

**SKRIPSI**

**PERENCANAAN REKLAMASI PANTAI DENGAN METODE  
PRELOADING**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**TAUFIQ HIDAYAT SAFARUDDIN  
D011 19 1048**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2023**

## LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

### PERENCANAAN REKLAMASI PANTAI DENGAN METODE PRELOADING

Disusun dan diajukan oleh

**Taufiq Hidayat Safaruddin**  
**D011 19 1048**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian  
Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin  
Pada tanggal 12 Oktober 2023  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



**Prof. Dr. Eng. Tri Harianto, S.T., M.T., IPU**  
NIP: 19720309200003102

Pembimbing Pendamping,



**Ir. Achmad Bakri Muhiddin, MSc, PhD**  
NIP 196007301986031003

Ketua Program Studi,



**Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST, M.Eng**  
NIP: 196805292002121002

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini;

Nama : Taufiq Hidayat Safaruddin  
NIM : D011 19 1048  
Program Studi : Teknik Sipil  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{Perencanaan Reklamasi Pantai dengan Metode *Preloading*}

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 24 Oktober 2023

Menyatakan



Taufiq Hidayat Safaruddin

## ABSTRAK

**TAUFIQ HIDAYAT SAFARUDDIN. PERENCANAAN REKLAMASI PANTAI DENGAN METODE PRELOADING** (dibimbing oleh Prof. Dr. Eng. Tri Harianto, S.T., M.T. dan Ir. Achmad Bakri Muhiddin, MSc, PhD)

Sebagai sebuah negara kepulauan, Indonesia menjadi negara yang memiliki banyak pantai yang tersebar di berbagai pulau. Disamping itu, berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik jumlah masyarakat Indonesia yang meningkat sekitar lebih dari 2500 orang setiap tahunnya. Terdapat 5 provinsi dengan jumlah kepadatan penduduk yang melebihi 1000 jiwa/km<sup>2</sup> bahkan untuk Provinsi DKI Jakarta yang telah menyentuh angka hampir 16000 jiwa/km<sup>2</sup>. Dengan bertambahnya jumlah penduduk maka kebutuhan lahan akan meningkat pula khususnya untuk sektor pemukiman, infrastruktur, dan industri. Maka sebuah solusi harus diberikan untuk mengatasi masalah keterbatasan lahan tersebut, salah satunya yaitu melalui reklamasi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui penurunan dan  $H_{\text{inisial}}$  untuk mencapai  $H_{\text{final}}$  sebesar 2,5 m, menentukan berapa waktu pemampatan dan perlunya menggunakan perbaikan untuk mempercepat waktu konsolidasi, serta menentukan stabilitas dari timbunan reklamasi.

Besar penurunan dan stabilitas dianalisis secara analisis untuk menentukan penurunan,  $H_{\text{inisial}}$ , waktu konsolidasi, peningkatan daya dukung, dan stabilitas menggunakan *software* GEO5 Slope Stability. Timbunan dilakukan dengan tebal 2.614 meter dengan konstruksi bertahap. Parameter tanah penelitian merupakan jenis tanah yang memiliki potensi penurunan konsolidasi yang besar dan dalam waktu yang cukup lama.

Hasil dari analisis penurunan total yang didapat sebesar 0,114 m untuk tinggi inisial timbunan 2,614 m dengan 6 kali tahapan penimbunan. Waktu konsolidasi yang dibutuhkan selama 4 tahun untuk setiap tahapan sehingga memerlukan perbaikan tanah untuk mempercepat waktu konsolidasi. Dengan menggunakan PVD waktu konsolidasi menjadi paling lama 11 minggu untuk setiap tahapan mencapai 90% derajat konsolidasi. Stabilitas timbunan yang memenuhi persyaratan yaitu pada kemiringan 1:3 dengan nilai safety factor lebih dari 1.5 untuk setiap tahapan penimbunan.

Kata Kunci: Reklamasi, *Settlement*,  $H_{\text{inisial}}$ , Konsolidasi, dan Stabilitas

## ABSTRACT

**TAUFIQ HIDAYAT SAFARUDDIN. BEACH RECLAMATION PLANNING USING THE PRELOADING METHOD** (supervised by Prof. Dr. Eng. Tri Harianto, S.T., M.T. and Ir. Achmad Bakri Muhiddin, MSc, PhD)

As an archipelagic country, Indonesia is a country that has many beaches spread across various islands. Besides that, based on data from the Central Bureau of Statistics, the number of Indonesian people is increasing by more than 2,500 people every year. There are 5 provinces with a total population density that exceeds 1000 people/km<sup>2</sup>, even for DKI Jakarta Province which has reached almost 16000 people/km<sup>2</sup>. With the increase in population, the need for land will also increase, especially for the residential, infrastructure and industrial sectors. Then a solution must be given to overcome the problem of limited land, one of which is through reclamation.

This study aims to *determine* the settlement and  $H_{\text{initial}}$  to reach the  $H_{\text{final}}$  of 2.5 m, determine how long the compression time and the need to use soil improvement to speed up the consolidation time, and determine the stability of the reclamation embankment.

The magnitude of settlement and stability were analyzed analytically to determine settlement, initial, consolidation time, increase in carrying capacity, and stability using GEO5 Slope Stability software. The embankment was done with a thickness of 2,614 meters with a gradual construction. The research soil parameter is a type of soil that has a large potential for consolidation settlement and for a long time.

The results of the total settlement analysis obtained were 0.114 m for the initial embankment height of 2.614 m with 6 stages of backfilling. The consolidation time required is 4 years for each stage so that it requires soil improvement to speed up the consolidation time. By using PVD the consolidation time becomes a maximum of 11 weeks for each stage to reach 90% degree of consolidation. The stability of the embankment that meets the requirements is on a slope of 1:3 with a safety factor value of more than 1.5 for each stage of embankment.

Keywords: Reclamation, Settlement,  $H_{\text{initial}}$ , Consolidation, and Stability

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI .....	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
ABSTRAK .....	iii
ABSTRACT .....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR .....	vi
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL .....	viii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xi
KATA PENGANTAR .....	xii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian/Perancangan.....	2
1.4 Manfaat Penelitian/Perancangan.....	3
1.5 Ruang Lingkup/Asumsi perancangan .....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Penurunan ( <i>Settlement</i> ) .....	8
2.2 Daya Dukung Tanah .....	12
2.3 Timbunan Bertahap.....	14
2.5 Waktu Konsolidasi.....	17
2.6 Waktu Konsolidasi dengan PVD .....	19
2.7 Stabilitas Timbunan .....	20
BAB 3 METODE PENELITIAN/PERANCANGAN .....	23
3.1 Lokasi Penelitian.....	23
3.2 Instrumen .....	23
3.3 Prosedur Penelitian .....	23
3.4 Teknik Pengumpulan Data.....	25
3.5 Pemodelan Timbunan Reklamasi.....	27
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN .....	29
4.1 Perhitungan Tinggi Kritis Timbunan ( $H_{cr}$ ) .....	29
4.2 Perhitungan <i>Settlement</i> ( $S_{total}$ ) .....	31
4.3 Perhitungan Tinggi Timbunan Bertahap.....	34
4.4 Perhitungan Waktu Konsolidasi.....	40
4.5 Perencanaan PVD .....	41
4.6 Analisa Stabilitas Timbunan .....	45
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN .....	48
5.1 Kesimpulan .....	48
5.2 Saran.....	48
DAFTAR PUSTAKA .....	49

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Beban Timbunan .....	11
Gambar 2 Pengaruh nilai $I'$ untuk bean timbunan .....	12
Gambar 3 <i>Preloading</i> .....	16
Gambar 4 Pola Susunan PVD segiempat .....	19
Gambar 5 Pola Susunan PVD segitiga.....	20
Gambar 6 Analisis Stabilitas Metode Irisan.....	21
Gambar 7 Diagram Alir Penelitian .....	25
Gambar 8 Geometri Timbunan .....	27
Gambar 9 Hubungan $H_{inisial}$ dan $H_{final}$ .....	36
Gambar 10 Hubungan $S_{total}$ dan $H_{final}$ .....	36
Gambar 11 Hubungan Derajat Konsolidasi dengan waktu pola segitiga.....	44
Gambar 12 Hubungan Derajat Konsolidasi dengan waktu pola segiempat.....	45
Gambar 13 Hubungan Penurunan Konsolidasi dengan Waktu Pola Segitiga.....	46
Gambar 14 Hubungan Penurunan Konsolidasi dengan Waktu Pola Segiempat...	46

## DAFTAR TABEL

Tabel 1 Nilai Faktor Koreksi Nilai N-SPT .....	5
Tabel 2 Hubungan Nilai N-SPT dan CPT terhadap Modulus Elastisitas.....	6
Tabel 3 Hubungan Nilai Poisson Ratio dengan Jenis Tanah .....	7
Tabel 4 Hubungan Nilai $E_s$ dengan Poisson Ratio.....	7
Tabel 5 Harga-harga Modulus Young.....	9
Tabel 6 Harga-harga Angka Poisson.....	10
Tabel 7 Faktor Daya Dukung Terzaghi.....	13
Tabel 8 Nilai $N_c$ * untuk pondasi menerus dan persegi .....	14
Tabel 9 Nilai-Nilai Estimasi Sudut Geser Dalam Dari Hasil Uji Triaksial .....	14
Tabel 10 Variasi Faktor Waktu terhadap Derajat Konsolidasi .....	18
Tabel 11 Nilai Faktor Keamanan untuk Lereng Tanah.....	22
Tabel 12 Hasil Pengujian Laboratorium .....	26
Tabel 13 Parameter Tanah untuk Perhitungan Analisis.....	27
Tabel 14 Nilai N-SPT dengan Efisiensi Energi 55% .....	29
Tabel 15 Nilai $E_s$ untuk Setiap Tipe Tanah .....	30
Tabel 16 Hasil <i>Immediate Settlement</i> berbagai beban timbunan .....	32
Tabel 17 Hasil <i>Consolidation Settlement</i> berbagai beban timbunan .....	34
Tabel 18 Hasil <i>Total Settlement</i> berbagai beban timbunan.....	34
Tabel 19 Hasil $H_{initial}$ dan $H_{final}$ untuk tiap tahapan timbunan.....	35
Tabel 20 Hasil Penambahan Tekanan pada Setiap Tahapan.....	38
Tabel 21 Hasil <i>cufinal</i> untuk Setiap Tahapan Timbunan .....	39
Tabel 22 Hasil nilai $q_u$ dan $q_{all}$ untuk Setiap Tahapan Timbunan .....	40
Tabel 23 Hasil dari $d_w$ , $d_e$ , $n$ , dan $m$ untuk pola segitiga dan pola segiempat.....	43
Tabel 24 Nilai <i>safety factor</i> pada kemiringan 1 : 2.....	47
Tabel 25 Nilai <i>safety factor</i> pada kemiringan 1 : 3.....	47



## DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
$N_{60}$	Nilai N-SPT Efisiensi 60%
$E_f$	Efisiensi yang terukur
$N_M$	Nilai N terukur yang harus dikoreksi
$C_N$	Faktor koreksi terhadap tegangan vertikal efektif
$C_E$	Faktor koreksi terhadap rasio tenaga palu
$C_B$	Faktor koreksi terhadap diameter bor
$C_R$	Faktor koreksi terhadap panjang batang
$C_S$	Faktor koreksi terhadap tabung contoh (samplers) dengan atau tanpa pelapis (liner)
$S_{total}$	Penurunan total ( <i>Total settlement</i> )
$S_e$	Penurunan segera ( <i>Immediate settlement</i> )
$S_c$	Penurunan akibat konsolidasi primer ( <i>Consolidation primer settlement</i> )
$S_s$	Penurunan akibat konsolidasi sekunder ( <i>Consolidation secondary settlement</i> )
$S_e$	Penurunan segera
$q_0$	Beban timbunan
$h_i$	Tebal lapisan tanah
$E_i'$	Modulus oedometrik tanah
$E_s$	Modulus elastisitas tanah
$\mu$	Poisson rasio

$C_c$	Indeks pemampatan
$C_s$	Indeks pengembangan
$H_c$	Tebal lapisan tanah lempung
$e_0$	Angka pori awal
$\sigma'_0$	Tekanan efektif <i>overburden</i>
$\Delta\sigma'_{av}$	Peningkatan tekanan efektif akibat pembebanan
$\sigma'_c$	Tekanan efektif prakonsolidasi
$q_u$	Beban ultimit tanah
$c'$	Kohesi tanah
$q$	Beban <i>surchage</i>
$\gamma$	Berat isi tanah
$N_c^*$	Faktor daya dukung termodifikasi
$H_{inisial}$	Tinggi timbunan awal
$H_{final}$	Tinggi timbunan akhir
$\gamma_{timb}$	Berat isi timbunan
$\gamma'_{timb}$	Berat isi efektif timbunan
$H_{cr}$	Tinggi kritis timbunan
$q_u$	Beban ultimate
$FS$	Faktor keamanan
$t_v$	Waktu konsolidasi
$T_v$	Faktor waktu
$H_{dr}$	Tebal aliran selama proses konsolidasi
$C_v$	Koefisien konsolidasi
$U\%$	Derajat konsolidasi
$H_i$	Tebal lapisan i
$C_{vi}$	Koefisien konsolidasi i
$c_{vr}$	Koefisien konsolidasi arah radial
$d_e$	Diameter zona efektif drainase
$F_s$	Faktor keamanan

$\tau_f$	Kuat geser tanah
$\tau_d$	Kuat geser yang bekerja sepanjang bidang longsor

---

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil dari derajat konsolidasi ( $U$ ) pada pola segitiga dengan variasi jarak pemasangan PVD .....	51
Lampiran 2 Hasil dari derajat konsolidasi ( $U$ ) pada pola segiempat dengan variasi jarak pemasangan PVD .....	52
Lampiran 3 Hasil dari Hubungan Waktu dengan Penurunan Konsolidasi Pola Segitiga.....	53
Lampiran 4 Hasil dari Hubungan Waktu dengan Penurunan Konsolidasi Pola Segiempat .....	54
Lampiran 5 Bidang Gelincir untuk Kemiringan 1 : 2 .....	55
Lampiran 6 Bidang Gelincir untuk Kemiringan 1 : 3 .....	58
Lampiran 7 Pengujian <i>Standard Penetration Test</i> (SPT) .....	61
Lampiran 8 Data pemeriksaan kadar air .....	62
Lampiran 9 Data pemeriksaan berat isi.....	63
Lampiran 10 Pemeriksaan batas-batas .....	64
Lampiran 11 Pemeriksaan berat jenis .....	66
Lampiran 12 Analisa saringan dan hirdrometer.....	67
Lampiran 13 Pengujian konsolidasi .....	71

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Rabbil 'Aalamiin, atas berkat rahmat dan hidayah yang telah dilimpahkan oleh Allah SWT maka penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul "Perencanaan Reklamasi Pantai dengan Metode *Preloading*" sebagai salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi di Fakultas Teknik Departemen Teknik Sipil Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari bawah tugas akhir ini jauh dari kata sempurna karena kesempurnaan hanya milik Allah SWT. Namun, berkat bantuan dari berbagai pihak sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih karena telah membantu dalam penyusunan tugas akhir ini, yaitu kepada:

1. Kepada Bunda tersayang, Nur Wahidah Jamal atas kasih sayang, doa, nasihat, dan segalanya yang telah diberikan kepada penulis.
2. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Bapak Prof. Dr. Muh. Wihardi Tjaronge, S.T., M.Eng., selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Bapak Prof. Dr. Eng. Tri Harianto, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing I yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing dan memberikan arahan kepada penulis.
5. Bapak Ir. Achmad Bakri Muhiddin, MSc, PhD selaku dosen pembimbing II yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing dan memberikan arahan kepada penulis.
6. Bapak Prof. Dr. Ir. Ab. Rachman Djamaluddin, M.T., selaku Kepala Laboratorium Mekanika Tanah yang telah memberikan wawasan yang tak terhitung jumlahnya dan kesempatan untuk menjadi bagian dari keluarga Laboratorium Mekanika Tanah.
7. Seluruh dosen, staff, dan karyawan Departemen Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah banyak membantu dalam penulisan tugas akhir ini.
8. Kepada Adam Khaliq Safaruddin dan Rafi Ahmad Al-Bahrie sebagai saudara yang selalu memberikan dukungan moril untuk penulis.
9. Kepada Saudara-saudara Destriyer-ku Jono, Tapa, Kaito, Iot, Alex, Adrian, Mikel, Condri, Adam, Bombom, Didi, HC, Taqi, dan Aman yang telah memberikan warna yang sangat indah selama perkuliahan dan selalu memberikan bantuan serta selalu menjadi tempat berbagi keluh kesah bagi penulis.
10. Kepada Wanda yang telah memberikan warna yang berbeda dalam perkuliahan dan sebagai tempat berbagi cerita dengan penulis.
11. Kepada Saudari *Fantastic4*-ku Boba, Nia, Mimi, dan Lisa karena telah memberikan semangat, saran, dan dorongan kepada penulis.
12. Kepada Teman-teman penelitian tugas akhir ini Sara Malisan Lati dan Muh. Yusril Yushan yang telah berjuang dan tempat berdiskusi serta bertukar pikiran dengan penulis.

13. Kepada kanda dan teman pengurus HMS FT-UH Periode 2020/2021 yang telah memberikan pengalaman yang sangat berharga kepada penulis selama berproses di Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
14. Kepada teman-teman pengurus HMS FT-UH Periode 2021/2022 yang telah memberikan pengalaman yang sangat berharga kepada penulis selama berproses di Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
15. Teman-Teman KKN Tematik Perhutanan Sosial Gel.109 Kordes, Ipin, Baso, Agil, Ifah, Veni, dan Vira atas waktu dan pengalaman yang sangat berharga selama 45 hari di Kab. Luwu Timur.
16. Keluarga besar Laboratorium Mekanika Tanah; Kak Zainal, Upi, Mutiara, Jaemshon, Sultan, Yayat, Yusril, Megumi, Nusrah, Aisa, Kelvin, Danti, dan Melda.
17. Teman-teman KKD Geoteknik 2019, yang selalu memberikan bantuan dan motivasi untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
18. Saudara-saudari PORTLAND 2020, teman-teman Departemen Teknik Sipil dan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Angkatan 2019 atas proses yang telah dijalani bersama.
19. Serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebut satu persatu dengan semua bantuan dan dukungan yang diberikan

Penulis mengharapkan kritik dan saran dari berbagai pihak karena tugas akhir ini jauh dari kata sempurna dan masih terdapat kesalahan. Semoga dengan selesainya tugas akhir ini dapat memberi manfaat kepada penulis dan pembaca.

Gowa, 24 Oktober 2023

Penulis

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Sebagai sebuah negara kepulauan, Indonesia menjadi negara yang memiliki banyak pantai yang tersebar di berbagai pulau. Disamping itu, berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik jumlah masyarakat Indonesia yang meningkat sekitar lebih dari 2500 orang setiap tahunnya. Terdapat 5 provinsi dengan jumlah kepadatan penduduk yang melebihi 1000 jiwa/km<sup>2</sup> bahkan untuk Provinsi DKI Jakarta yang telah menyentuh angka hampir 16000 jiwa/km<sup>2</sup>. Dengan bertambahnya jumlah penduduk maka kebutuhan lahan akan meningkat pula khususnya untuk sektor pemukiman, infrastruktur, dan industri. Maka sebuah solusi harus diberikan untuk mengatasi masalah keterbatasan lahan tersebut, salah satunya yaitu melalui reklamasi.

Berdasarkan UU No. 27 Tahun 2007 Tentang Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil reklamasi adalah kegiatan yang dilakukan oleh Orang dalam rangka meningkatkan anfaat sumber daya lahan ditinjau dari sudut lingkungan dan sosial ekonomi dengan cara pengurugan, pengeringan lahan atau drainase. Menurut Nur Yuwono dan RJ Kodoatie dalam bukunya Pedoman Pengembangan Reklamasi Pantai dan Perencanaan Bangunan Pengamanannya reklamasi pantai adalah meningkatkan sumberdaya lahan dari yang kurang bermanfaat menjadi lebih bermanfaat ditinjau dari sudut lingkungan, kebutuhan masyarakat dan nilai ekonomis.

Reklamasi bukan merupakan hal yang baru dilakukan sudah banyak negara-negara yang menggunakannya salah satunya Palm Islands di Dubai, Uni Emirate Arab yang merupakan proyek reklamasi terbesar di dunia hingga saat ini. Reklamasi tidak semata-merta hanya menambah lahan untuk pemukiman namun juga dapat dimanfaatkan untuk perindustrian, infrastruktur, perkotaan, dan masih banyak lagi yang akan meningkatkan perekonomian sebuah negara.

Terdapat 2 metode yang sering digunakan dalam reklamasi yaitu sistem polder yang dilakukan dengan cara membuat tanggul kedap air terlebih dahulu setelah itu air yang berda di dalam tanggul akan di pompa ke laut. Sedangkan yang

kedua yaitu sistem timbunan yang dilakukan dengan cara menimbun daerah pantai sampai mencapai tinggi elevasi yang direncanakan. Namun, umumnya pada pekerjaan reklamasi diberikan beberapa metode perbaikan tanah jika diperlukan terutama pada lapisan tanah yang lunak dan membutuhkan waktu konsolidasi yang relatif lama.

Pada penelitian ini menggunakan sistem timbunan dimana memberikan beban timbunan yang akan memberikan tekanan pada tanah dasar sehingga terjadi penurunan. Penelitian ini akan menggunakan metode analisis dalam proses perhitungannya.

Dari uraian yang dikemukakan, penulis melakukan penelitian dengan judul **“Perencanaan Reklamasi Pantai dengan Metode Preloading”**.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan penjelasan pada latar belakang, maka dapat dirumuskan beberapa rumusan masalah yaitu:

1. Berapa besar penurunan (*settlement*) yang akibat beban timbunan awal ( $H_{inisial}$ )?
2. Berapa besar timbunan pelaksanaan ( $H_{inisial}$ ) untuk bisa mencapai tinggi timbunan final ( $H_{final}$ ) yang sudah direncanakan?
3. Berapa lama waktu pemampatan? Apakah memerlukan sebuah metode perbaikan tanah?
4. Bagaimana stabilitas timbunan setelah dilakukan timbunan bertahap?

## **1.3 Tujuan Penelitian/Perancangan**

Secara umum penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan pemahaman mengenai analisis timbunan reklamasi. Secara khusus penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana penurunan, waktu pemampatan tanah, dan *safety factor* pada area reklamasi, Secara rinci penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Menghitung besar penurunan (*settlement*) yang terjadi pada dasar timbunan



2. Menghitung besar timbunan pelaksanaan ( $H_{\text{inisal}}$ ) untuk bisa mencapai tinggi timbunan final ( $H_{\text{final}}$ ) yang sudah direncanakan
3. Menentukan waktu pemampatan dan menentukan perlu tidaknya sebuah perbaikan tanah
4. Menentukan nilai *safety factor* dari setiap timbunan bertahap

#### **1.4 Manfaat Penelitian/Perancangan**

Manfaat dari penelitian ini yaitu sebagai referensi bagi peneliti lain jika ingin menganalisis sebuah timbunan reklamasi dan jika ingin menentukan penurunan, waktu pemampatan tanah, dan *safety factor* pada area reklamasi.

#### **1.5 Ruang Lingkup/Asumsi perancangan**

Penelitian ini mencakup pengolahan data tanah untuk menentukan penurunan tanah, waktu pemampatan tanah, dan *safety factor* pada area reklamasi dengan menggunakan metode analisis dan elemen hingga melalui aplikasi GEO5 Slope Stability. Dalam pelaksanaannya dilakukan beberapa batasan dan asumsi, di antaranya adalah:

1. Desain dan analisis deformasi, penentuan  $H_{\text{inisal}}$ , dan waktu pemampatan menggunakan metode analisis.
2. Desai dan analisis *safety factor* menggunakan bantuan program komputer (GEO5 Slope Stability).
3. Menggunakan pemodelan struktur tanah dua dimensi (2D).

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Korelasi Nilai N-SPT dengan Modulus Elastisitas

*Standart Penetration Test* bertujuan untuk memperoleh parameter perlawanan penetrasi lapisan tanah di lapangan dengan SPT. Parameter tersebut diperoleh dari jumlah pukulan terhadap penetrasi konus, yang dapat dipergunakan untuk mengidentifikasi perlapisan tanah yang merupakan bagian dari desain fondasi. (SNI 4153:2008)

Uji SPT yang digunakan harus di kalibrasi tingkat efisiensi tenaganya dengan menggunakan alat ukur strain gauges dan aselerometer, untuk memperoleh standar efisiensi tenaga yang lebih teliti. Di dalam praktek, efisiensi tenaga sistem balok derek dengan palu donat (donut hammer) dan palu pengaman (safety hammer) berkisar antara 35% sampai 85%, sementara efisiensi tenaga palu otomatis (automatic hammer) berkisar antara 80% sampai 100%. Jika efisiensi yang diukur ( $E_f$ ) diperoleh dari kalibrasi alat, nilai N terukur harus dikoreksi terhadap efisiensi sebesar 60%, dan dinyatakan dalam rumus sebagai berikut.

$$N_{60} = \frac{E_f}{60} \cdot N_M \quad (2.1)$$

dimana:

$N_{60}$  = Nilai N-SPT Efisiensi 60%

$E_f$  = Efisiensi yang terukur

$N_M$  = Nilai N terukur yang harus dikoreksi

Dalam beberapa hubungan korelatif, nilai tenaga terkoreksi  $N_{60}$  yang dinormalisasi terhadap pengaruh tegangan efektif vertikal (overburden), dinyatakan dengan  $(N_1)_{60}$ , seperti dijelaskan dalam persamaan (2.1), (2.2) dan Tabel 1. Nilai  $(N_1)_{60}$  menggambarkan evaluasi pasir murni untuk interpretasi kepadatan relatif, sudut geser, dan potensi likuifaksi.

$$(N_1)_{70} = N_M \cdot C_N \cdot C_E \cdot C_B \cdot C_R \cdot C_S \quad (2.2)$$

dimana:

$N_M$  = Nilai N terukur yang harus dikoreksi

$C_N$  = Faktor koreksi terhadap tegangan vertikal efektif

- $C_E$  = Faktor koreksi terhadap rasio tenaga palu  
 $C_B$  = Faktor koreksi terhadap diameter bor  
 $C_R$  = Faktor koreksi terhadap panjang batang  
 $C_S$  = Faktor koreksi terhadap tabung contoh (samplers) dengan atau tanpa pelapis (liner)

Untuk nilai dari parameter diatas dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Nilai Faktor Koreksi Nilai N-SPT

Faktor	Jenis Alat	Parameter	Koreksi
			2,2
Tegangan efektif vertikal		$C_N$	$\left(1,2 + \left(\frac{\sigma'_{v0}}{Pa}\right)\right)$
Tegangan efektif vertikal		$C_N$	$C_N \leq 1,7$
Rasio tenaga	Palu donat (Donut hammer)	$C_E$	0,5 s.d 1,0
Rasio tenaga	Palu pengaman (Safety hammer)	$C_E$	0,7 s.d 1,2
Rasio tenaga	Palu otomatis (Automatic-trip Donut-type hammer)	$C_E$	0,8 s.d 1,3
Diameter bor	65 s.d 115 mm	$C_B$	1,0
Diameter bor	150 mm	$C_B$	1,05
Diameter bor	200 mm	$C_B$	1,15
Panjang batang	< 3 m	$C_R$	0,75
Panjang batang	3 s.d 4 m	$C_R$	0,8
Panjang batang	4 s.d 6 m	$C_R$	0,85
Panjang batang	6 s.d 10 m	$C_R$	0,95
Panjang batang	10 s.d 30 m	$C_R$	1,0
Pengambilan contoh	tabung standar	$C_S$	1,0
Pengambilan contoh	tabung dengan pelapis (liner)	$C_S$	1,1 s.d 1,3

Sumber: SNI 4153:2008

Untuk menghitung nilai  $E_s$  menggunakan rumus yang dikemukakan oleh Bowles (1996). Hubungan antara Nilai N-SPT dengan  $E_s$  dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Hubungan Nilai N-SPT dan CPT terhadap Modulus Elastisitas

Soil	SPT	CPT
Sand (Normally Consolidated)	$E_s = 500(N + 15)$	$E_s = (2 \text{ to } 4)q_c$
	$= 7000\sqrt{N}$ $= 6000N$	$= 8000\sqrt{q_c}$
Sand (Saturated)	$E_s = (15000 \text{ to } 20000) \ln N$	$E_s = 1.2(3D_r^2 + 2)q_c$
	$E_s = 250(N + 15)$	$* E_s = (1 + D_r^2)q_c$ $E_s = F \cdot q_c$ $e = 1.0 \quad F = 3.5$ $e = 0.6 \quad F = 7$
Sand, all (Normally Consolidated)	$E_s = (2600 \text{ to } 2900)N$	
Sand (Overconsolidated)	$E_s = 40000 + 1050N$	$E_s = (6 \text{ to } 30)q_c$
	$E_{s(OCR)} \approx E_{s(NC)}\sqrt{OCR}$	
Gravelly Sand	$E_s = 1200(N + 6)$	$N \leq 15$
	$= 600(N + 6)$ $= 600(N + 6) + 2000$	$N > 15$
Clayey Sand	$E_s = 320(N + 15)$	$E_s = (3 \text{ to } 6)q_c$
Silts, Sandy silt, or Clayey silt	$E_s = 300(N + 6)$	$E_s = (1 \text{ to } 2)q_c$
	If $q_c < 2500 \text{ kPa}$ use If $2500 < q_c < 5000 \text{ kPa}$ use	$E_s = 2.5q_c$ $E_s = 4q_c + 5000$
Where		
$E'_s = \text{constrained modulus} = \frac{E_s(1-\mu)}{(1+\mu)(1-2\mu)} = \frac{1}{m_v}$		
Soft clay or Clayey silt		$E_s = (3 \text{ to } 8)q_c$

Sumber: Bowles, 1996

Perlu dicatat bahwa nilai N yang digunakan yaitu  $N_{55}$  dan bukan  $N_{70}$  dan hasil dari nilai  $E_s$  dalam satuan kPa. Namun, dalam bukunya Bowles juga menginstruksikan untuk merujuk kepada nilai  $E_s$  yang berdasarkan hubungan antara nilai poisson ratio dengan jenis tanah dan nilai  $E_s$  dengan jenis tanah. Hubungan tersebut dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4. Perlu dicatat bahwa nilai rata-rata pada tabel 4 masih terlalu besar untuk digunakan dalam desain.

Tabel 3 Hubungan Nilai Poisson Ratio dengan Jenis Tanah

Type of Soil	$\mu$
Clay, saturated	0.4-0.5
Clay, unsaturated	0.1-0.3
Sandy clay	0.2-0.3
Silt	0.3-0.35
Sand, gravelly sand	0.1-1.0
Commonly used	0.3-0.4
Rock	0.1-0.4 (depends somewhat on type rock)
Loess	0.1-0.3
Ice	0.36
Concrete	0.15
Steel	0.33

Sumber: Bowles, 1996

Tabel 4 Hubungan Nilai  $E_s$  dengan Poisson Ratio

Soil	$E_s$ , MPa
Clay	
Very soft	2-15
Soft	5-25
Medium	15-50
Hard	50-100
Sandy	25-250
Glacial till	
Loose	10-150
Dense	150-720
Very Dense	500-1440
Loess	15-60
Sand	
Silty	5-20
Loose	10-25

Dense	50-81
Sand and Gravel	
Loose	50-150
Dense	100-200
Shale	150-2000
Silt	2-20

---

Sumber: Bowles, 1996

## 2.2 Penurunan (*Settlement*)

Penambahan beban di atas suatu permukaan tanah dapat menyebabkan lapisan tanah dibawahnya mengalami pemampatan. Pemampatan tersebut disebabkan oleh adanya deformasi partikel tanah, relokasi partikel, keluarnya air atau udara dari dalam pori, dan sebab-sebab lain. Beberapa atau semua faktor tersebut mempunyai hubungan dengan keadaan tanah yang bersangkutan. Secara umum, penurunan (*settlement*) pada tanah yang disebabkan oleh pembebanan dapat dibagi dalam dua kelompok besar, yaitu:

1. **Penurunan konsolidasi** (*consolidation settlement*), yang merupakan hasil dari perubahan volume tanah jenuh air sebagai akibat dari keluarnya air yang menempati pori-pori tanah.
2. **Penurunan segera** (*immediate settlement*), yang merupakan akibat dari defonnasi elastis tanah kering, basah, dan jenuh air tanpa adanya perubahan kadar air. Perhitungan penurunan segera umumnya didasarkan pada penurunan yang diturunkan dari teori elastisitas.

Besarnya penurunan total menurut Das (1988) adalah:

$$S_{total} = S_e + S_c + S_s \quad (2.3)$$

dimana:

$S_{total}$  = Penurunan total (*Total settlement*)

$S_e$  = Penurunan segera (*Immediate settlement*)

$S_c$  = Penurunan akibat konsolidasi primer (*Consolidation primer settlement*)

$S_s$  = Penurunan akibat konsolidasi sekunder (*Consolidation secondary settlement*)

### 2.2.1 Penurunan Segera (*Immediate Settlement*)

*Immediate settlement* atau *elastic settlement* atau penurunan elastis dari suatu pondasi terjadi dengan segera setelah pemberian beban tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan kadar air. Besarnya penurunan ini akan tergantung pada ketentuan dari pondasi dan tipe dari material di mana pondasi tersebut berada. (Das, 1988). Penurunan Segera (*Immediate Settlement*) pada tanah dapat dihitung dengan menggunakan persamaan yang diberikan oleh Biarez (1973). Penurunan Segera (*Immediate Settlement*) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut dimana:

$$S_e = q_0 \sum \left( \frac{h_i}{E_i'} \right) \quad (2.4)$$

dimana:

- $S_e$  = Penurunan segera
- $q_0$  = Beban timbunan
- $h_i$  = Tebal lapisan tanah
- $E_i'$  = Modulus oedometrik tanah

Hubungan antara modulus elastisitas dengan modulus oedometrik dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan sebagai berikut:

$$E' = \frac{E_s}{1 - \frac{2\mu^2}{1 - \mu}} \quad (2.5)$$

dimana:

- $E_s$  = Modulus elastisitas tanah
- $\mu$  = Poisson rasio

Tabel 5 Harga-harga Modulus Young

Jenis Tanah	Modulus Young	
	Psi	kN/m <sup>2</sup>
Lempung Lembek	250-500	1380-3450
Lempung Keras	850-2000	5865-13800
Pasir Lepas	1500-4000	10350-27600
Pasir Padat	5000-10000	34500-69000

Sumber: Das, 1988

Tabel 6 Harga-harga Angka Poisson

Jenis Tanah	Angka poisson, $\mu$
Pasir lepas	0,2 – 0,4
Pasir agak padat	0,25 – 0,4
Pasir padat	0,3 – 0,45
Pasir berlanau	0,2 – 0,4
Lempung lembek	0,15 – 0,25
Lempung agak kaku	0,2 – 0,5

Sumber: Das, 1988

### 2.2.2 Penurunan Konsolidasi (*Consolidated Settlement*)

Penurunan konsolidasi terjadi dari waktu ke waktu di tanah lempung jenuh mengalami peningkatan beban yang disebabkan oleh konstruksi. Penurunan konsolidasi dapat dihitung dengan persamaan berikut:

1. Untuk tanah terkonsolidasi normal (NC Soil)

$$S_c = \frac{C_c H_c}{1 + e_0} \log \frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma'_{av}}{\sigma'_0} \quad (2.6)$$

2. Untuk tanah terkonsolidasi lebih dengan  $\sigma'_0 + \Delta\sigma'_{av} < \sigma'_c$

$$S_c = \frac{C_s H_c}{1 + e_0} \log \frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma'_{av}}{\sigma'_0} \quad (2.7)$$

3. Untuk tanah terkonsolidasi lebih dengan  $\sigma'_0 + \Delta\sigma'_{av} > \sigma'_c$

$$S_c = \frac{C_s H_c}{1 + e_0} \log \frac{\sigma'_c}{\sigma'_0} + \frac{C_c H_c}{1 + e_0} \log \frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma'_{av}}{\sigma'_c} \quad (2.8)$$

dimana:

$C_c$  = Indeks pemampatan

$C_s$  = Indeks pengembangan

$H_c$  = Tebal lapisan tanah lempung

$e_0$  = Angka pori awal

$\sigma'_0$  = Tekanan efektif *overburden*

$\Delta\sigma'_{av}$  = Peningkatan tekanan efektif akibat pembebanan

$\sigma'_c$  = Tekanan efektif prakonsolidasi



$\Delta\sigma'_{av}$  merupakan tambahan tekanan akibat pengaruh beban timbunan yang di tinjau pada tengah timbunan. Gambar 1 memperlihatkan penampang timbunan dengan ketinggian  $H$ . Untuk kondisi pembebanan dua dimensi, peningkatan tegangan vertikal dapat dinyatakan sebagai berikut:

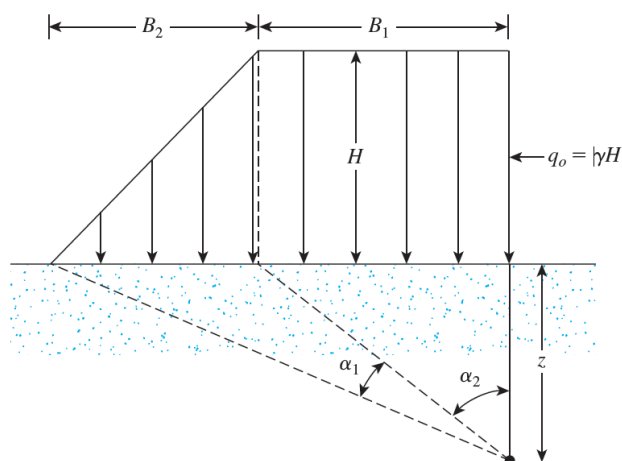
$$\sigma'_{av} = 2 \cdot \left( \frac{q_0}{\pi} \left[ \left( \frac{B_1 + B_2}{B_2} \right) (\alpha_1 + \alpha_2) - \frac{B_1}{B_2} (\alpha_2) \right] \right) \quad (2.9)$$

dimana:

$$\alpha_1 = \tan^{-1} \left( \frac{B_1 + B_2}{z} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{B_1}{z} \right) \quad (2.10)$$

$$\alpha_2 = \tan^{-1} \left( \frac{B_1}{z} \right) \quad (2.11)$$

(catatan bahwa  $\alpha_1$  dan  $\alpha_2$  dalam radian)



Sumber: Das, 2014

Gambar 1 Beban Timbunan

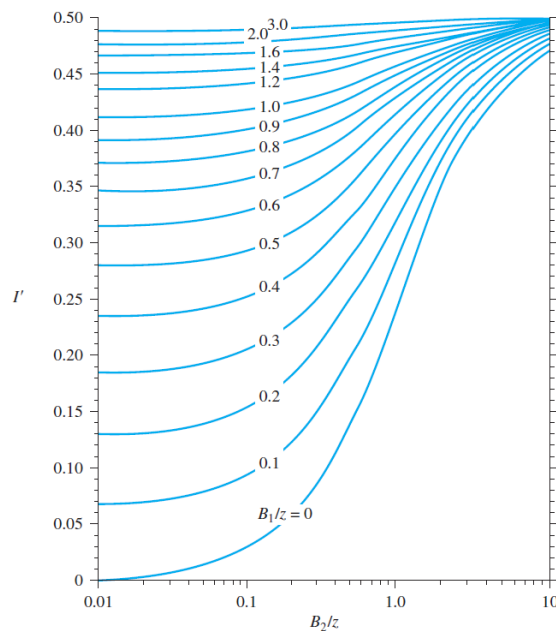
Selain dengan cara diatas Das (2014) telah mempermudah persamaan (2.9) dengan membuat persamaan:

$$\sigma'_{av} = q_0 I' \quad (2.12)$$

dimana:

$$I' = f \left( \frac{B_1}{z}, \frac{B_2}{z} \right)$$

Variasi dari nilai  $I'$  dapat dilihat pada gambar 2



Sumber: Das, 2014

Gambar 2 Pengaruh nilai  $I'$  untuk bean timbunan

### 2.3 Daya Dukung Tanah

Pada titik tertentu ketika beban per satuan luas sama dengan ( $q_u$ ) akan terjadi keruntuhan tiba-tiba pada tanah yang menopang pondasi, dan permukaan keruntuhan di dalam tanah akan meluas ke permukaan tanah. Beban per satuan luas ini ( $q_u$ ) biasanya disebut sebagai daya dukung ultimit pondasi. Ketika keruntuhan tanah yang tiba-tiba terjadi, itu disebut keruntuhan geser umum.

Persamaan dasar daya dukung tanah yang di kemukakan Terzaghi (1943) sebagai berikut:

$$q_u = c'N_c + qN_q + \frac{1}{2}\gamma BN_\gamma \quad (2.13)$$

dimana:

- $q_u$  = Beban ultimit
- $c'$  = Kohesi tanah
- $q$  = Beban *surchage*
- $\gamma$  = Berat isi tanah

Sedangkan untuk  $N_c$ ,  $N_q$ , dan  $N_\gamma$  merupakan faktor daya dukung yang masing-masing merupakan kontribusi dari kohesi, beban *surchage*, dan berat isi

tanah terhadap kapasitas daya dukung tanah. Variasi dari faktor daya dukung Terzaghi dapat dilihat pada Tabel 6.

Untuk tanah lempung jenuh air (dalam kondisi undrain) persamaan (2.13) dapat dijabarkan menjadi persamaan sebagai berikut:

$$q_u = c_u N_c^* + q \quad (2.14)$$

dimana:

$N_c^*$  = Faktor daya dukung termodifikasi

Karena pada beban timbunan tidak ada beban *surchage* hal ini terjadi karena beban timbunan berada tepat diatas permukaan tanah dasar. Sehingga persamaan (2.14) dapat ditulis menjadi:

$$q_u = c_u N_c^* \quad (2.15)$$

Tabel 7 Faktor Daya Dukung Terzaghi

$\phi'$	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$	$\phi'$	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$
0	5.7	1	0	26	27.09	14.21	9.84
1	6	1.1	0.01	27	29.24	15.9	11.6
2	6.3	1.22	0.04	28	31.61	17.81	13.7
3	6.62	1.35	0.06	29	34.24	19.98	16.18
4	6.97	1.49	0.1	30	37.16	22.46	19.13
5	7.34	1.64	0.14	31	40.41	25.28	22.65
6	7.73	1.81	0.2	32	44.04	28.52	26.87
7	8.15	2	0.27	33	48.09	32.23	31.94
8	8.6	2.21	0.35	34	52.64	36.5	38.04
9	9.09	2.44	0.44	35	57.75	41.44	45.41
10	9.61	2.69	0.56	36	63.53	47.16	54.36
11	10.16	2.98	0.69	37	70.01	53.8	65.27
12	10.76	3.29	0.85	38	77.5	61.55	78.61
13	11.41	3.63	1.04	39	85.97	70.61	95.03
14	12.11	4.02	1.26	40	95.66	81.27	115.31
15	12.86	4.45	1.52	41	106.81	93.85	140.51
16	13.68	4.92	1.82	42	119.67	108.75	171.99
17	14.6	5.45	2.18	43	134.58	126.5	211.56
18	15.12	6.04	2.59	44	151.95	147.74	261.6
19	16.56	6.7	3.07	45	172.28	173.28	325.34
20	17.69	7.44	3.64	46	196.22	204.19	407.11
21	18.92	8.26	4.31	47	224.55	241.8	512.84
22	20.27	9.19	5.09	48	258.28	287.85	650.67
23	21.75	10.23	6	49	298.71	344.63	831.99

24	23.36	11.4	7.08	50	347.5	415.14	1072.8
25	25.13	12.72	8.34				

Sumber: Das, 2014

Mandel and Salencon (1972) melakukan perhitungan untuk mengevaluasi nilai  $N_c^*$  untuk pondasi menerus. Sedangkan, Buisman (1940) memberikan persamaan untuk menentukan  $N_c^*$  pada pondasi persegi. Nilai  $N_c^*$  dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8 Nilai  $N_c^*$  untuk pondasi menerus dan persegi

$\frac{B}{H}$	$N_c^*$	
	Square <sup>a</sup>	Continuous <sup>b</sup>
2	5.43	5.24
3	5.93	5.71
4	6.44	6.22
5	6.94	6.68
6	7.43	7.2
8	8.43	8.17
10	9.43	9.05

Sumber: <sup>a</sup>Buisman's, 1940

<sup>b</sup>Mandel dan Salencon, 1972

## 2.4 Timbunan Bertahap

Timbunan bertahap menggunakan metode *preloading* dalam pelaksanaan perbaikan tanah untuk mempercepat proses konsolidasi. Timbunan bertahap juga dilakukan untuk meningkatkan kuat geser tanah dasar karena terjadinya pemampatan.

Tabel 9 Nilai-Nilai Estimasi Sudut Geser Dalam Dari Hasil Uji Triaksial

Jenis Tanah	Macam uji triaksial		
	UU	CU	CD
<b>Kerikil</b>			
Ukuran sedang	40°-55°	-	40°-55°
Berpasir	35°-50°	-	35°-50°
<b>Pasir</b>			
Kering dan tidak padat	28,5°-34°	-	-
Jenuh dan tidak padat	28,5°-34°	-	-
Kering dan padat	35°-46°	-	43°-50°

Jenuh dan padat	1°-2° kurang daripada pasir kering dan padat	-	43°-50°
<b>Lanau atau pasir-berlanau</b>			
Tidak padat	20°-22°	-	27°-30°
Padat	25°-30°	-	30°-35°
<b>Lempung</b>	0° (jika jenuh)	14°-20°	20°-42°

Sumber: Bowles, 1996

#### 2.4.1 Tinggi Inisial Timbunan ( $H_{inisial}$ )

Tinggi awal timbunan pada saat pelaksanaan tidak sama dengan tinggi timbunan rencana hal ini terjadi karena adanya penurunan setelah pemberian beban timbunan. Untuk menentukan tinggi timbunan rencana, memperhatikan besarnya penurunan yang terjadi pada tanah dasar. Untuk mencari besarnya tinggi timbunan inisial ( $H_{inisial}$ ) menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$q = (H_{inisial} - S_{total}) \cdot \gamma_{timb} + S_{total} \cdot \gamma'_{timb} \quad (2.16)$$

$$H_{inisial} = \frac{q \cdot (S_{total} \cdot \gamma_{timb}) + (S_{total} \cdot \gamma'_{timb})}{\gamma_{timb}} \quad (2.17)$$

$$H_{inisial} = \frac{q + \text{tinggi muka air} \cdot (\gamma_{unsat} - \gamma') + S_c (\gamma_{unsat} - \gamma')}{\gamma_{unsat}} \quad (2.18)$$

$$H_{final} = H_{inisial} - S_{total} \quad (2.19)$$

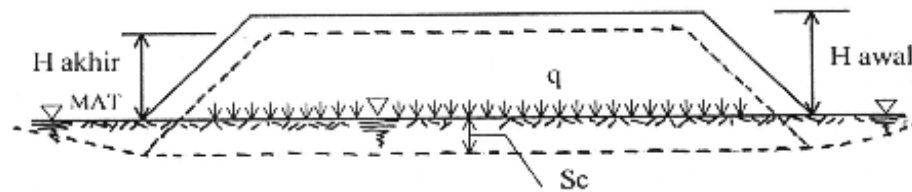
dimana:

$H_{inisial}$  = Tinggi timbunan awal

$H_{final}$  = Tinggi timbunan akhir

$\gamma_{timb}$  = Berat isi timbunan

$\gamma'_{timb}$  = Berat isi efektif timbunan



Sumber: Mochtar, 2000

Gambar 3 *Preloading*

#### 2.4.2 Tinggi Kritis Timbunan ( $H_{cr}$ )

Tinggi kritis timbunan merupakan tinggi maksimal timbunan yang dapat dibebankan kepada tanah dasar yang tidak menyebabkan keruntuhan. Untuk menentukan tinggi kritis timbunan dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$H_{cr} = \frac{q_u}{\gamma_{timb} \cdot FS} \quad (2.20)$$

dimana:

$H_{cr}$  = Tinggi kritis timbunan

$q_u$  = Beban ultimate

$FS$  = Faktor keamanan

#### 2.4.3 Peningkatan Daya Dukung Tanah Lempung

Daya dukung tanah dasar lempung dapat meningkat jika beban timbunan diterapkan secara bertahap sampai mencapai tinggi kritis timbunan ( $H_{cr}$ ). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan Ardana dan Mochtar (1999), diketahui bahwa terdapat hubungan antara kekuatan geser *undrained* ( $C_u$ ) dan tegangan tanah vertikal ( $p_0$ ). Peningkatan daya dukung dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut:

1. Untuk harga  $PI < 120\%$

$$C_u = 0,0737 + (0,1899 - 0,0016PI)\sigma_p' \quad (2.21)$$

2. Untuk harga  $PI > 120\%$

$$C_u = 0,0737 + (0,0454 - 0,00004PI)\sigma_p' \quad (2.22)$$

Untuk tanah yang mengalami konsolidasi harga  $\sigma_p'$  akan berubah sesuai dengan waktu konsolidasi. Secara umum menurut Ardana dan Mochtar (1999) harga  $\sigma_p'$  dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\sigma'_p = \left( \frac{p'_o + \Delta p'}{p'_o} \right)^u \cdot p'_o \quad (2.23)$$

dimana:

- $p'_o$  = Tegangan efektif vertikal tanah  
 $\Delta p'$  = Penambahan tegangan efektif tanah  
 $U$  = Derajat Konsolidasi

Sedangkan untuk Mesri (1975) memiliki persamaan berbeda untuk menentukan peningkatan nilai  $c_u$  akibat konsolidasi.

$$\left( \frac{c_u}{\sigma_p} \right) = 0.22 \quad (2.24)$$

## 2.5 Waktu Konsolidasi

Menurut Terzaghi dalam buku Das (1988), lama waktu konsolidasi dapat ditentukan melalui persamaan:

$$t_v = \frac{T_v \cdot H_{dr}^2}{C_v} \quad (2.25)$$

dimana:

- $t_v$  = Waktu konsolidasi  
 $T_v$  = Faktor waktu  
 $H_{dr}$  = Tebal aliran selama proses konsolidasi  
 $C_v$  = Koefisien konsolidasi

Faktor waktu  $T_v$  merupakan fungsi dari derajat konsolidasi ( $U\%$ ) dan bergantung pada besarnya tekanan air pori berlebih yang terjadi di dalam tanah. Apabila tekanan air pori terbagi secara merata maka variasi  $T_v$  dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10 Variasi Faktor Waktu terhadap Derajat Konsolidasi

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	$\infty$

Sumber: Das, 1988

Penentuan  $T_v$  juga dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

Untuk  $0 \leq U\% \leq 60$

$$T_v = \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{U\%}{100}\right)^2 \quad (2.26)$$

Untuk  $U\% > 60$

$$T_v = 1,781 - 0,993 \log(100 - U\%) \quad (2.27)$$

Koefisien Konsolidasi ( $C_v$ ) dapat diperoleh melalui grafik hubungan antara beban dengan waktu. Apabila terdapat beberapa lapisan tanah dengan nilai  $C_v$  yang berbeda maka nilai  $C_v$  yang digunakan adalah rata-rata nilai  $C_v$  (ABSI, 1965). Berikut persamaan yang digunakan:



$$C_{v\text{rata-rata}} = \frac{(H_1 + H_2 + H_3 + \dots + H_i)}{\left[ \frac{H_1}{\sqrt{C_{v1}}} + \frac{H_2}{\sqrt{C_{v2}}} + \frac{H_3}{\sqrt{C_{v3}}} + \dots + \frac{H_i}{\sqrt{C_{vi}}} \right]} \quad (2.28)$$

dimana:

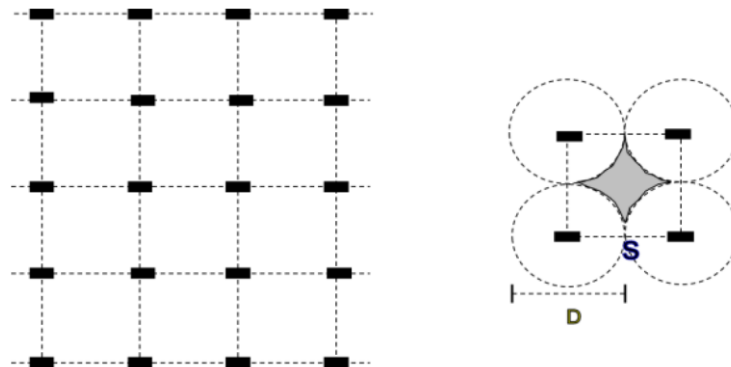
$H_i$  = Tebal lapisan i

$C_{vi}$  = Koefisien konsolidasi i

## 2.6 Waktu Konsolidasi dengan PVD

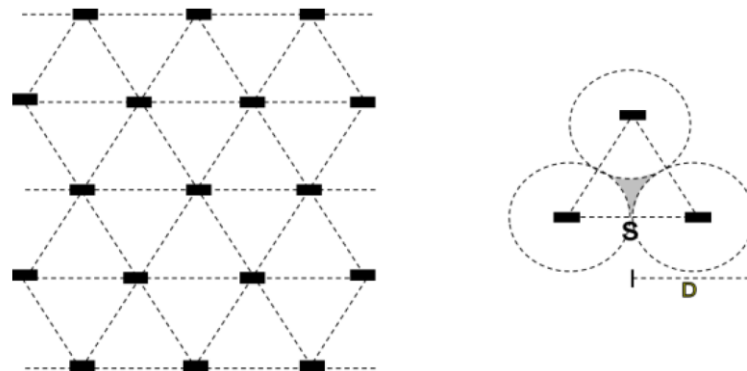
Terdapat beberapa metode untuk mempercepat waktu konsolidasi dan mempercepat terjadinya penurunan salah satunya yaitu dengan menggunakan *vertical drain*. *Vertical Drain* dapat di kombinasikan dengan *preloading* dan *surchage* untuk lebih mempercepat proses konsolidasi. *Vertical drain* baik digunakan pada tanah lempung dan lanau atau jenis tanah *compressible* yang lain.

Terdapat 2 pola dalam pemasangan *pre fabricated drain* (PVD) yaitu pola segitiga dan pola segi empat. Untuk masing-masing pola dapat dilihat di Gambar 4 dan Gambar 5.



Sumber: Mochtar, 2000

Gambar 4 Pola Susunan PVD segiempat



Sumber: Mochtar, 2000

Gambar 5 Pola Susunan PVD segitiga

Dalam menghitung waktu konsolidasi dengan PVD dipertimbangkan derajat konsolidasi arah radial atau horizontal. Untuk menghitung derajat konsolidasi arah radial (Barron, 1948) menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$U_r = 1 - \exp\left(\frac{-8 \cdot T_r}{m}\right) \quad (2.29)$$

$$T_r = \frac{c_{vr} \cdot t}{d_e^2} \quad (2.30)$$

dimana:

$c_{vr}$  = Koefisien konsolidasi arah radial

$d_e$  = Diameter zona efektif drainase

$$m = \left(\frac{n^2}{n^2 - 1}\right) \ln(n) - \frac{3n^2 - 1}{4n^2} \quad (2.31)$$

$$n = \frac{d_e}{d_w} \quad (2.32)$$

Setelah didapatkan derajat konsolidasi arah vertikal dan radial selanjutnya menghitung derajat konsolidasi rata-rata ( $\bar{U}$ ) dengan menggunakan persamaan

$$\bar{U} = 1 - (1 - U_r)(1 - U_v) \quad (2.33)$$

## 2.7 Stabilitas Timbunan

Berdasarkan buku Das (1985), faktor keamanan dari sebuah lereng dilakukan dengan cara membandingkan kuat geser tanah dengan kuat geser yang bekerja sepanjang bidang longsor, dapat juga dinyatakan dalam persamaan:

$$F_s = \frac{\tau_f}{\tau_d} \quad (2.34)$$

dimana:

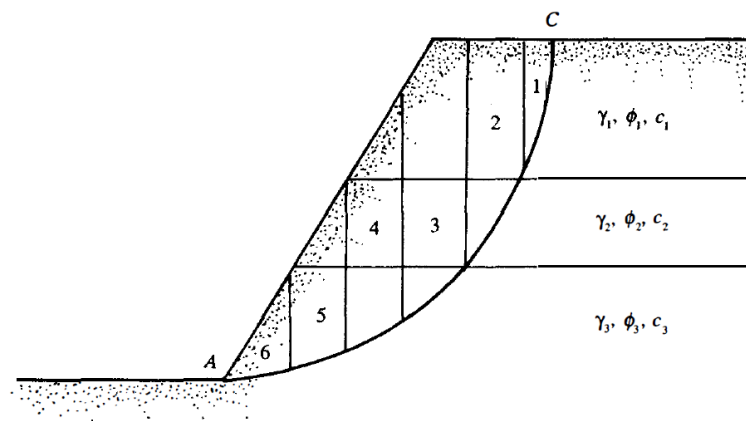
$F_s$  = Faktor keamanan

$\tau_f$  = Kuat geser tanah

$\tau_d$  = Kuat geser yang bekerja sepanjang bidang longsor

Pada tahun 1955, Bishop memperkenalkan suatu penyelesaian yang lebih teliti untuk menghitung stabilitas lereng yang memiliki lapisan yang beragam. Dalam metode ini, pengaruh gaya-gaya pada sisi tepi tiap irisan diperhitungkan. Dapat dilihat pada Gambar 6 (Das, 1985). Bishop mengemukakan persamaan sebagai berikut

$$F_s = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} (cb_n + W_n \tan \phi + \Delta T \tan \phi) \frac{1}{m_{a(n)}}}{\sum_{n=1}^{n=p} W_n \sin \alpha_n} \quad (2.35)$$



Sumber: Das, 1988

Gambar 6 Analisis Stabilitas Metode Irisan

Untuk  $F_s = 1$  maka lereng akan mengalami longsor. Menurut Das (1985) umumnya faktor keamanan terhadap kuat geser yang dapat diterima dalam merencanakan lereng adalah 1,5. Sedangkan faktor keamanan lereng yang direkomendasikan oleh SNI 8460-2017 tentang Persyaratan Perencanaan Geoteknik dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11 Nilai Faktor Keamanan untuk Lereng Tanah

Biaya dan konsekuensi dari kegagalan lereng	Tingkat ketidakpastian kondisi analisis	
	Rendah	Tinggi
Biaya perbaikan sebanding dengan biaya tambahan untuk merancang lereng yang lebih konservatif	1,25	1,5
Biaya perbaikan lebih besar dari biaya tambahan untuk merancang lereng yang lebih konservatif	1,5	2,0 atau lebih
<sup>a</sup> Tingkat ketidakpastian kondisi analisis dikategorikan rendah, jika kondisi geologi dapat dipahami, kondisi tanah seragam, penyelidikan tanah konsisten, lengkap dan logis terhadap kondisi di lapangan.		
<sup>b</sup> Tingkat ketidakpastian kondisi analisis dikategorikan tinggi, jika kondisi geologi sangat kompleks, kondisi tanah bervariasi, dan penyelidikan tanah tidak konsisten dan tidak dapat diandalkan.		

Sumber : SNI, 2017