

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/km² bahkan untuk Provinsi DKI Jakarta yang telah menyentuh angka hampir 16000 jiwa/km². 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_{inisial} untuk mencapai H_{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_{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_{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/km², even for DKI Jakarta Province which has reached almost 16000 people/km². 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_{initial} to reach the H_{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_{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
μ	Poisson rasio

C_c	Indeks pemampatan
C_s	Indeks pengembangan
H_c	Tebal lapisan tanah lempung
e_0	Angka pori awal
σ'_0	Tekanan efektif <i>overburden</i>
$\Delta\sigma'_{av}$	Peningkatan tekanan efektif akibat pembebanan
σ'_c	Tekanan efektif prakonsolidasi
q_u	Beban ultimit tanah
c'	Kohesi tanah
q	Beban <i>surchage</i>
γ	Berat isi tanah
N_c^*	Faktor daya dukung termodifikasi
$H_{inisial}$	Tinggi timbunan awal
H_{final}	Tinggi timbunan akhir
γ_{timb}	Berat isi timbunan
γ'_{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

τ_f	Kuat geser tanah
τ_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/km² bahkan untuk Provinsi DKI Jakarta yang telah menyentuh angka hampir 16000 jiwa/km². 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_{inisal}) untuk bisa mencapai tinggi timbunan final (H_{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_{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)	$E_s = 500(N + 15)$ $= 7000\sqrt{N}$ $= 6000N$	$E_s = (2 \text{ to } 4)q_c$ $= 8000\sqrt{q_c}$
Sand (Saturated)	$E_s = (15000 \text{ to } 20000) \ln N$ $E_s = 250(N + 15)$	$E_s = 1.2(3D_r^2 + 2)q_c$ $* E_s = (1 + D_r^2)q_c$ $E_s = F \cdot q_c$ $e = 1.0 \quad F = 3.5$ $e = 0.6 \quad F = 7$
Sand, all (Normally Consolidated)	$E_s = (2600 \text{ to } 2900)N$	
Sand (Overconsolidated)	$E_s = 40000 + 1050N$	$E_s = (6 \text{ to } 30)q_c$
Gravelly Sand	$E_{s(OCR)} \approx E_{s(NC)}\sqrt{OCR}$ $E_s = 1200(N + 6)$ $= 600(N + 6)$ $= 600(N + 6) + 2000$	$N \leq 15$ $N > 15$
Clayey Sand	$E_s = 320(N + 15)$	$E_s = (3 \text{ to } 6)q_c$
Silts, Sandy silt, or Clayey silt	$E_s = 300(N + 6)$ If $q_c < 2500 \text{ kPa}$ use If $2500 < q_c < 5000 \text{ kPa}$ use	$E_s = (1 \text{ to } 2)q_c$ $E_s = 2.5q_c$ $E_s = 4q_c + 5000$
Soft clay or Clayey silt	Where $E'_s = \text{constrained modulus} = \frac{E_s(1-\mu)}{(1+\mu)(1-2\mu)} = \frac{1}{m_v}$	$E_s = (3 \text{ to } 8)q_c$

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	μ
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
 μ = Poisson rasio

Tabel 5 Harga-harga Modulus Young

Jenis Tanah	Modulus Young	
	Psi	kN/m ²
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, μ
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

σ'_0 = Tekanan efektif *overburden*

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

σ'_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:

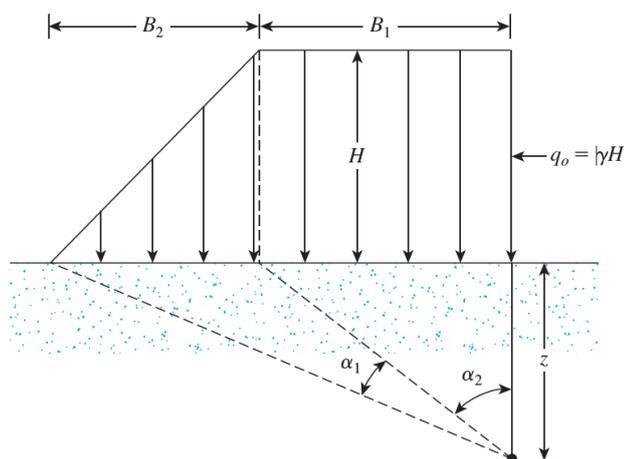
$$\sigma'_{av} = 2 \cdot \left(\frac{q_0}{\pi} \left[\left(\frac{B_1 + B_2}{B_2} \right) (\alpha_1 + \alpha_2) - \frac{B_1}{B_2} (\alpha_2) \right] \right) \quad (2.9)$$

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 α_1 dan α_2 dalam radian)



Sumber: Das, 2014

Gambar 1 Beban Timbunan

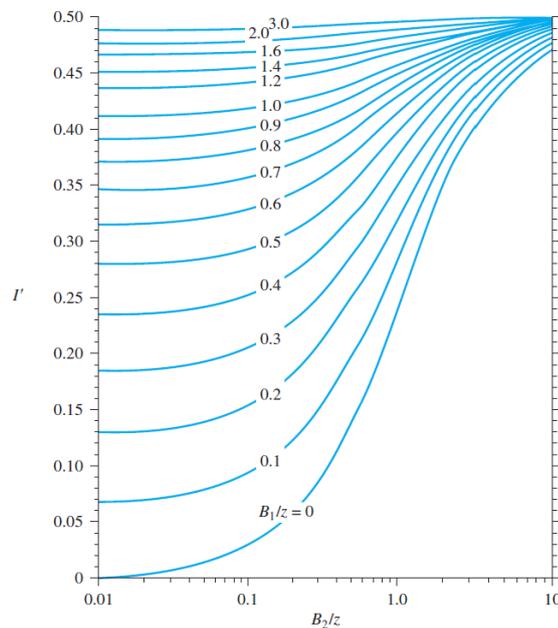
Selain dengan cara diatas Das (2014) telah mempermudah persamaan (2.9) dengan membuat persamaan:

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

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*
- γ = Berat isi tanah

Sedangkan untuk N_c , N_q , dan N_γ 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

ϕ'	N_c	N_q	N_γ	ϕ'	N_c	N_q	N_γ
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 ^a	Continuous ^b
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: ^aBuisman's, 1940

^bMandel 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
Kerikil			
Ukuran sedang	40°-55°	-	40°-55°
Berpasir	35°-50°	-	35°-50°
Pasir			
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°
Lanau atau pasir-berlanau			
Tidak padat	20°-22°	-	27°-30°
Padat	25°-30°	-	30°-35°
Lempung	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:

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

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

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

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

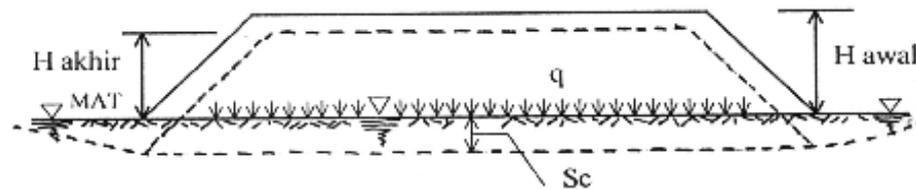
dimana:

$H_{inisial}$ = Tinggi timbunan awal

H_{final} = Tinggi timbunan akhir

γ_{timb} = Berat isi timbunan

γ'_{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 σ_p' akan berubah sesuai dengan waktu konsolidasi. Secara umum menurut Ardana dan Mochtar (1999) harga σ_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	∞

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:

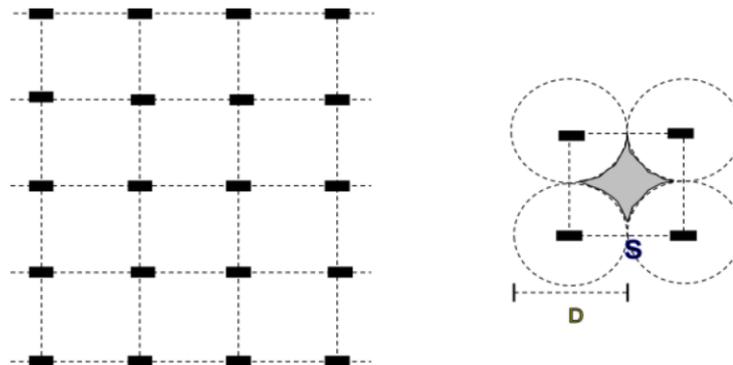
H_i = Tebal lapisan i

C_{vi} = Koefisien konsolidasi i

2.6 Waktu Konsolidasi dengan PVD

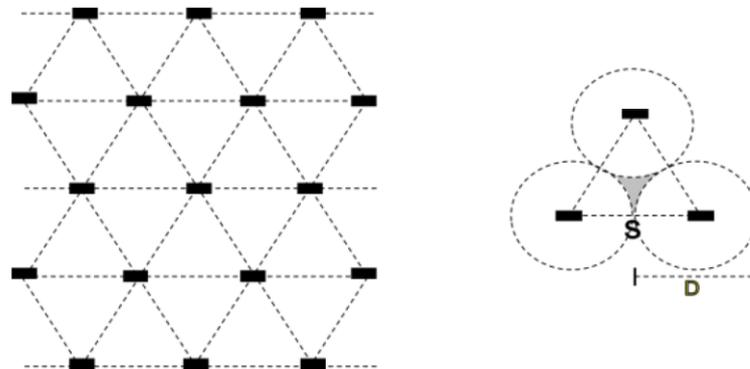
Terdapat beberapa metode untuk mempercepat waktu konsolidasi dan mempercepat terjadinya penurunan salah satunya yaitu dengan menggunakan *vertical drain*. *Vertical Drain* dapat di kombinasikan dengan *preloading* dan *surchage* untuk lebih mempercepat proses konsolidasi. *Vertical drain* baik digunakan 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:

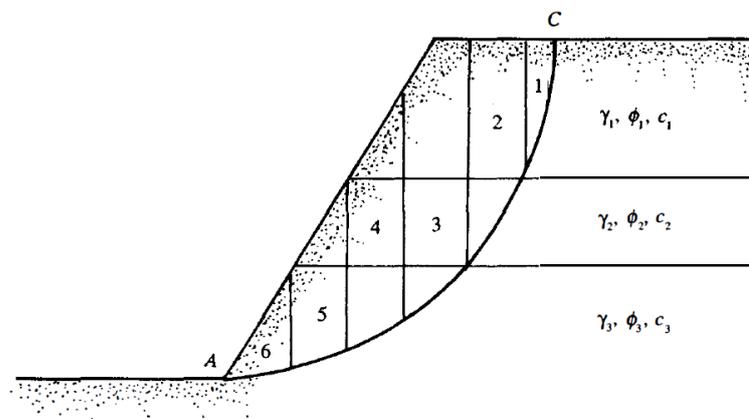
F_s = Faktor keamanan

τ_f = Kuat geser tanah

τ_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
^a Tingkat ketidakpastian kondisi analisis dikategorikan rendah, jika kondisi geologi dapat dipahami, kondisi tanah seragam, penyelidikan tanah konsisten, lengkap dan logis terhadap kondisi di lapangan.		
^b 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