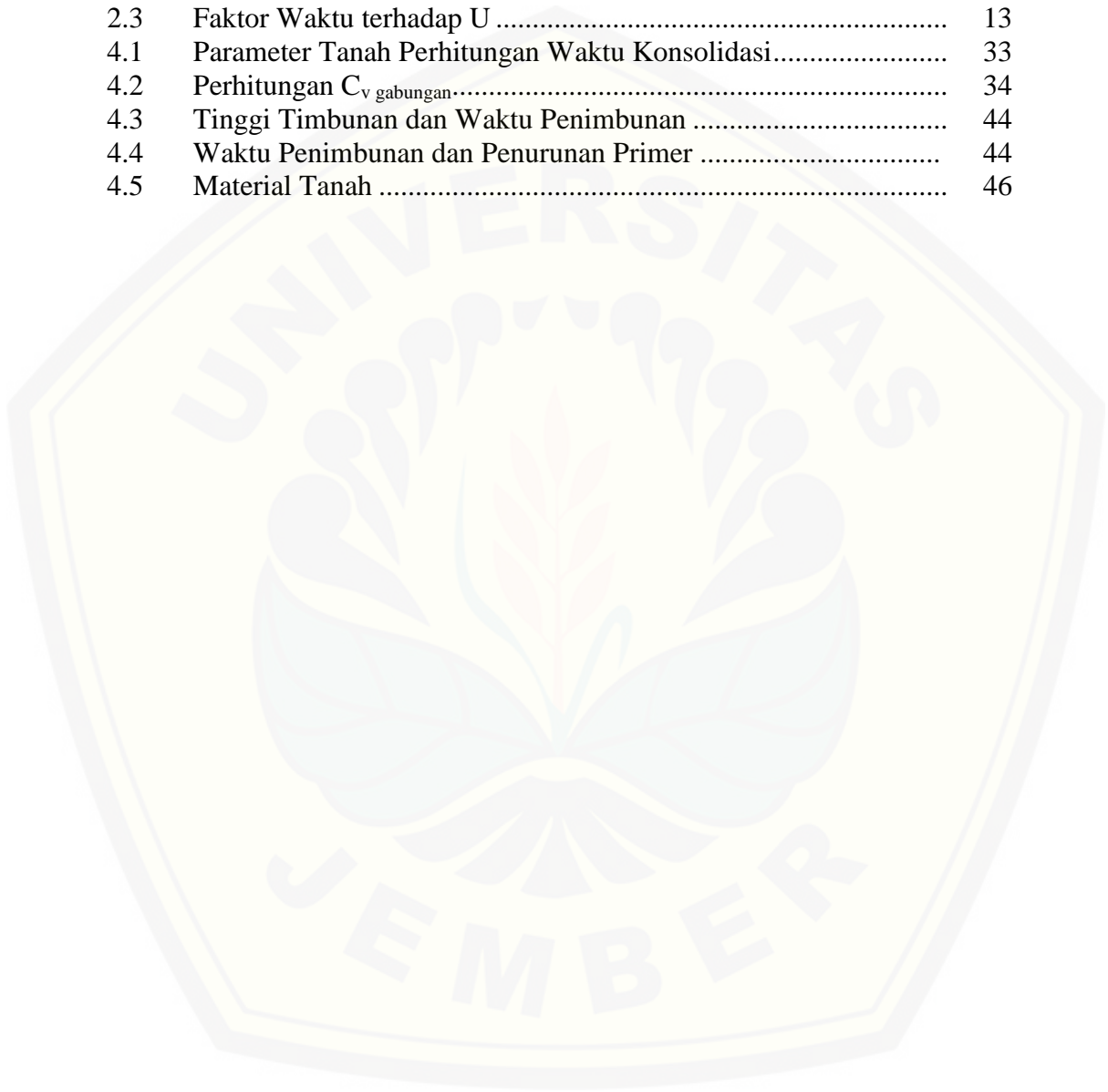
DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	iii
HALAMAN MOTO.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN.....	v
HALAMAN PEMBIMBINGAN.....	vi
HALAMAN PENGESAHAN.....	vii
RINGKASAN/SUMMARY.....	viii
PRAKATA.....	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB 1. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Sistematika Penulisan.....	2
BAB 2. LANDASAN TEORI.....	4
2.1 Karakteristik Tanah Lunak.....	4
2.2 Konsolidasi Tanah.....	5
2.3 Penurunan Tanah.....	6
2.3.1 Penurunan Segera/ <i>Immediate Settlement</i> (S_i).....	7
2.3.2 Penurunan Konsolidasi/ <i>Consolidation Settlement</i> (S_c).....	8
2.3.3 Parameter Tanah untuk Perhitungan <i>Consolidation Settlement</i> (S_c).....	9
2.4 Waktu Penurunan Konsolidasi.....	12
2.4.1 Besar Waktu Penurunan Konsolidasi.....	12
2.4.2 Parameter Waktu Penurunan Konsolidasi.....	12
2.5 Teori Perencanaan <i>Vertical Drain</i>.....	14
2.5.1 Menentukan Kedalaman <i>Vertical Drain</i>	14
2.5.2 Menentukan Waktu Konsolidasi Akibat <i>Vertical Drain</i>	15
2.5.3 Menghitung Derajat Konsolidasi Rata – rata.....	17
2.6 Teori <i>Preloading</i>.....	17
2.6.1 Penentuan Tinggi Kritis (H_{cr}).....	18
2.6.2 Peningkatan Daya Dukung Tanah.....	19
2.7 Analisa Metode Numerik.....	20

BAB 3. METODOLOGI	21
3.1 Lokasi Perencanaan	21
3.2 Waktu Perencanaan	22
3.3 Kerangka Perencanaan	22
3.4 Tahapan Perencanaan	23
3.4.1 Studi Literatur.....	23
3.4.2 Pengumpulan dan Analisa Data.....	24
3.4.3 Perencanaan Geoteknik	24
3.4.4 Pembuatan Model Numerik Program Plaxis 8.6 2D	25
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1 Perhitungan Pemampatan Tanah	29
4.1.1 Variasi Beban Timbunan	29
4.1.2 Besar Pemampatan Akibat Beban Timbunan.....	30
4.2 Perhitungan Waktu Penurunan	33
4.3 Perencanaan <i>Prefabricated Vertical Drain</i> (PVD)	34
4.3.1 Perhitungan Derajat Konsolidasi Vertikal (U_v).....	35
4.3.2 Perhitungan Derajat Konsolidasi Horizontal (U_h)....	35
4.3.3 Perhitungan Derajat Konsolidasi Rata – rata (\bar{U})	36
4.4 Perencanaan Perbaikan Tanah	38
4.5 Analisa Model Numerik dengan Plaxis 8.6 2D	46
4.6 Metode Pelaksanaan	54
4.6.1 Pekerjaan Persiapan.....	54
4.6.2 Pekerjaan Timbunan.....	54
4.6.3 Pekerjaan <i>Prefabricated Vertical Drain</i> (PVD).....	54
4.6.4 Pekerjaan <i>Preloading</i>	56
4.6.5 Instrumentasi Geoteknik.....	56
BAB 5. KESIMPULAN	60
DAFTAR PUSTAKA	61
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Nilai Modulus Young dan Koefisien Poisson	7
2.2 Hubungan N-SPT terhadap Konsistensi Tanah Lempung	9
2.3 Faktor Waktu terhadap U	13
4.1 Parameter Tanah Perhitungan Waktu Konsolidasi.....	33
4.2 Perhitungan C_v gabungan.....	34
4.3 Tinggi Timbunan dan Waktu Penimbunan	44
4.4 Waktu Penimbunan dan Penurunan Primer	44
4.5 Material Tanah	46

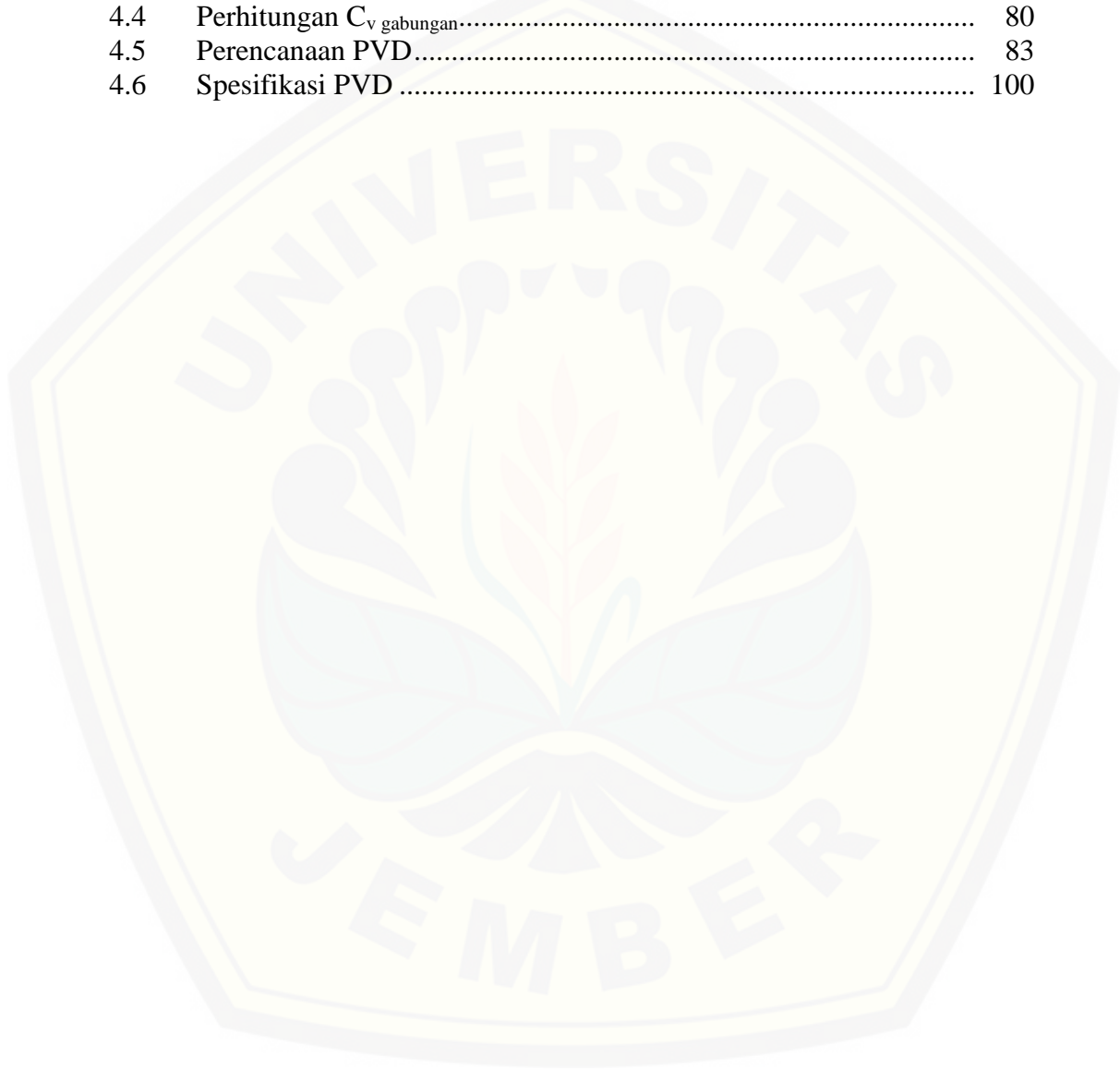


DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Hubungan Waktu – Penurunan Selama Konsolidasi untuk Suatu Penambahan Beban yang Diberikan	5
2.2 Grafik untuk Menentukan Faktor Pengaruh pada Beban Trapesium.....	11
2.3 Pemasangan <i>Vertical Drain</i> pada Tanah yang <i>Compressible</i>	15
2.4 Pola Pemasangan PVD.....	16
2.5 Diameter Ekuivalensi untuk PVD	16
2.6 Prinsip Pembebanan <i>Preloading</i> pada Pemampatan Tanah dengan Beban Awal $p_{f+s} > p_f$	18
3.1 Lokasi Perencanaan.....	21
3.2 Lokasi Proyek.....	21
3.3 Kerangka Alir Perencanaan.....	23
3.4 Tampilan Menu Pengaturan Global pada Plaxis	25
3.5 Pengaturan Material Tanah Dasar	26
3.6 Ilustrasi Tahapan <i>Initial Condition</i>	27
3.7 Tahapan Perhitungan.....	28
4.1 Area Proyek.....	30
4.2 Steksa Timbunan	31
4.3 Grafik Hubungan Penambahan Tegangan dengan Kedalaman.....	32
4.4 Grafik Hubungan Derajat Konsolidasi dengan Waktu.....	37
4.5 Grafik Hubungan Tinggi Timbunan dengan Waktu Penimbunan...	45
4.6 Grafik Hubungan Penurunan Primer dengan Waktu Penimbunan..	45
4.7 Analisa Plaxis terhadap Deformasi Lapisan Tanah.....	47
4.8 Model Geometri Timbunan	48
4.9 Kondisi Awal.....	49
4.10 Penimbunan Tahap 1	50
4.11 Penimbunan Tahap 2	51
4.12 Hasil Perhitungan Penimbunan Total.....	52
4.13 Grafik Hasil Perbandingan Penurunan	53
4.14 <i>Marking Point</i> Pola Segitiga	54
4.15 Proses Pemancangan PVD	55
4.16 Kombinasi PVD dengan <i>Preloading</i>	56
4.17 Instrument <i>Inclinometer</i>	57
4.18 Instrument <i>Inclinometer</i>	58
4.19 Instrument <i>Settlement Plate</i>	59

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
4.1 Data Pengujian Boring Log.....	63
4.2 Data Analisa Parameter Tanah.....	65
4.3 Pemampatan Tanah dengan Variasi Beban Timbunan.....	71
4.4 Perhitungan C_v gabungan.....	80
4.5 Perencanaan PVD.....	83
4.6 Spesifikasi PVD	100



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Keberadaan tanah dalam bidang konstruksi mempunyai peranan yang cukup penting karena sebagai pijakan suatu infrastruktur. Peranan ini mengharuskan kondisi tanah yang benar – benar baik agar bisa digunakan untuk kegiatan konstruksi. Keberadaan tanah di Indonesia tidak sama untuk tiap wilayahnya, terutama daerah pantai utara Jawa yang kondisi daratan berupa material tanah lunak. Tanah lunak selalu menjadi permasalahan sebelum memulai kegiatan pembangunan karena sifat tanahnya yang berdaya dukung rendah dan menyebabkan penurunan tanah apabila diberi beban bangunan di atasnya.

Bowles (1991), mengatakan apabila tanah yang terdapat dilapangan mempunyai sifat – sifat yang tidak diinginkan seperti sangat lunak, *compressible*, kembang susut yang besar sehingga diatas tanah tersebut tidak dapat didirikan suatu konstruksi bangunan, maka untuk memperbaiki sifat tanah tersebut agar dapat dipakai dengan baik sebagai pendukung kostruksi diatasnya adalah dengan stabilisasi tanah. Stabilisasi tanah dapat dilakukan dengan cara menambah kerapatan tanah, menambah material yang tidak aktif, sehingga mempertinggi kohesi dan tahanan geser yang timbul, merendahkan muka air (*drainase*) dan mengganti tanah – tanah yang buruk.

Metode umum yang sering di gunakan dalam mengatasi penurunan tanah adalah dengan pra – pembebanan (*preloading*). Caranya dengan memberi beban sementara di atas tanah lunak bisa berupa pasir, kerikil, atau campuran keduanya yang selanjutnya diambil kembali jika di rasa penurunan sudah cukup. Namun metode ini kurang efektif perlu adanya percepatan terhadap waktu konsolidasinya. Hal ini bisa di padukan dengan menggunakan *vertical drain* material yang digunakan adalah *Prefabricated Vertical Drain* (PVD).

Keberadaan PVD saat ini cukup populer dalam mengatasi tanah lunak, seperti pada beberapa jurnal tentang studi kasus timbunan Bontang, Kalimantan Timur (2012) dan proyek pengembangan Bandara Ahmad Yani, Semarang (2016).

Pada tugas akhir ini akan merencanakan metode perbaikan tanah lunak menggunakan kombinasi *preloading* dan PVD, serta membandingkan hasil *monitoring* dengan pemodelan metode numerik.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang akan dibahas yaitu perencanaan perbaikan tanah lunak pada wilayah Gresik menggunakan metode kombinasi *preloading* dan PVD, yang berfungsi untuk mempercepat penurunan tanah.

1.3 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini, adalah untuk:

1. merencanakan perbaikan tanah menggunakan *preloading* dan PVD;
2. membandingkan hasil prediksi perhitungan dengan hasil data lapangan (*monitoring*).

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

- 1.4.1 Perbaikan tanah menggunakan *preloading* dan dikombinasi dengan PVD
- 1.4.2 Pola pemasangan PVD menggunakan pola segitiga atau persegi
- 1.4.3 Lokasi perencanaan terdapat di salah satu wilayah Gresik, Jawa Timur

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan adalah sebagai berikut:

- Bab I : Pendahuluan, berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, sistematika penulisan.
- Bab II : Landasan teori, berisi tentang karakteristik tanah lunak, konsolidasi tanah, pemampatan, waktu konsolidasi, *preloading*, perencanaan *vertical drain*, stabilitas timbunan.
- Bab III : Metodologi, berisi tentang lokasi dan waktu perencanaan, kerangka perencanaan, tahapan perencanaan, dan kesimpulan.

Bab IV : Hasil dan pembahasan berisi tentang perhitungan pemampatan tanah, perencanaan PVD, perencanaan perbaikan tanah, membandingkan perhitungan metode numerik dengan hasil monitoring di lapangan.

Bab V : Kesimpulan, berisi kesimpulan dari hasil perencanaan.



BAB 2. LANDASAN TEORI

2.1 Karakteristik Tanah Lunak

Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral – mineral padat yang tidak tersedimentasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan – bahan organik yang melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang – ruang kosong di antara partikel – partikel padat tersebut. Menurut K. Terzaghi, tanah terdiri dari butiran-butiran material hasil pelapukan massa batuan *massive*, dimana ukuran butirannya bisa sebesar bongkahan, berangka, kerikil, pasir, lanau, lempung, dan kontak butirnya tidak tersementasi termasuk bahan organik.

Lapisan tanah yang disebut sebagai lapisan tanah yang lunak adalah lempung (*clay*) atau lanau (*silt*) yang mempunyai harga penetrasi standar (SPT) N yang lebih kecil dari 4; atau tanah organik seperti gambut yang mempunyai kadar air alamiah yang sangat tinggi. Tanah lempung merupakan jenis tanah berbutir halus dengan ukurannya $< 2\mu$ atau $< 5 \mu$ (Mochtar 1988). Tanah lempung merupakan tanah kohesif yang memiliki:

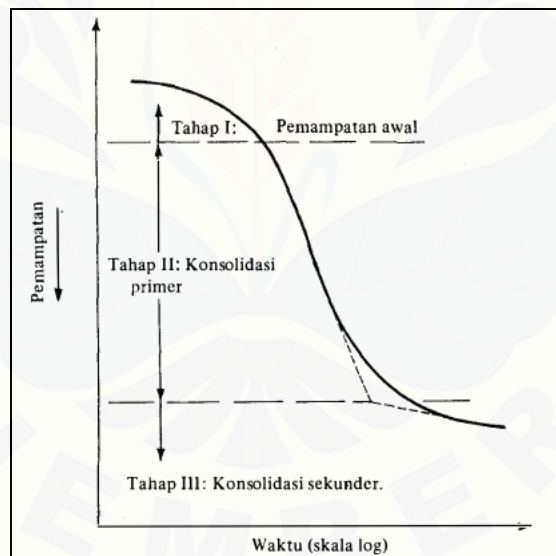
1. Nilai kadar air berkisar antara 30% – 50 % pada kondisi jenuh air.
2. Angka pori berkisar antara 0.9 sampai dengan 1.4 (Braja M.Das, 1985).
3. Berat volume berkisar antara 0.9 t/m^3 sampai dengan 1.25 t/m^3 (Braja M.Das, 1985) .
4. *Spesific Gravity* rata-rata berkisar antara 2.70 sampai dengan 2.90.

Tanah lempung memiliki gaya geser yang kecil, kemampuan yang besar, dan koefisien permeabilitas yang kecil. Nilai kekuatan geser tanah lempung lembek ditentukan dari ikatan butiran antar partikel tanah. Tanah lempung lembek merupakan tanah lunak yang mempunyai kadar air yang bervariasi. Apabila tanah lempung lembek diberi beban melampaui daya dukung kritisnya, maka secara langsung akan terjadi pemampatan pada rongga antar partikel tanah dalam jangka waktu yang cukup lama.

Dari permasalahan di atas, secara teknis tanah lempung bersifat kurang menguntungkan untuk mendukung suatu pekerjaan konstruksi. Hal ini seringkali menjadi kendala dalam pelaksanaan suatu pekerjaan konstruksi. Salah satu metode untuk mengatasi masalah tersebut adalah dengan menggunakan sistem *preloading* yang dikombinasikan dengan PVD. Kombinasi sistem ini bertujuan untuk memperpendek waktu pemampatan tanah lempung.

2.2 Konsolidasi Tanah

Konsolidasi tanah adalah suatu proses pengecilan volume secara perlahan-lahan pada tanah jenuh sempurna dengan permeabilitas rendah akibat pengaliran sebagian air pori. Proses tersebut berlangsung terus sampai kelebihan tegangan air pori yang disebabkan oleh kenaikan tegangan total telah benar-benar hilang. (Craig, 1994:213). Pada umumnya, tahapan konsolidasi dapat ditunjukkan oleh grafik hubungan antara penurunan dan waktu.



Gambar 2.1 Hubungan Waktu – Penurunan Selama Konsolidasi untuk Suatu Penambahan Beban yang Diberikan (Sumber: Das, B.M, 1994: 184)

Dari gambar dapat dilihat bahwa ada tiga tahapan yang berbeda yang dapat dijalankan :

Tahap I: Penurunan awal (*initial compression*), dimana terjadi penurunan dengan segera sesudah beban bekerja, penurunan ini terjadi akibat proses penekanan udara keluar dari dalam pori tanah.

Tahap II: Konsolidasi primer (*primary consolidation*), yaitu periode selama tegangan air pori secara lambat laun dipindahkan ke dalam tegangan efektif, sebagai akibat dari keluarnya air dari pori-pori tanah.

Tahap III: Konsolidasi sekunder (*secondary consolidation*), yaitu terjadi setelah tegangan air pori hilang seluruhnya. Penurunan yang terjadi adalah disebabkan oleh penyesuaian yang bersifat plastis dari butir-butir tanah setelah konsolidasi primer.

2.3 Penurunan Tanah

Penurunan (*settlement*) pada tanah dasar akan terjadi apabila tanah dasar tersebut menerima penambahan beban di atasnya. Penurunan tersebut disebabkan oleh adanya deformasi partikel tanah, relokasi partikel, dan keluarnya air atau udara dari dalam pori. Pada umumnya, penurunan pada tanah yang disebabkan oleh pembebanan dapat dibagi dalam dua kelompok besar; yaitu:

1. Penurunan segera/ *immediate settlement*, merupakan penurunan akibat perubahan elastis dari tanah kering, basah, dan jenuh air, tanpa adanya perubahan kadar air. Perhitungan *immediate settlement* ini umumnya didasarkan pada teori elastisitas.
2. Penurunan konsolidasi/ *consolidation settlement*, merupakan penurunan yang disebabkan oleh keluarnya air dari pori-pori di dalam tanah. Penurunan konsolidasi dibagi lagi menjadi dua bagian, yaitu: konsolidasi primer dan konsolidasi sekunder.

Besarnya amplitudo/ penurunan tanah total menurut Das (1985) adalah:

$$S_t = S_i + S_{cp} + S_{cs} + S_{lat} \quad [2.1]$$

Dimana:

S_t = total *settlement*

S_i = *immediate settlement*

S_{cp} = *consolidation primer settlement*

S_{cs} = *consolidation secondary settlement*

S_{lat} = *settlement* akibat pergerakan tanah arah lateral.

2.3.1 Penurunan Segera/ *Immediate Settlement* (S_i)

Menurut Biarez (1998) menyajikan metode perhitungan besarnya penurunan tanah segera (*short term condition*) dari suatu lapisan tanah ditentukan dengan persamaan:

$$S_i = q \sum \frac{h_i}{E'_1} \quad [2.2]$$

Dimana:

S_i = penurunan segera (m)

Q = tegangan yang bekerja pada permukaan tanah

h_i = tebal lapisan tanah ke-i (m)

E'_1 = modulus elastis Oedometrik di lapisan ke-i (t/m^2)

Korelasi antara modulus Young dengan modulus Oedometrik dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$E = E' \left(1 - \frac{2\mu^2}{1 - \mu} \right) \quad [2.3]$$

Dimana :

E = nilai modulus Young

E' = nilai modulus Oedometrik

μ = nilai koefisien Poisson

Tabel 2.1 Nilai Modulus Young dan Koefisien Poisson

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

Sumber: Bowles, 1991

2.3.2 Penurunan Konsolidasi/ *Consolidation Settlement* (S_c)

Penurunan konsolidasi masih dapat dibagi lagi menjadi dua, yakni:

1. Penurunan akibat konsolidasi primer/ *consolidation primer settlement* (S_{cp}), merupakan pemampatan akibat perubahan volume tanah jenuh air sebagai akibat dari keluarnya air dari pori-pori tanah.
2. Penurunan akibat konsolidasi sekunder/ *consolidation secondary settlement* (S_{cs}), merupakan pemampatan yang diakibatkan oleh adanya penyesuaian yang bersifat plastis dari butir-butir tanah.

Dalam Das (1985), *settlement* akibat konsolidasi tanah dasar dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

- Untuk tanah terkonsolidasi normal (NC-*soil*)

$$S_{c\sim} = \frac{H}{1+e_o} \left[C_c \log \left(\frac{\sigma_o' + \Delta\sigma}{\sigma_o'} \right) \right] \quad [2.4]$$

- Untuk tanah terkonsolidasi lebih (OC-*soil*)

Bila $(\sigma_o' + \Delta\sigma) \leq \sigma_c'$

$$S_{c\sim} = \frac{H}{1+e_o} \left[C_s \log \left(\frac{\sigma_o' + \Delta\sigma}{\sigma_o'} \right) \right] \quad [2.5]$$

Bila $(\sigma_o' + \Delta\sigma) > \sigma_c'$

$$S_{c\sim} = \left[\frac{H}{1+e_o} C_s \log \frac{\sigma_c'}{\sigma_o'} \right] + \left[\frac{H}{1+e_o} C_c \log \frac{\sigma_o' + \Delta\sigma}{\sigma_c'} \right] \quad [2.6]$$

Dimana :

S_c = pemampatan konsolidasi pada lapisan tanah yang ditinjau

H = tebal lapisan tanah *compressible*

e_o = angka pori awal (*initial void ratio*)

C_c = indeks kompresi

C_s = indeks mengembang

$\Delta\sigma$ = beban surcharge / penambahan tegangan vertikal di titik yang di tinjau (di tengah – tengah lapisan) akibat penambahan beban.

σ_o' = tekanan tanah vertikal efektif dari suatu titik di tengah – tengah lapisan ke-i akibat beban tanah sendiri di atas titik tersebut di lapangan (*effective overburden pressure*).

σ_c' = tegangan konsolidasi efektif dari suatu titik di masa lampau (*effective past overburden pressure*).

2.3.3 Parameter Tanah untuk Perhitungan *Consolidation Settlement* (S_c)

Menurut Das (1985) berikut adalah cara menentukan parameter-parameter tanah yang akan digunakan dalam perhitungan *consolidation settlement*:

1. Tebal lapisan *compressible*

Tebal lapisan *compressible* (H) yang diperhitungkan adalah yang masih bisa mengalami konsolidasi primer (N-SPT < 10). Karena apabila nilai N-SPT > 10 umumnya dapat dianggap sudah tidak mengalami konsolidasi primer sehingga tidak perlu diperhitungkan lagi sebagai tebal lapisan *compressible* (H).

Tabel 2.2 Hubungan N-SPT terhadap Konsistensi Tanah Lempung

Consistency	Unconfined Compression Strength, q_u KN/m ²	N-SPT (blows per ft)	Saturated Unit Weight, KN/m ³
Very Soft	0 - 25	0 - 2	< 16
Soft	25 - 50	2 - 4	16 - 19
Medium	50 - 100	4 - 8	17 - 20
Stiff	100 - 200	8 - 15	18 - 20
Very Stiff	200 - 400	15 - 30	19 - 22
Hard	> 400	> 30	> 20

(Sumber : Terzaghi & Peck, 1967)

2. Beban atau *surchage*

Surchage yang dimaksud adalah besarnya beban yang bekerja di atas permukaan tanah asli (*compressible soil*) dalam satuan tegangan. Persamaan yang digunakan ditentukan dari distribusi tegangan tanah yang dialami.

$$P_o = \gamma_{tanah} \times H \quad [2.7]$$

Dimana :

γ_{tanah} = berat volume tanah (t/m^3)

H = tebal lapisan tanah

Bila tanah terendam air, maka yang digunakan adalah harga berat volume tanah efektif ($\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$) dimana γ_{sat} adalah berat isi jenuh dan γ_w adalah berat volume air.

3. Distribusi tegangan tanah (ΔP)

ΔP ini didistribusikan oleh masa tanah dimana semakin dalam lapisan tanah maka pengaruh ΔP yang diterima sedikit. Parameter ini dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\Delta P = I \times q_o \quad [2.7]$$

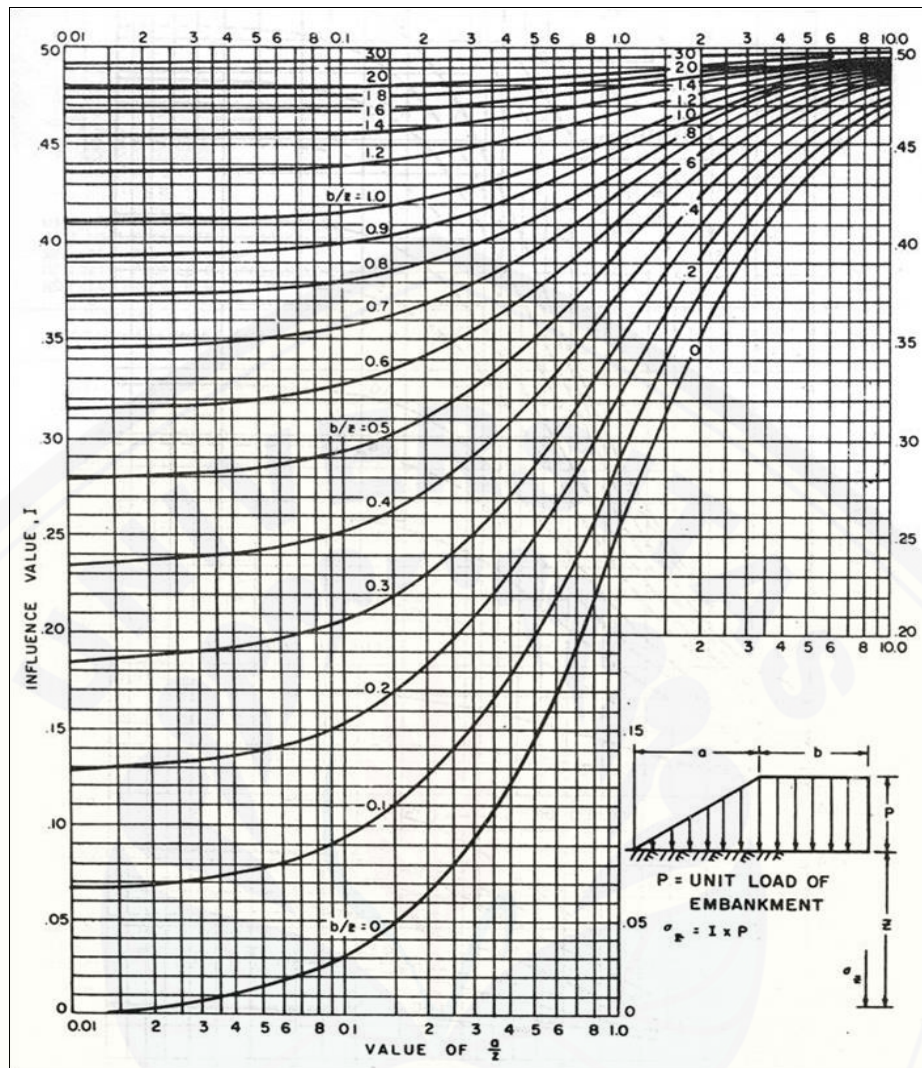
Dimana:

I = faktor pengaruh

q_o = beban terbagi rata di atas (t/m^2)

4. Koefisien pengaruh I

Berdasarkan grafik Osterberg (Gambar 2.2) besarnya nilai koefisien pengaruh I untuk perhitungan besarnya tegangan vertikal (Δp) yang diterima oleh suatu titik tinjau tertentu dipengaruhi oleh a, b, dan z yang merupakan karakteristik geometrik dan bentuk timbunan reklamasi dan kedalaman titik tinjau. Adapun grafik Osterberg tersebut adalah sebagai berikut:



Gambar 2.2 Grafik untuk Menentukan Faktor Pengaruh pada Beban Trapesium (Sumber: NAVFAC DM-7, 1971)

5. *Compressible* dan *Swelling Index*

Harga *compression index* (C_c) dan *swelling index* (C_s) diperoleh dari hasil tes laboratorium (*consolidation test*).

6. Angka pori (*initial void ratio*)

Angka pori awal (e_0) diperoleh dari hasil tes laboratorium (*Volumetric* dan *Gravimetric*).

7. Tegangan *overburden* efektif (p_0')

Overburden pressure effective (p_0') adalah tegangan vertikal efektif dari tanah asli. Dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$p_o' = \gamma' x h \quad [2.9]$$

Dimana:

$\gamma' = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_{\text{air}}$ (bila berada dibawah permukaan air tanah)

h = setengah dari lapisan lempung yang diperhitungkan.

2.4 Waktu Penurunan Konsolidasi

2.4.1 Besar Waktu Penurunan Konsolidasi

Waktu penurunan merupakan parameter penting dalam memprediksi penurunan konsolidasi. Hal yang mempengaruhi waktu penurunan adalah panjang lintasan yang dilalui air pori untuk terdisipasi, pada tanah umumnya aliran disipasi air pori berlebih terjadi pada arah vertikal. Karena permeabilitas tanah lempung kecil maka konsolidasi akan selesai setelah jangka waktu yang lama, bisa lebih lama dari umur rencana konstruksi. Menurut Terzaghi dalam Das (1990), lama waktu konsolidasi (t) dapat dicari dengan persamaan berikut:

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

Dimana:

t = waktu konsolidasi (detik)

T_v = faktor waktu

H_{dr} = panjang aliran air/ *drainage* terpanjang (cm)

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

2.4.2 Parameter Waktu Penurunan Konsolidasi

a. Faktor Waktu

Faktor waktu (T_v) merupakan fungsi dari derajat konsolidasi ($U\%$) dan bentuk dari distribusi tegangan air pori di dalam tanah. Untuk tegangan air pori yang homogen hubungan T_v dan U dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.3 Faktor Waktu terhadap 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	∞

Sumber: Das (1985)

b. Panjang Aliran *Drainage*

Jika tebal lapisan *compressible* adalah H, maka panjang aliran drainage adalah H_{dr} , dimana:

$H_{dr} = \frac{1}{2} H$, bila arah aliran air selama proses konsolidasi adalah dua arah (ke atas dan ke bawah) / *double drainage*

$H_{dr} = H$, bila arah drainage adalah satu arah (ke atas atau ke bawah) / *single drainage*. Hal ini terjadi bila di atas atau di bawah lapisan *compressible* merupakan lapisan yang kedap air.

c. Koefisien Konsolidasi Vertikal (C_v)

Koefisien konsolidasi vertikal (C_v) menentukan kecepatan pengaliran air pada arah vertikal dalam tanah. Karena pada umumnya konsolidasi berlangsung satu arah saja (arah vertikal), maka koefisien konsolidasi sangat berpengaruh terhadap kecepatan konsolidasi yang akan terjadi. Harga C_v dapat di cari menggunakan persamaan 2.11. Menurut Terzaghi dalam Das (1985), apabila lapisan tanah homogen dan mempunyai beberapa nilai C_v , maka harga $C_{v \text{ rata-rata}}$ dapat ditentukan dengan persamaan 2.12.

$$C_v = \frac{T_v H^2}{t} \quad [2.11]$$

Dimana:

C_v = koefisien konsolidasi vertikal ($m^2/tahun$)

H = tebal lapisan *compressible* (m)

T_v = faktor waktu tergantung dari derajat konsolidasi (U)

t = waktu untuk mencapai derajat konsolidasi U% (tahun)

$$C_{v_{rata-rata}} = \frac{H}{\frac{H_1}{C_{v_1}} + \frac{H_2}{C_{v_2}} + \dots + \frac{H_i}{C_{v_i}}} \quad [2.12]$$

Dimana:

C_{v_i} = koefisien konsolidasi vertikal lapisan ke-i ($m^2/tahun$)

H = tebal lapisan *compressible* (m)

H_i = tebal lapisan *compressible* ke-i (m)

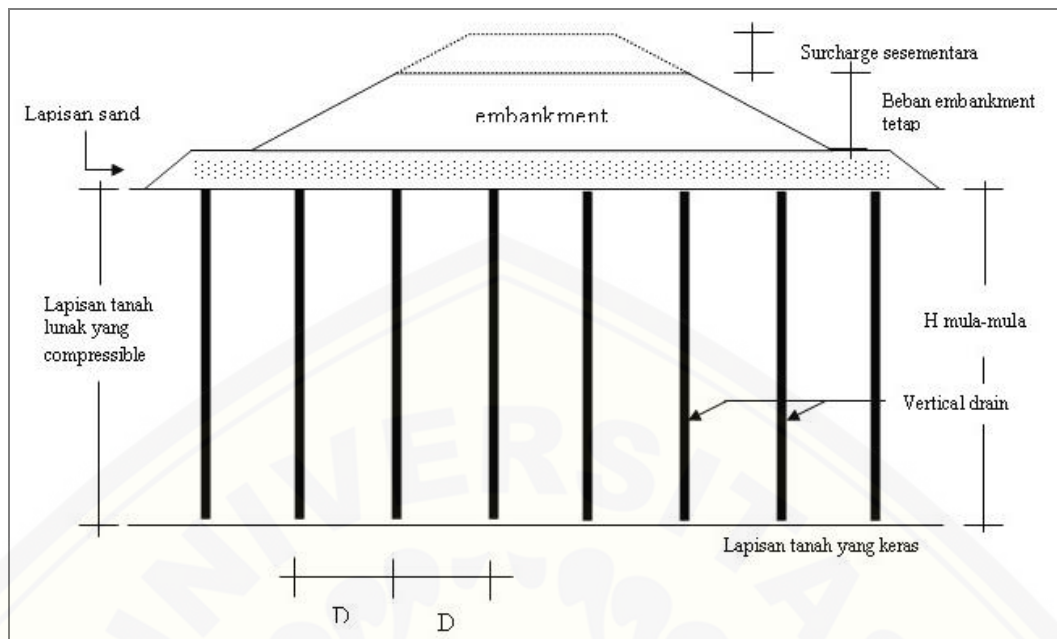
2.5 Teori Perencanaan *Vertical Drain*

Pada tanah lempung yang mengalami waktu konsolidasi sangat lama diperlukan suatu sistem untuk mempercepat proses konsolidasi. Pada umumnya, percepatan konsolidasi dilakukan dengan memasang tiang-tiang vertikal yang mudah mengalirkan air (*vertical drain*).

Vertical drain yang mudah mengalirkan air biasanya berupa *sand drain*/tiang pasir atau dari bahan geosintetis yang dikenal dengan "*wick drain*" atau juga dikenal sebagai *Prefabricated Vertical Drain* (PVD). Pada umumnya PVD banyak digunakan karena kemudahan dalam pemasangan di lapangan. Tiang-tiang atau lubang-lubang tersebut "dipasang" di dalam tanah pada jarak tertentu sehingga memperpendek jarak aliran drainase air pori (*drainage path*). (Mochtar, 2000).

2.5.1 Menentukan Kedalaman *Vertical Drain*

Vertical drain perlu dipasang untuk mengatasi penurunan akibat konsolidasi tanah yaitu hingga kedalaman tanah *compressible* dengan nilai N-SPT 10. Sketsa pemasangan *vertical drain* dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Pemasangan Vertikal Drain pada tanah yang *compressible* (Sumber: Mochtar 2000)

2.5.2 Menentukan Waktu Konsolidasi Akibat *Vertical Drain*

Perhitungan penentuan waktu penurunan tanah dasar dengan menggunakan PVD menurut Baron (1948) dengan teori aliran pasir vertikal, menggunakan asumsi teori Terzaghi tentang konsolidasi linier satu dimensi :

$$t = \frac{D^2}{8xCh} x 2F(n) x \ln \frac{1}{1-U_h} \quad [2.16]$$

Dimana;

t = waktu penyelesaian konsolidasi primer (tahun)

D = diameter lingkaran daerah pengaruh dari PVD (m)

D = 1,13 x jarak PVD (pola segiempat), Gambar 2.5(a)

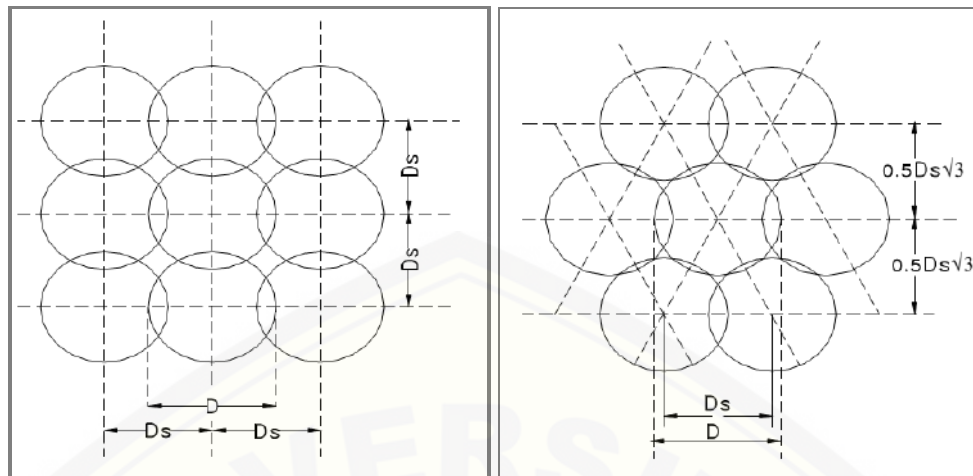
D = 1,06 x jarak PVD (pola segitiga), Gambar 2.5(b)

Ch = koefisien konsolidasi horizontal (1 ~ 3 Cv) (m²/tahun)

Uh = derajat konsolidasi arah horizontal (%)

Fn = fungsi hambatan akibat jarak PVD.

Dw = diameter ekivalen PVD (m), Gambar 2.6



(a)

(b)

(a) Pola Segiempat; (b) Pola Segitiga

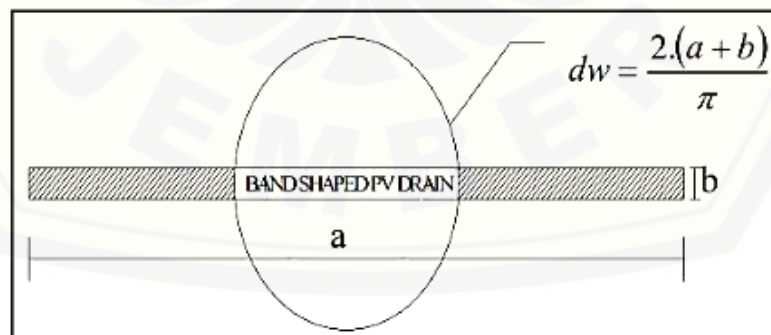
Gambar 2.4 Pola Pemasangan PVD (Sumber : Craig, 1994:254)

Persamaan 2.11 dikembangkan lagi oleh Hansbo (1979) yang mendekati teori Barron. Teori Hansbo (1979) lebih sederhana dengan memasukkan dimensi fisik dan karakteristik PVD. Fungsi $F(n)$ adalah fungsi hambatan akibat jarak antara titik pusat PVD yang didefinisikan sebagai berikut:

$$F(n) = \left(\frac{n^2}{n^2 - 1} \right) \left(\ln(n) - \left(\frac{3n^2 - 1}{4n^2} \right) \right) \quad [2.17]$$

Dimana:

$$n = D_e / d_w$$



Gambar 2.5 Diameter Ekuivalen untuk PVD (Sumber : Das, 1985)

2.5.3 Menghitung Derajat Konsolidasi Rata-rata

Menurut Terzaghi dalam Das (1990) selain konsolidasi akibat aliran air pori arah horizontal, juga terjadi konsolidasi akibat aliran air pori arah vertikal U_v . Harga U_v dicari dengan persamaan:

$$T_v = \frac{t \cdot C_v}{H_{dr}^2} \quad [2.18]$$

Dimana:

H_{dr} = ketebalan lapisan tanah yang dipasang PVD

C_v = harga C_v pada tanah pada lapisan setebal panjang C_v

T_v = waktu konsolidasi yang dipilih

Untuk nilai C_v yang berbeda di setiap lapisan tanah maka dihiung nilai C_v gabungan yang dicari dari Persamaan 2.14. Harga U_v dicari dengan persamaan 2.11 dan 2.12, sedangkan untuk mencari U_h menggunakan persamaan berikut:

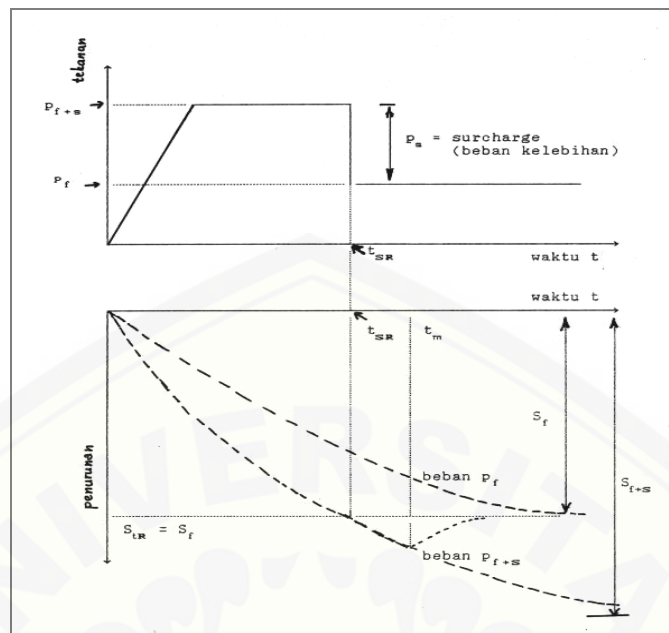
$$U_h = \left[1 - \frac{1}{e^{\left(\frac{t \cdot 8 \cdot C_h}{D^2 \cdot 2 \cdot F(n)} \right)}} \right] \quad [2.19]$$

Derajat konsolidasi rata – rata \bar{U} dapat dicari dengan cara :

$$\bar{U} = [1 - (1 - U_h) \cdot (1 - U_v)] \times 100\% \quad [2.20]$$

2.6 Teori *Preloading*

Beban *preloading* yang diletakkan secara bertahap ditentukan berdasarkan besar pemampatan tanah dasar yang akan dihilangkan. Kekuatan geser tanah lempung akan mempengaruhi tinggi timbunan kritis. Sistem *precompression* atau *preloading* ialah metode perbaikan tanah dengan memberikan beban awal yang berlebih P_{f+s} sedemikian rupa sehingga pada waktu yang pendek t_{sr} didapatkan penurunan yang sama besarnya dengan total penurunan S_f dari beban rencana P_f , sebagaimana terlihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.6 Prinsip Pembebanan *Preloading* pada Pemampatan Tanah dengan Beban Awal $p_{f+s} > p_f$ (Sumber: Mochtar, 2000)

Bila pada beban awal p_{f+s} penurunan S_f terjadi pada waktu t_{sr} , beban surcharge P_s dapat dibongkar. Kemudian dengan asumsi bahwa tanah sudah termampatkan sampai S_f , beban p_f tidak lagi menyebabkan penurunan tambahan. Makin besar p_{f+s} makin pendek waktu t_{sr} .

2.6.1 Penentuan Tinggi Kritis (H_{cr})

Penentuan tinggi kritis digunakan sebagai beban awal preloading. Untuk muka air yang berada di atas muka tanah, tinggi timbunan kritis beban *preloading* dapat dihitung dengan persamaan dari Jie Han, 1964 sebagai berikut:

$$H_{cr} = \frac{C_u \cdot N_c}{SF \cdot \gamma_{timb}} \quad [2.27]$$

Dimana:

C_u = kohesi tanah dasar (t/m^2)

γ_{timb} = berat volume tanah timbunan (t/m^2)

N_c = faktor daya dukung

H_{cr} = tinggi timbunan kritis (m)

SF = faktor aman yang diambil antara 1,3 sampai 1,5

2.6.2 Peningkatan Daya Dukung Tanah

Daya dukung tanah dasar meningkat karena adanya pemampatan tanah dasar sebagai akibat adanya beban timbunan yang diletakkan secara bertahap. Beban bertahap dapat diletakkan secara terus menerus sampai dengan tinggi timbunan kritis (H_{cr}) dicapai. Kekuatan geser jenuh untuk tanah kohesif oleh Ladd, 1991 dalam Jie Han (2015) dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\frac{c_u}{\sigma'_z} = \lambda_f (OCR)^\wedge \quad [2.30]$$

Dimana :

C_u = *undrained shear strength*

λ_f = $0,22 \pm 0,03$ untuk sedimen lempung homogen atau $\lambda = 0,25 \pm 0,03$ untuk lumpur atau tanah liat organik

OCR = *overconsolidation ratio*

\wedge = $0,88 (1 - C_r/C_c)$

C_r = *recompression index*

C_c = *compression index*

Kekuatan tanah setelah terjadinya konsolidasi dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\Delta c_u = \lambda_f (OCR)^\wedge \Delta \sigma'_z = \lambda_f (OCR)^\wedge U_t \Delta \sigma_z \quad [2.31]$$

Dimana :

Δc_u = penambahan tegangan (t/m^2)

$\Delta \sigma'_z$ = penambahan tegangan efektif vertikal karena *preloading*

$\Delta \sigma_z$ = total penambahan tegangan vertikal karena *preloading*

U_t = derajat konsolidasi berdasarkan waktu (t)

Karena tanah lunak sering dikonsolidasikan secara normal ($OCR = 1$), nilai $\lambda = 0,25$ biasanya digunakan. Ketika lebar area beban jauh lebih besar dari ketebalan tanah lunak persamaan 2.31 dapat disederhanakan menjadi :

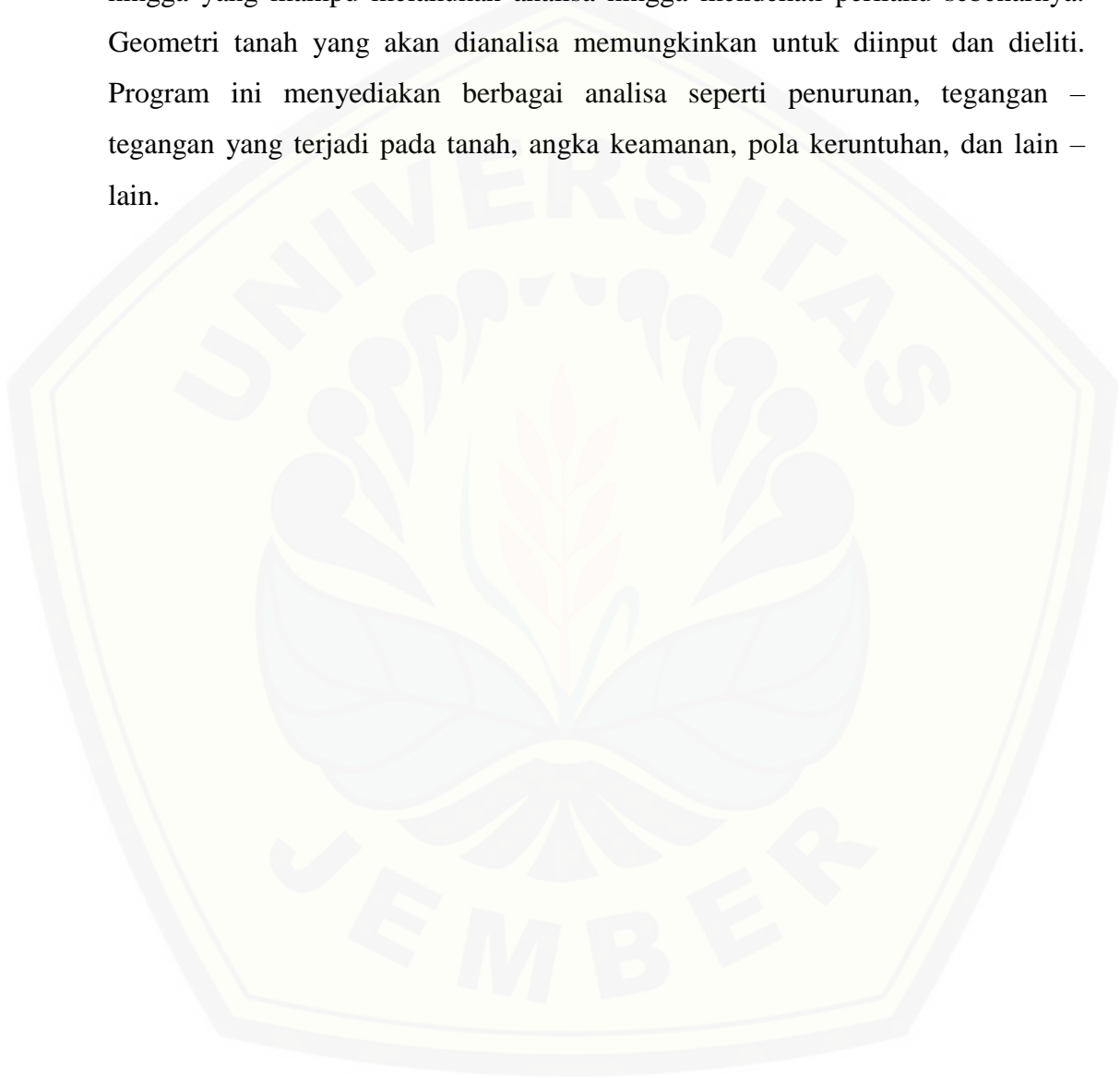
$$\Delta c_u = 0,25 U_t \cdot p \quad [2.32]$$

dimana p = tekanan dari *preloading*. Total undrained sheara strength setelah *preloading* adalah

$$c_{u1} = c_u + \Delta c_u \quad [2.33]$$

2.7 Analisa Metode Numerik

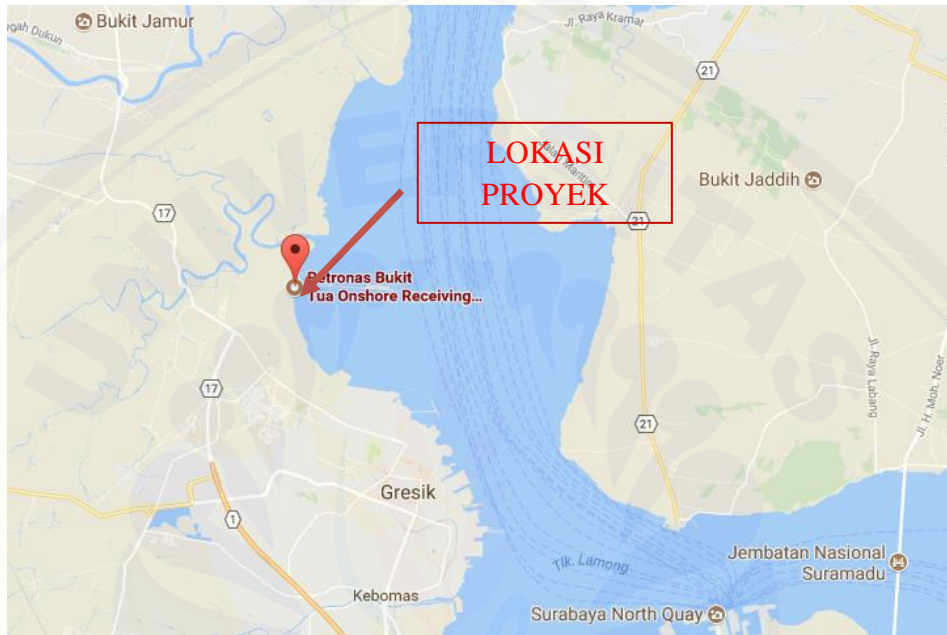
Untuk menganalisa timbunan maka digunakan program bantu yakni software Plaxis 8.6 2D. Program Plaxis adalah program analisa geoteknik, terutama untuk analisa stabilitas tanah dengan menggunakan metode elemen hingga yang mampu melakukan analisa hingga mendekati perilaku sebenarnya. Geometri tanah yang akan dianalisa memungkinkan untuk diinput dan dieliti. Program ini menyediakan berbagai analisa seperti penurunan, tegangan – tegangan yang terjadi pada tanah, angka keamanan, pola keruntuhan, dan lain – lain.



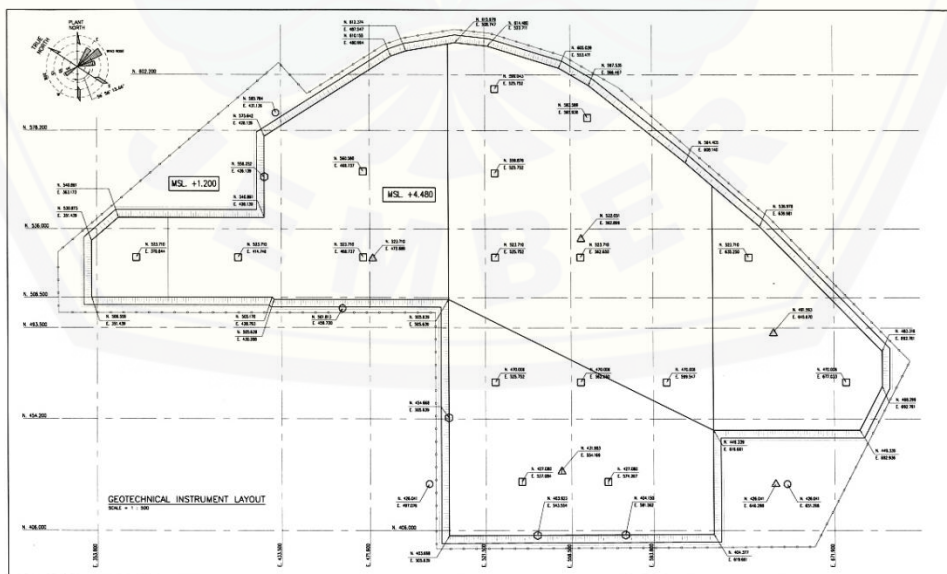
BAB 3. METODOLOGI

3.1 Lokasi Perencanaan

Lokasi perencanaan tugas akhir perbaikan tanah lunak dilakukan di Bukit Tua, Gresik, Jawa Timur.



Gambar 3.1 Lokasi Perencanaan (Sumber : maps.google.co.id)



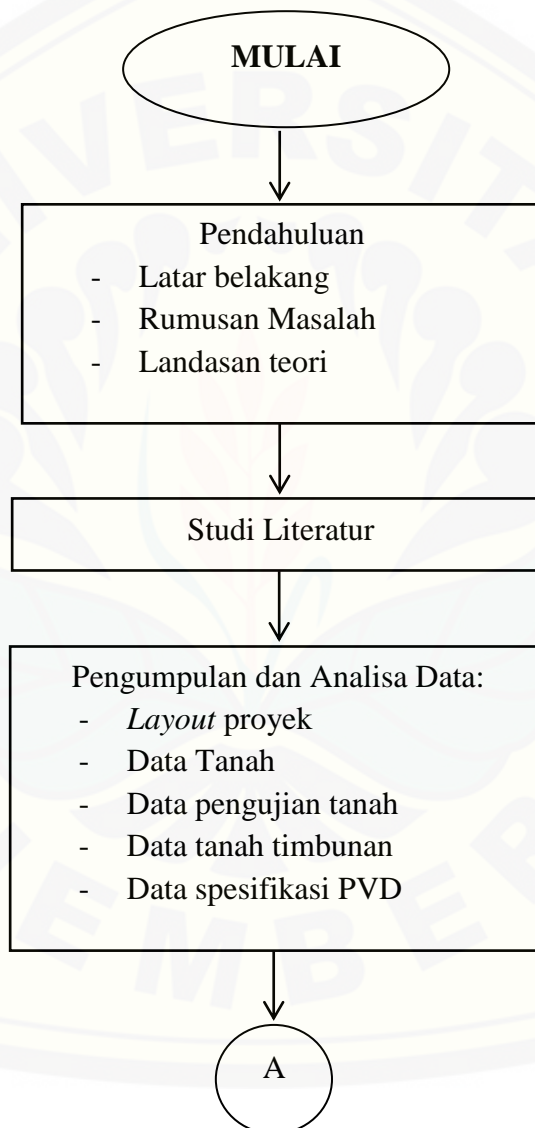
Gambar 3.2 Lokasi Proyek (Sumber : Data Perencanaan)

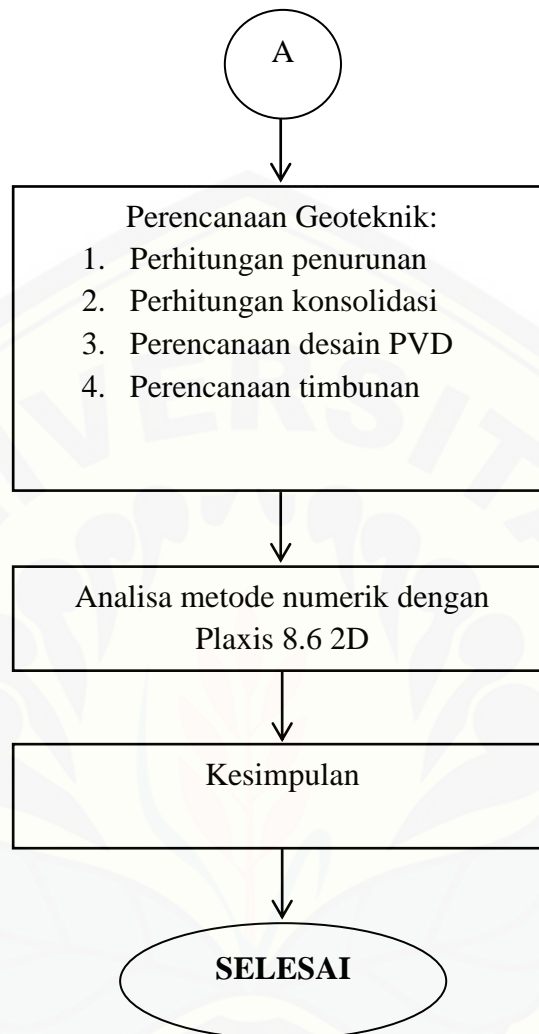
3.2 Waktu Perencanaan

Perencanaan tugas akhir ini dilaksanakan mulai bulan Oktober 2017 sampai dengan Maret 2018.

3.3 Kerangka Perencanaan

Kerangka perencanaan ini diuraikan melalui skema dibawah ini:





Gambar 3.3 Kerangka Alir Perencanaan

3.4 Tahapan Perencanaan

3.4.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan pada tahap awal perencanaan untuk mencari dan mengumpulkan referensi-referensi yang ada, berupa artikel dan jurnal ilmiah, buku-buku pedoman yang akan digunakan sebagai acuan dalam melakukan perencanaan. Adapun bahan studi yang nantinya digunakan dalam perencanaan adalah teori pemampatan/ *settlement*, waktu konsolidasi, perencanaan *preloading* dan PVD, metode numerik dengan menggunakan Plaxis 8.6 2D.

3.4.2 Pengumpulan dan Analisa Data

Bahan perencanaan yang digunakan adalah *layout* proyek, data tanah, data pengujian tanah di lapangan dan data pengujian tanah di laboratorium, data tanah timbunan dan data spesifikasi bahan PVD.

3.4.3 Perencanaan Geoteknik

a. Perhitungan Penurunan Tanah

Perhitungan penurunan tanah di akibatkan besar beban timbunan di atasnya yaitu tinggi timbunan dengan berat isi tanah timbunan. Parameter yang digunakan antara lain angka pori, harga C_c dan C_v , dan berat tanah efektif. Penambahan beban yang diberikan dapat dilihat pada Gambar 2.1, sedangkan unruk menghitung penurunan tanah dihitung dengan Persamaan 2.4 sampai dengan Persamaan 2.9.

b. Perhitungan Waktu Konsolidasi

Konsolidasi merupakan penurunan tanah yang disebabkan oleh keluarnya air dari pori – pori tanah. Penurunan tersebut membutuhkan waktu lama yang dapat dicari dengan adanya faktor waktu (T_v), panjang aliran air (H_{dr}) dan koefisien konsolidasi vertikal (C_v) dan dihitung menurut persamaan 2.10.

c. Perencanaan Desain PVD

Desain PVD digunakan untuk mempercepat penurunan tanah. PVD merupakan material dari bahan sintetik, jenis yang akan dipakai adalah CeTau-Drain CT-D1008. Perencanaan PVD menggunakan pola segitiga atau persegi dengan variasi jarak/spasi yang berbeda. Desain yang akan dipakai adalah yang paling efektif dan sesuai dengan waktu perencanaan. Perhitungan waktu konsolidasi akibat *vertical drain* dihitung menggunakan Persamaan 2.16 sampai dengan Persamaan 2.20.

d. Perencanaan Timbunan

Tinggi total yang digunakan dalam perencanaan ini adalah setinggi 3,5 meter, sehingga dilakukan perhitungan tinggi awal dengan menggunakan persamaan 2.27 sampai dengan persamaan 2.30. Perhitungan timbunan dengan kecepatan penimbunan 50 cm/minggu ini dilakukan sampai konsolidasi primer 95% dengan waktu yang telah direncanakan.

3.4.4 Pembuatan Model Numerik Program Plaxis 8.6 2D

Plaxis adalah suatu analisa program berbasis metode elemen hingga yang memudahkan kita dalam mengoperasikannya sehingga didapatkan parameter – parameter perencanaan yang dibutuhkan. Adapun prosedur perencanan dengan menggunakan Plaxis 8.6 2D sebagai berikut:

a. Pengaturan Global

Dalam hal ini, penamaan proyek yang akan di gunakan dan metode analisa yang dipakai. Pada mode pilihan umum, pilih model regangan bidang dan elemen 15 titik nodal. Setelah itu masuk ke menu dimensi, input nilai pengaturan dimensi sesuai dengan dimensi yang diterapkan.

Pengaturan global

Proyek | Dimensi

Proyek

Nama berkas <TanpaNama>

Direktori ...

Judul Preloading and PVD

Komentar

Pilihan umum

Model Regangan bidang

Elemen 15 titik nodal

Percepatan

Sudut gravitasi : -90 ° 1.0 G

Percepatan-x : 0,000 G

Percepatan-y : 0,000 G

Gravitasi bumi : 9,800 m/dtk²

Atur sebagai gra-pilih

Berikutnya OK Batal

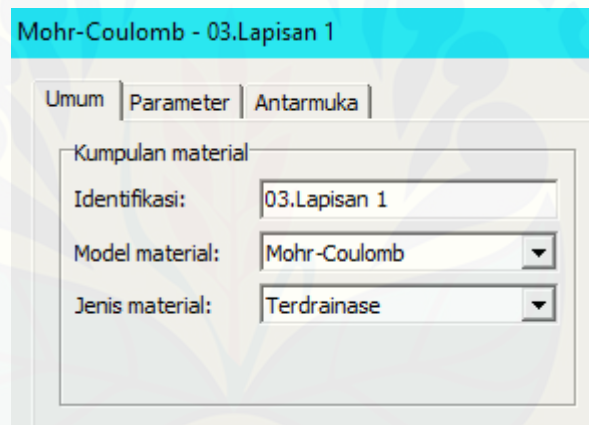
Gambar 3.4 Tampilan Menu Pengaturan Global pada Plaxis

b. Penggambaran Model Penelitian

Setelah pengaturan global, pembuatan model di layar kerja plaxis dapat dikerjakan. Gunakan fungsi garis geometri untuk menggambarkan profil 2D dari penggambaran model, jepit standar untuk memberikan batasan bidang analisa pada plaxis, dan drainase sebagai *vertical drain*.

c. Pengaturan Material Set

Permasalahan dalam perencanaan adalah material lempung lunak dan timbunan sehingga menggunakan model Mohr Coulomb dengan jenis material terdrainase.



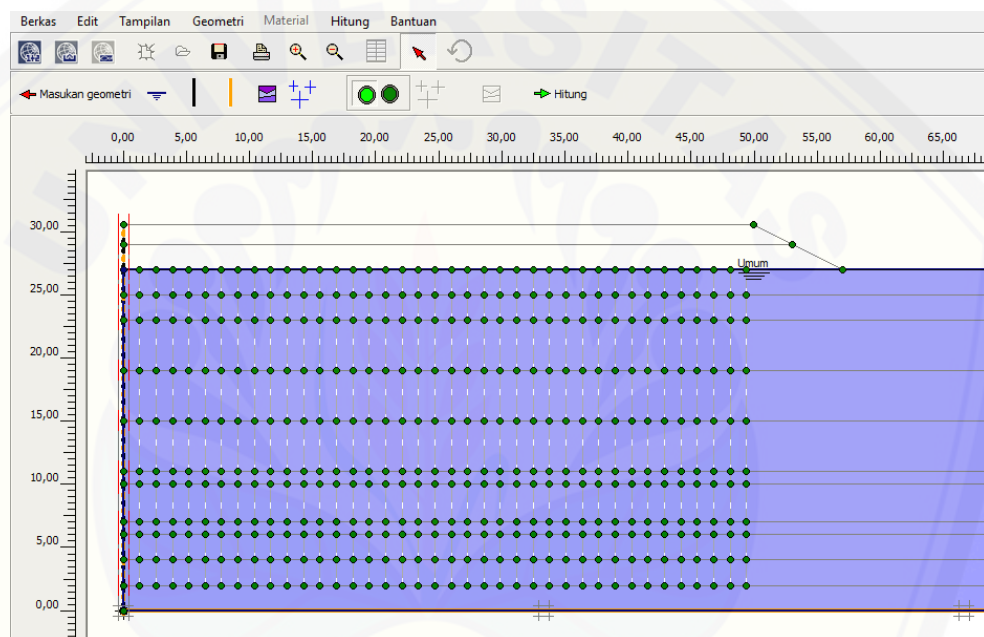
Gambar 3.5 Pengaturan Material Tanah Dasar

d. Pengaturan Meshing

Setelah material sudah terinput dalam geometri model, maka material sudah siap untuk dilakukan analisa. Sebelum itu, harus dilakukan susun jaring elemen (*generate mesh*) yang artinya mengatur titik – titik analisa. Analisa plaxis berdasarkan suatu proses yang disebut iterasi. Jadi semakin halus tingkatan *mesh* yang dipilih, maka semakin banyak proses iterasi sehingga tindakan analisis hampir mendekati kesalahan kecil.

e. Tahapan Initial Condition

Setelah *mesh* telah digenerate (kondisi awal), maka model sudah siap untuk dianalisa. Langkah analisa pertama adalah menentukan keadaan awal suatu lapisan tanah sebelum semua beban dan perkuatan bekerja. Langkah ini *Initial Condition*, terdapat pengaturan muka air tanah, batas analisa konsolidasi dan prosedur tekanan tanah diam (KO) atau *gravity loading* dapat dilakukan. Semua struktur luar seperti preloading dan *drain* harus dalam keadaan *off* (tampilan abu – abu) yang memberikan isyarat bahwa tahapan ini merupakan tahapan asli dari tanah.



Gambar 3.6 Ilustrasi Tahapan *Initial Condition*

f. Tahapan Kalkulasi

Seperti suatu pekerjaan proyek, di program plaxis ini tahapan analisa bisa diatur sesuai dengan tahapan pekerjaan. Dikarenakan perencanaan ini berguna sebagai metode perbaikan tanah dengan cara konsolidasi tanah dasar yaitu tanah lunak agar dapat menahan beban di atasnya. Maka di jenis perhitungan digunakan analisa konsolidasi. Dalam tahapan analisa konsolidasi, bisa ditentukan waktu tempuh untuk mendapatkan waktu pemampatan yang direncanakan sehingga diperkirakan tanah akan mampu untuk memikul tegangan yang terjadi.

The screenshot shows the 'Plaxis 8.5 Perhitungan - PVD.PLX' window. The interface includes a menu bar (Berkas, Edit, Tampilan, Hitung, Bantuan), a toolbar with icons for file operations and calculation, and a main workspace with tabs for 'Umum', 'Parameter', 'Pengali', and 'Tampilan'. The 'Umum' tab is active, showing fields for 'Tahap' (Nomor / ID.: 1, Timbun 2 m; Mulai dari tahap: 0 - Tahap awal), 'Jenis perhitungan' (Analisa konsolidasi), and 'Informasi perhitungan' (Waktu batas yang ditentukan sepenuhnya tercapai 4.40000E+01 >= 4.40000E+01). A 'Parameter' button is located at the bottom right of the main workspace.

Below the main workspace is a table with columns: Identifikasi, No. tahap, Mulai dari, Perhitungan, Masukan pembebanan, Waktu, Air, and Pertama. The table contains the following data:

Identifikasi	No. tahap	Mulai dari	Perhitungan	Masukan pembebanan	Waktu	Air	Pertama
Tahap awal	0	0	N/A	N/A	0,00 ...	0	0
✓ Timbun 2 m	1	0	Analisa konsolidasi	Tahapan konstruksi	44,0...	1	1
✓ Timbun 1,5 m	4	1	Analisa konsolidasi	Tahapan konstruksi	76,0...	4	4
✓ SF	3	4	Reduksi phi-c	Peningkatan faktor pengali	0,00 ...	4	10

Gambar 3.7 Tahapan Perhitungan

BAB V. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Dalam perencanaan Tugas Akhir ini didapatkan beberapa kesimpulan yaitu:

1. Terdapat 14 titik lokasi borehole yang dianalisa menjadi 3 segmen/area yang berbeda dan dipilih data segmen 1 yang terdiri dari OBH 1 s/d OBH 4 sebagai acuan perhitungan yang memiliki sifat tanah yang paling lunak dan daya dukung rendah.
2. Tinggi timbunan awal yang dibutuhkan adalah sebesar 3,5 m dengan besar pemampatan yang harus dihilangkan sebesar 1,928 m.
3. Waktu yang dibutuhkan untuk pemampatan sebesar 1,928 dan mencapai derajat konsolidasi 95% adalah 139,41 tahun apabila tidak menggunakan PVD.
4. Spesifikasi PVD yang dipakai adalah CT-D1008 dengan ukuran 100 mm x 3 mm, pola segitiga dengan spasi 1,3 m dan waktu mencapai $U = 95\%$ selama 16 minggu.
5. Besar penurunan primer pada tanah reklamasi dengan tinggi timbunan setinggi 3,5 m adalah 1,928 m dan sisa penurunan sebesar 1,003 m. Beban bangunan yang direncanakan adalah 1 t/m^2 dan besar settlement yang diberikan adalah 0,569 m.
6. Hasil penurunan selama 16 minggu antara analisa Plaxis menunjukkan sebesar 1,99 m sedangkan hasil monitoring dilapangan sebesar 0,86 m.

DAFTAR PUSTAKA

- Barron, R. A. 1948. *Consolidation of fine-grained soils by drain wells*. Transactions ASCE, 113(2346): 718-724.
- Biarez J., Fleureau J. M., Soepandji B. S. 1998. *Variations de volume des sols argileux lors de cycles de drainage – humidification*. *Revue Frangaise de Geotechnique*, No. 41, pp 63 – 71.
- Bowles, Joseph E. Johan K. Helnim. 1991. *Sifat – sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*. PT. Erlangga. Jakarta.
- Craig, R.F. 1991. *Mekanika Tanah*. PT. Erlangga. Jakarta
- Das, B.M. 1985. *Mekanika Tanah 1 (Prinsip – prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Terjemahan oleh Noor Endah dan Indrasurya B. Mochtar. Jakarta : Erlangga.
- Das, B.M. 1985. *Mekanika Tanah 2 (Prinsip – prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Terjemahan oleh Noor Endah dan Indrasurya B. Mochtar. Jakarta : Erlangga.
- Das, Braja M., *Principle of Geotechnical Engineering 5th Edition*, 2002, PWS Publishing, Pacific Grove.
- Das, M Braja, Endah Noor, Mochtar B Indrasurya, 1998. *Mekanika Tanah (Prinsip – prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Jilid 1. Jakarta : Erlangga.
- Dept of The Navy, March 1971, *Design Manual: Soil Mechanics, Foundations and Earth Structures (NAVFAC DM-7)*, Naval Facilities Engineering Command.
- Han, Jie., *Principle and Practice of Ground Improvement*, 2015. 432 pp. Hardback. ISBN: 9781118259917
- Hansbo, S., 1979. *Consolidation of Clay by Band – shaped Prefabricated Drains, Grounds Enggineering*, Vol.12.
- Hidayati, A.M., dan Ardana, M.D.W. 2008. *Kombinasi Preloading dan Penggunaan Pre-Fabricated Vertical Drains Untuk Mempercepat Konsolidasi Tanah Lempung Lunak (Studi Kasus Tanah Lempung Suwung Kangin)*. 12(2): 187-195
- Holtz, R. D., et al. 1991. *Prefabricated Vertical Drains: Design and Performance*, CIRIA ground engineering report: ground improvement. Oxford: Butterworth – Heinemann Ltd.

Nawir, Hasbullah., Dayu Apoji, Rahmatyar F., M. Dwi P., 2012. Prediksi Tanah menggunakan Prosedur Observasi Asaoka. *Jurnal Teknik Sipil*. ISSN 0853-2982

Terzaghi, K., Peck, r. B. 1987. *Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa*. Jakarta: Erlangga.

Universitas Jember, 2016. *Pedoman Penulisan Karya Ilmiah*. Jember: UPT Penerbitan Universitas Jember.

