



**METODE PERBAIKAN TANAH  
DENGAN MENGGUNAKAN KOMBINASI PRELOADING  
DAN PEMASANGAN PRE-FABRICATED VERTICAL DRAIN  
UNTUK MEMPERCEPAT PROSES KONSOLIDASI**

**SKRIPSI**

Diajukan sebagai syarat untuk meraih gelar Sarjana Teknik Strata Satu

DISUSUN OLEH :

ROCHANI

NIM. : 10 811 0065



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS MEDAN AREA**

**2014**

**UNIVERSITAS MEDAN AREA**

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 4/1/24

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
  2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
  3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area
- Access From (repository.uma.ac.id)4/1/24

**METODE PERBAIKAN TANAH  
DENGAN MENGGUNAKAN KOMBINASI PRELOADING  
DAN PEMASANGAN PRE-FABRICATED VERTICAL DRAIN  
UNTUK MEMPERCEPAT PROSES KONSOLIDASI**

**SKRIPSI**

**DISUSUN OLEH :**

**ROCHANI**

**NIM. : 10 811 0065**



**Pembimbing I**

*a/y*  
*Am*

**(Ir. H. ZAINAL ARIFIN, MSc)**

**Pembimbing II**

*murw*

**(Ir. NURIL MAHDA RKT, MT)**

**MENGETAHUI :**

**Dekan,**  
*[Signature]*  
**(Ir. H. HANIZA, MT)**

**Ka. Program Studi**

*[Signature]*  
**(Ir. KAMALUDDIN LUBIS, MT)**

**UNIVERSITAS MEDAN AREA**

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 4/1/24

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
  2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
  3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area
- Access From (repository.uma.ac.id)4/1/24

## ABSTRAK

Kawasan Bandara Internasional Kualanamu merupakan bekas areal perkebunan kelapa sawit, dimana sebagian besar kondisi tanahnya merupakan tanah lunak yang memiliki kadar air tinggi. Tanah seperti ini umumnya memiliki daya dukung dan permeabilitas yang rendah namun mempunyai sifat kompresibel tinggi. Kondisi ini menyebabkan tanah mengalami penurunan konsolidasi yang besar dan dalam waktu yang cukup lama pada saat dilakukan pembebanan. Hal ini menjadi kendala utama pada pelaksanaan konstruksi bangunan di atasnya, oleh karena itu perlu dilakukan perbaikan tanah.

Metode perbaikan tanah dengan kombinasi *preloading* dan pemasangan *pre-fabricated vertical drain* merupakan salah satu metode untuk mempercepat proses konsolidasi. Kombinasi pada metode ini dilakukan dengan cara memberikan beban awal berupa timbunan (*preloading*) pada tanah lempung yang telah diberi sistem drainase vertikal berupa *pre-fabricated vertical drain* (PVD). Studi ini dilakukan untuk mengetahui percepatan waktu proses konsolidasi. Efektivitas penggunaan PVD dapat diketahui dengan cara membandingkan lamanya waktu proses konsolidasi antara metode kombinasi *preloading* dan PVD dengan *preloading* tanpa PVD (metode alamiah) untuk mencapai konsolidasi primer pada derajat konsolidasi yang sama.

Hasil penelitian pada tanah berkonsistensi lunak di kawasan Bandara Internasional Kualanamu dengan metode kombinasi *preloading* dan *pre-fabricated vertical drain* terbukti mampu mempercepat waktu konsolidasi. PVD yang dipasang dengan konfigurasi segi tiga dan berjarak 1,20 m pada kedalaman 8 m terbukti sangat efektif karena mampu mempercepat proses konsolidasi primer sebesar 6230.594 hari atau sebesar 10422 % dengan penurunan konsolidasi yang sama sebesar 58,081 cm.

Kata kunci : *preloading, pre-fabricated vertical drain*, waktu konsolidasi

## ABSTRACT

Kuala Namu International Airport is a former palm oil plantation area, where most of the soil is soft soil conditions that have a high water content. This soil generally has a carrying capacity and low permeability but has a high compressible. This condition causes large of settlement consolidation in quite a long time if the receiving load. This is a major obstacle to the construction of buildings on it, therefore it is necessary for soil stabilization.

Method of soil improvement by combination of preloading and installation of pre-fabricated vertical drain is one of the methods to speed up the consolidation process. The combination of this method is done by providing the initial load of earthfill (preloading) in clay soils that have been given in the form of a vertical drainage system of pre-fabricated vertical drains (PVD). This study was conducted to determine the acceleration time of the consolidation process. The effectiveness use of PVD can be determined by comparing the length of time consolidation process between method of preloading combined with PVD, and preloading without PVD (natural method) to achieve the primary consolidation at the same degree of consolidation.

The results of the study on the ground with a soft consistency in the Kuala Namu International Airport by a combination method of preloading and pre-fabricated vertical drains proven to accelerate consolidation. PVD is fitted with a triangular pattern and is 1.20 m at a depth of 8 m proved to be very effective at being able to accelerate the process of primary consolidation of 6230,594 days or 10422% with the same consolidation settlement of 58,081 cm.

Keywords: preloading, pre-fabricated vertical drain, time consolidation

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah puji dan syukur kehadirat Allah Subhanahuwataala, yang atas berkat dan karunia-Nya maka akhirnya saya dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul Metode Perbaikan Tanah dengan Menggunakan Kombinasi Preloading dan Pemasangan Pre-Fabricated Vertical Drain untuk Mempercepat Proses Konsolidasi.

Skripsi ini merupakan salah satu syarat yang harus diselesaikan untuk meraih gelar Sarjana Teknik Strata Satu di Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Medan Area. Saya telah berusaha dengan seluruh daya upaya dalam menyelesaikan Skripsi ini, namun saya menyadari masih banyak kekurangan yang disebabkan keterbatasan pengetahuan dan kurangnya pengalaman yang menyebabkan ketidaksempurnaan Skripsi ini.

Dalam menyusun Skripsi ini penulis banyak mendapatkan bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. H.A. Ya'kub Matondang, MA. selaku Rektor Universitas Medan Area.
2. Ibu Ir. Hj. Haniza, MT. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
3. Bapak Ir. Kamaluddin Lubis, MT. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Medan Area.
4. Bapak Ir. Zainal Arifin, MSc. selaku Dosen Pembimbing I.
5. Ibu Ir. Nuril Mahda Rangkuti, MT. selaku Dosen Pembimbing II.
6. Bapak Ir. Unawan Sanjoyo selaku Project Manager Pembangunan Apron Cargo dan Sarana Penunjang Bandar Udara Kualanamu, PT Adhi Karya (Persero) Tbk, yang telah memberikan izin untuk mendapatkan data teknis lapangan .

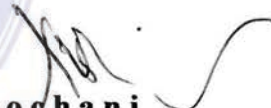
7. Istri dan anak – anak ku tercinta, mohon maaf jika perhatian bapak pada kalian sedikit terbagi karena setelah pulang kerja harus bekerja lagi untuk menyelesaikan penulisan Skripsi ini.
8. Dan seluruh rekan – rekan mahasiswa yang telah banyak membantu moril maupun materiil dalam penyusunan Skripsi.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan Skripsi ini masih jauh dari sempurna. Karena itu segala kritik dan saran yang bersifat membangun akan saya terima dengan senang hati untuk menambah pengetahuan demi kemajuan penulis dikemudian hari.

Akhirnya, semoga Skripsi ini berguna bagi kita semua dan dapat diambil manfaatnya demi perkembangan Ilmu Teknik Sipil khususnya di Fakultas Teknik Universitas Medan Area.

Medan, September 2014

Penulis,

  
**Rochani**  
10 811 0065

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Hubungan Nilai Indek Plastisitas dengan Jenis Tanah Menurut Atterberg .....	9
Tabel 2.2.	Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah .....	10
Tabel 2.3.	Nilai Perkiraan Poisson's Ratio .....	11
Tabel 2.4.	Harga – Harga (k) untuk Berjenis – Jenis Tanah .....	13
Tabel 4.1.	Data Uji Laboratorium Tanah .....	52
Tabel 4.2.	Perhitungan Beban Awal .....	53
Tabel 4.3.	Penambahan Tegangan Vertical Akibat Timbunan Preloading Setinggi 6 Meter .....	55
Tabel 4.4.	Perhitungan Besar Settlement Konsolidasi Akibat Preloading ...	55
Tabel 4.5.	Perhitungan Lamanya Waktu Settlement Konsolidasi .....	56
Tabel 4.6.	Hasil Perhitungan Konsolidasi Akibat Preloading tanpa PVD ....	57
Tabel 4.7.	Perhitungan Settlement Konsolidasi dengan Kombinasi Preloading dan PVD .....	58
Tabel 4.8.	Hasil Konsolidasi pada Tanah Lempung yang Diberi Kombinasi Preloading dan Pemakaian Pre-fabricated Vertical Drain .....	60
Tabel 4.9.	Perbandingan Hasil Perhitungan Konsolidasi Antara Metode Preloading tanpa PVD dengan Metode Kombinasi Preloading dan Pemasangan Pre-fabricated Vertical Drain .....	60
Tabel 4.10.	Tekanan Air Pori Ekses Pada Pizometer D .....	62
Tabel 4.11.	Penurunan Settlement Plate D .....	66
Tabel 4.12.	Perbandingan Hasil Perhitungan Konsolidasi Secara Analisis dengan Data Lapangan Terhadap Metode Perbaikan Tanah dengan Menggunakan Kombinasi antara Preloading dan Pemasangan Pre-fabricated Vertical Drain .....	68

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Tiga Fase Elemen Tanah .....	6
Gambar 2.2.	Batas – Batas Atterberg .....	9
Gambar 2.3.	Grafik Waktu – Pemampatan Selama Konsolidasi .....	17
Gambar 2.4.	Penyebaran Beban 2V : 1H.....	22
Gambar 2.5.	Panjang Lintasan Drainase Satu Arah dan Dua Arah .....	24
Gambar 2.6.	Konsep mempercepat penurunan dengan cara prapembebanan .....	26
Gambar 2.7.	Pemberian Preloading Secara Bertahap dan Secara Counter Weight .....	28
Gambar 2.8.	Material Pre-fabricated Vertical Drain .....	28
Gambar 2.9.	Efek Penggunaan Pre-fabricated Vertical Drain .....	29
Gambar 2.10.	Konfigurasi Pemasangan Vertical Drain .....	33
Gambar 2.11.	Pemasangan Vertical Drain yang Dikombinasikan dengan Preloading .....	34
Gambar 2.12.	Grafik Pengaruh Kehalusan pada Permeabilitas .....	34
Gambar 2.13.	Pola Aliran Air Selama Proses Konsolidasi Dengan dan Tanpa Vertical Drain .....	35
Gambar 2.14.	Pemasangan Instrumen Geoteknik .....	37
Gambar 2.15.	Pemasangan Pizzometer .....	38
Gambar 2.16.	Pemasangan Settlement Plate .....	38
Gambar 2.17.	Pemasangan Inclinometer .....	39
Gambar 2.18.	Pemasangan Ekstensometer .....	40
Gambar 2.19.	Pemasangan Water Stand Pipe .....	40
Gambar 3.1.	Lokasi Penelitian di Kawasan Bandara Internasional Kualanamu .....	42
Gambar 3.2.	Desain Perkerasan Rigid .....	43
Gambar 3.3.	Desain Perencanaan Timbunan Struktur dan Preloading .....	44
Gambar 3.4.	Desain Konfigurasi Pemasangan Pre-fabricated Vertical Drain .....	45
Gambar 3.5.	Flow Chart Pelaksanaan Pekerjaan .....	46
Gambar 3.6.	Pemasangan Pre-fabricated Vertical Drain .....	48



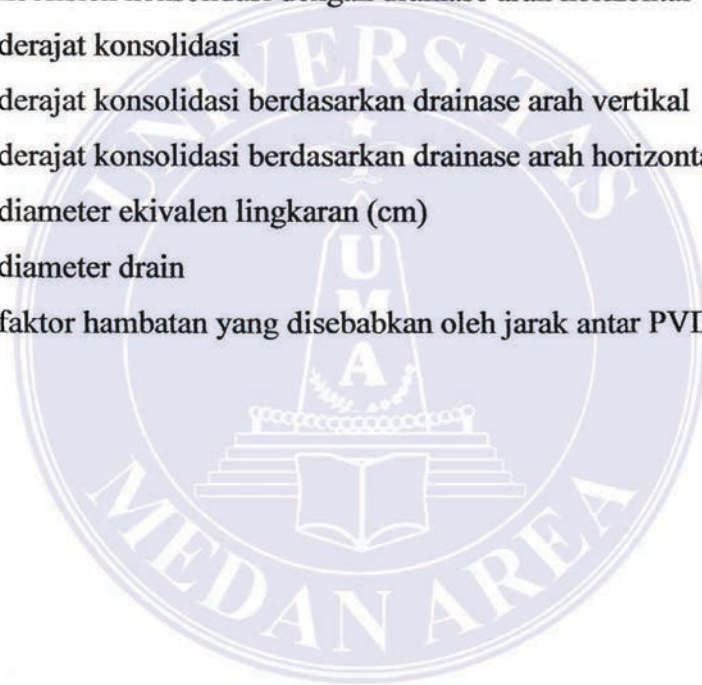
Gambar 3.7.	Pemasangan Geotextile, Sand Blanket dan PVD .....	49
Gambar 3.8.	Penampang Timbunan Preloading dan Counter Weight .....	50
Gambar 3.9.	Penampang Instrumentasi, Timbunan Struktur dan Preloading .....	51
Gambar 4.1.	Skema Penyebaran Beban 2V : 1H .....	54
Gambar 4.2.	Tekanan Air Pori Ekses Pada Pizzometer D .....	65
Gambar 4.3.	Penurunan Terhadap Waktu Berdasarkan Data Lapangan (Settlement Plate D) .....	66
Gambar 4.4.	Hubungan Antara Penurunan dan Waktu Berdasarkan Empiris (Settlement Plate D) .....	67



## DAFTAR NOTASI

$V_s$	=	volume butiran padat
$V_v$	=	volume pori
$V_w$	=	volume air di dalam pori
$V_a$	=	volume udara di dalam pori
$W_s$	=	berat butiran padat
$W_w$	=	berat air
$e$	=	angka pori
$n$	=	porositas
$s$	=	derajat kejenuhan
$w$	=	kadar air
$\gamma$	=	berat volume
$\gamma_{sat}$	=	berat volume jenuh / saturated ( $t/m^3$ )
$\gamma_w$	=	berat volume air ( $t/m^3$ )
$G_s$	=	berat spesifik
$LL$	=	batas cair
$PL$	=	batas plastis
$PI$	=	indeks plastisitas
$S$	=	penurunan total
$S_i$	=	penurunan segera
$S_p$	=	penurunan akibat konsolidasi primer
$S_s$	=	penurunan akibat konsolidasi sekunder
$S_c$	=	besar penurunan lapisan tanah akibat konsolidasi
$C_c$	=	indek pemampatan ( <i>compression index</i> )
$H$	=	tebal lapisan tanah
$e_o$	=	angka pori awal
$P_o$	=	tekanan efektif rata-rata
$\Delta p$	=	besar penambahan tekanan
$q$	=	beban terbagi rata pada dasar pondasi

L	=	panjang pondasi
B	=	lebar pondasi
Z	=	kedalaman yang ditinjau
$T_v$	=	Faktor waktu, ditentukan berdasarkan derajat konsolidasi (u)
Hdr	=	Panjang maksimum lintasan drainase
$C_v$	=	Koefisien konsolidasi
T	=	Waktu konsolidasi
$T_c$	=	waktu konsolidasi yang dipengaruhi oleh <i>drainase</i> arah horizontal
$T_h$	=	faktor waktu untuk <i>drainase</i> arah horizontal
D	=	diameter zona pengaruh satu <i>drain</i>
$C_h$	=	koefisien konsolidasi dengan drainase arah horizontal
U	=	derajat konsolidasi
$U_v$	=	derajat konsolidasi berdasarkan drainase arah vertikal
$U_h$	=	derajat konsolidasi berdasarkan drainase arah horizontal
$D_e$	=	diameter ekivalen lingkaran (cm)
Dw	=	diameter drain
F(n)	=	faktor hambatan yang disebabkan oleh jarak antar PVD



## DAFTAR ISI



ABSTRAK .....	i
ABSTRACT .....	ii
KATA PENGANTAR .....	iii
DAFTAR TABEL .....	v
DAFTAR GAMBAR .....	vi
DAFTAR NOTASI .....	viii
DAFTAR ISI .....	x
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Maksud dan Tujuan .....	2
1.3 Permasalahan .....	2
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Metode Pengumpulan Data .....	4
<b>BAB II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>6</b>
2.1 Pengertian Tanah .....	6
2.1.1 Komposisi Tanah .....	6
2.1.2 Batas-Batas Konsistensi Tanah .....	9
2.1.3 Modulus Elastisitas Tanah .....	10
2.1.4 Poisson's Ratio .....	10
2.2 Lapisan Material Tanah dan Perilaku Tanah .....	11
2.2.1 Tanah Lunak .....	14
2.2.2 Konsolidasi .....	15
2.2.3 Penurunan Tanah (settlement) .....	17
2.2.4 Perbaikan Tanah .....	24
2.2.5 Prapembebanan ( <i>Preloading</i> ) .....	26
2.2.6 Pre-fabricated Vertical Drain .....	28
2.2.7 Instrumentasi dan Monitoring Settlement Konsolidasi ...	36
<b>BAB III. METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>42</b>
3.1 Lokasi Penelitian .....	42

3.2	Data Teknis Perencanaan .....	42
3.2.1	Data Penyelidikan Tanah ( <i>Soil Investigation</i> ).....	43
3.2.2	Desain Timbunan Struktur .....	44
3.2.3	Desain Perencanaan <i>Preloading</i> .....	44
3.2.3	Desain Perencanaan <i>Pre-fabricated Vertical Drain</i> .....	45
3.3	Pelaksanaan Pekerjaan .....	45
BAB IV. ANALISA DAN PEMBAHASAN .....		52
4.1	Analisa Perhitungan Perbaikan Tanah dengan Metode <i>Preloading</i> tanpa <i>Pre-fabricated Vertical Drain</i> .....	52
4.1.1	Menganalisa Besarnya <i>Settlement</i> Konsolidasi .....	55
4.1.2	Menganalisa Lamanya Waktu <i>Settlement</i> Konsolidasi ....	56
4.2	Analisa Perhitungan Perbaikan Tanah dengan Metode Kombinasi antara <i>Preloading</i> dan <i>Pre-fabricated Vertical Drain</i> .....	57
4.2.1	Menganalisa Besarnya <i>Settlement</i> Konsolidasi .....	57
4.2.2	Menganalisa Lamanya Waktu <i>Settlement</i> Konsolidasi ....	58
4.3	Perhitungan dan Evaluasi Monitoring Instrumen Geoteknik .....	61
4.3.1	Evaluasi Pembacaan Piezometer .....	61
4.3.2	Evaluasi Pembacaan <i>Settlement Plate</i> .....	65
4.3.3	Kesimpulan dan Rekomendasi .....	67
4.4	Perbandingan Hasil Perhitungan Analisa dan Data Lapangan.....	68
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN .....		69
5.1	Kesimpulan .....	69
5.2	Saran .....	69
DAFTAR PUSTAKA .....		71
LAMPIRAN .....		73

# BAB I

## PENDAHULUAN



### 1.1 Latar Belakang

Bandar Udara Internasional Kuala Namu adalah bandar udara baru yang lokasinya merupakan bekas areal perkebunan kelapa sawit milik PT. Perkebunan Nusantara II, dimana sebagian besar kondisi tanahnya merupakan tanah lunak. Kondisi tanah dasar yang lunak menyebabkan tanah mengalami penurunan yang besar dan dalam waktu yang cukup lama pada saat dilakukan penimbunan. Hal ini menjadi kendala utama pada pelaksanaan konstruksi bangunan di atasnya. Oleh karena itu hampir di seluruh lokasi pembangunan bandar udara Kualanamu terutama pada sisi udara dilakukan perbaikan tanah dengan menggunakan kombinasi antara *preloading* dan pemasangan *pre-fabricated vertical drain* untuk mempercepat proses konsolidasi tanah, tidak terkecuali pada pembangunan apron cargo bandar udara Kualanamu.

*Preloading* adalah pemberian beban awal yang dilakukan dengan cara memberikan beban berupa timbunan yang bersifat sementara di atas permukaan timbunan struktur dengan tujuan agar penurunan yang akan terjadi akibat beban konstruksi dicapai sebelum beban konstruksi sebenarnya bekerja. Material *preloading* ini nantinya akan dipotong dan dibuang setelah besarnya penurunan dalam rentang waktu yang ditinjau tidak lagi berubah dan telah mencapai derajat konsolidasi yang diinginkan.

*Pre-fabricated vertical drain* adalah merupakan media yang berfungsi untuk mengalirkan air pori secara vertikal selama proses konsolidasi tanah berlangsung. Selanjutnya air pori yang mengalir secara vertikal melalui *pre-fabricated vertical drain* akan dialirkan secara horizontal melalui media yang disebut *sand blanket* menuju ke drainase sementara yang berada pada sisi kiri dan kanan struktur perkerasan.

Untuk mengetahui besarnya penurunan dan kecepatan konsolidasi akibat kombinasi *preloading* dan pemasangan *pre-fabricated vertical drain*,

dilakukan monitoring secara berkala dengan menggunakan peralatan yang disebut instrumen geoteknik. Peralatan terdiri dari *pneumatic piezometer*, *extensometer*, *settlement plat*, dan *water standpipe* yang dipasang bersamaan dengan proses penimbunan, baik timbunan struktur maupun timbunan preloading.

## 1.2 Maksud dan Tujuan

Maksud penulisan Skripsi ini adalah untuk menganalisa besarnya penurunan tanah yang terjadi akibat *preloading*, dan menganalisa lamanya waktu konsolidasi tanah akibat kombinasi beban *preloading* dan pemasangan *pre-fabricated vertical drain*.

Sedangkan tujuan dari penulisan Skripsi ini adalah untuk membandingkan besarnya penurunan tanah dan lamanya proses konsolidasi antara perhitungan analitis dengan realisasi melalui monitoring pekerjaan di lapangan dengan menggunakan peralatan instrumen geoteknik, pada proyek Pembuatan Apron Cargo & Fasilitas Penunjang Bandara Medan Baru Kualanam.

## 1.3 Permasalahan

Dengan *preloading* lapisan tanah dibebani terlebih dahulu, sehingga penurunan yang akan terjadi akibat beban konstruksi dicapai sebelum beban konstruksi tersebut bekerja. Dengan pemasangan *pre-fabricated vertical drain* proses penurunan terjadi semakin cepat karena tekanan air pori eksese yang terjadi akibat *preloading* akan mengalami drainase dalam arah horizontal dan dalam arah vertikal. Metode *preloading* dengan *pre-fabricated vertical drain* akan mengakibatkan daya dukung tanah semakin besar dan membuat tanah menjadi mampat dalam waktu yang lebih singkat. Metode ini sangat efektif pada lapisan tanah lempung atau lanau yang umumnya mempunyai permeabilit yang sangat kecil sampai  $10^{-4}$  cm/det. Metode ini kurang efektif jika digunakan pada lapisan tanah pasir.

Metode kombinasi *preloading* dan pemasangan *pre-fabricated vertical drain* ini dipilih sebagai metode perbaikan tanah dasar pada proyek Pembuatan Apron Cargo & Fasilitas Penunjang Bandara Medan Baru Kualanam.

Berdasarkan hasil penyelidikan tanah, baik penyelidikan di lapangan maupun penyelidikan di laboratorium menunjukkan tanah di lokasi ini sangat kompresibel dengan ketebalan lapisan tanah yang sangat kompresibel bervariasi. Dengan metode ini ditargetkan pada saat bandara beroperasi tidak ada lagi terjadi penurunan konsolidasi di apron cargo.

Untuk memenuhi target perencanaan bahwa pada saat bandara beroperasi tidak ada lagi terjadi penurunan konsolidasi serta adanya persyaratan pelaksanaan yang mengharuskan lamanya waktu konsolidasi maksimum selama 60 (enam puluh) hari dengan nilai derajat konsolidasi mencapai minimum 90%. Oleh karena itu untuk menyelaraskan antara target perencanaan dan persyaratan pelaksanaan serta data penyelidikan tanah yang ada, akan muncul beberapa permasalahan. Permasalahan tersebut antara lain :

- a. Merencanakan besarnya beban preloading yang secara analitis mampu memenuhi tuntutan terhadap lamanya waktu maksimum konsolidasi.
- b. Merencanakan pemasangan *pre-fabricated vertical drain* (pola, jarak dan kedalaman pemasangan) untuk mendukung tercapainya nilai minimum derajat konsolidasi.
- c. Melakukan monitoring terhadap parameter desain mengenai perubahan tanah setelah dilakukan *preloading* dan pemasangan *pre-fabricated vertikal drain* melalui pemasangan instrumen geoteknik.
- d. Menganalisa besarnya penurunan yang akan terjadi akibat kombinasi *preloading* dan pemasangan *pre-fabricated vertical drain*.
- e. Menganalisa lamanya waktu proses konsolidasi primer untuk mencapai derajat konsolidasi 90% akibat kombinasi *preloading* dan pemasangan *pre-fabricated vertical drain*.

#### 1.4 Batasan Masalah

Penulisan Skripsi ini mengacu pada desain perencanaan metode perbaikan tanah dengan menggunakan kombinasi preloading dan pemasangan *pre-fabricated vertical drain* pada proyek Pembuatan Apron Cargo & Fasilitas



Penunjang Bandara Medan Baru Kualanamu, dengan batasan pembahasan masalah sebagai berikut :

1. Menganalisa besarnya penurunan yang akan terjadi akibat kombinasi *preloading* dan pemasangan *pre-fabricated vertical drain*.
2. Menganalisa lamanya waktu proses konsolidasi primer untuk mencapai derajat konsolidasi 90% akibat kombinasi *preloading* dan pemasangan *pre-fabricated vertical drain*.
3. Membandingkan besarnya penurunan tanah dan lamanya proses konsolidasi antara perhitungan analitis dengan data monitoring instrumen geoteknik.

### 1.5 Metode Pengumpulan Data

Penulisan Skripsi ini merupakan studi kasus yang dilakukan dengan menggunakan data -data sekunder yang diperoleh dari PT Adhi Karya (Persero) Tbk selaku kontraktor pelaksana proyek Pembuatan Apron Cargo & Fasilitas Penunjang Bandara Medan Baru Kualanamu. Penulisan Skripsi ini terdiri dari lima bab, yaitu :

#### BAB I. Pendahuluan

Merupakan pengantar permasalahan pada studi kasus ini, yang terdiri dari latar belakang, maksud dan tujuan, permasalahan, batasan masalah serta sistematika penulisan.

#### BAB II. Tinjauan Pustaka

Berisikan tinjauan pustaka mengenai pengertian tanah, lapisan tanah dan perilaku tanah, *preloading*, *pre-fabricated vertical drain*, *instrument geotecnic*, penelitian yang berkaitan dengan proses konsolidasi serta pelaksanaan pekerjaan perbaikan tanah di proyek Pembuatan Apron Cargo & Fasilitas Penunjang Bandara Medan Baru Kualanamu.

#### BAB III. Metodologi Penulisan

Berisi penjelasan mengenai data-data perencanaan, metode pelaksanaan dan monitoring selama proses pekerjaan berlangsung.

#### **BAB IV. Analisa dan Pembahasan**

Membahas tentang analisa perhitungan besarnya penurunan tanah dan lamanya waktu konsolidasi, selanjutnya membandingkan analisa perhitungan dengan realisasi di lapanga melalui data monitoring pemasangan instrumen geoteknik.

#### **BAB V. Kesimpulan dan Saran**

Merupakan bab penutup yang berisi kesimpulan serta saran dari hasil analisa dan pembahasan pada BAB IV





## BAB II

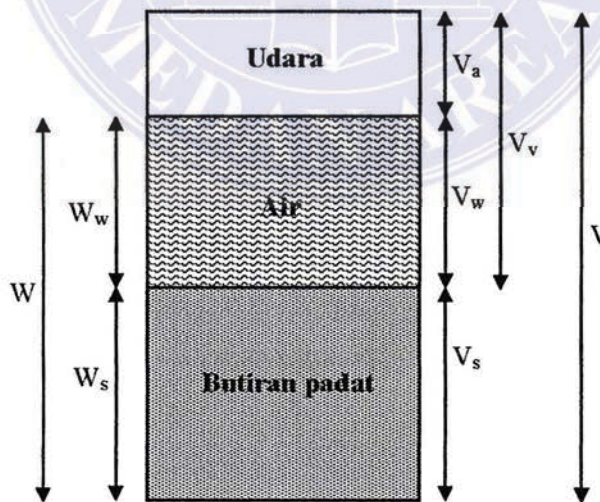
### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Pengertian Tanah

Dalam pengertian teknik secara umum, tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari butiran mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang diantara partikel-partikel padat tersebut. Tanah umumnya dapat disebut sebagai kerikil, pasir, lanau atau lempung, tergantung pada ukuran partikel yang paling dominan pada tanah tersebut (Braja M. Das, 1988).

##### 2.1.1 Komposisi Tanah

Tanah terdiri dari tiga fase elemen yaitu : butiran padat, air dan udara. Seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.1



Gambar 2.1. Tiga Fase Elemen Tanah

Sumber : Braja M Das Jilid I, 1988

Hubungan volume-berat :

$$V = V_s + V_v = V_s + V_w + V_a$$

Dimana :

- $V_s$  = volume butiran padat
- $V_v$  = volume pori
- $V_w$  = volume air di dalam pori
- $V_a$  = volume udara di dalam pori

Apabila udara dianggap tidak mempunyai berat, maka berat total dari contoh tanah dapat dinyatakan dengan :

$$W = W_s + W_w$$

Dimana :

- $W_s$  = berat butiran padat
- $W_w$  = berat air

Hubungan volume yang umum dipakai untuk suatu elemen tanah adalah angka pori, porositas, dan derajat kejenuhan.

### 1. Angka Pori

Angka pori atau *void ratio* ( $e$ ) didefinisikan sebagai perbandingan antara volume pori dan volume butiran padat, atau :

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

### 2. Porositas

Porositas atau *porosity* ( $n$ ) didefinisikan sebagai perbandingan antara volume pori dan volume tanah total, atau :

$$n = \frac{V_v}{V}$$

### 3. Derajat Kejenuhan

Derajat kejenuhan atau *degree of saturation* ( $S$ ) didefinisikan sebagai perbandingan antara volume air dengan volume pori, atau :

$$s = \frac{V_w}{V}$$

Hubungan antara angka pori dan porositas dapat diturunkan dari persamaan, dengan hasil sebagai berikut :

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{n}{1 - n}$$

$$n = \frac{e}{1 + e}$$

#### 4. Kadar Air

Kadar air atau *water content* ( $w$ ) didefinisikan sebagai perbandingan antara berat air dan berat butiran padat dari volume tanah yang diselidiki, yaitu :

$$w = \frac{W_w}{W_s}$$

#### 5. Berat Volume

Berat volume ( $\gamma$ ) didefinisikan sebagai berat tanah per satuan volume.

$$\gamma = \frac{W}{V}$$

#### 6. Berat spesifik

Berat spesifik atau *Specific gravity* ( $G_s$ ) didefinisikan sebagai perbandingan antara berat satuan butir dengan berat satuan volume.

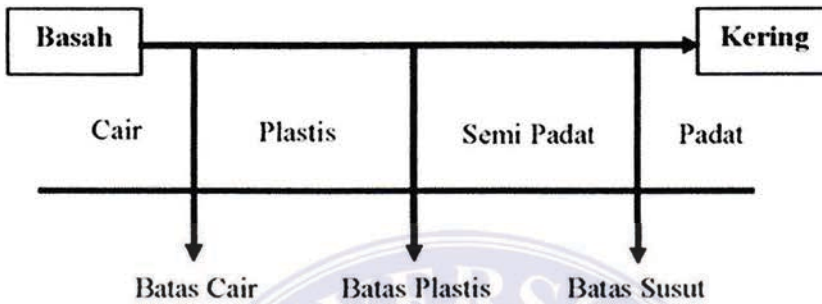
$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$$

### 2.1.2 Batas-Batas Konsistensi Tanah

Sifat konsistensi tanah berbutir halus pada kadar air yang bervariasi disebut batas-batas *Atterberg*. Kegunaan batas *Atterberg* dalam perencanaan adalah memberikan gambaran secara garis besar dari sifat-sifat tanah yang bersangkutan. Bilamana kadar airnya sangat tinggi, campuran tanah dan air akan

UNIVERSITAS MEDAN AREA

menjadi sangat lembek. Tanah yang batas cairnya tinggi biasanya mempunyai sifat teknik yang buruk yaitu kekuatannya rendah, sedangkan *compressibility*nya tinggi sehingga sulit dalam hal pemadatannya. Oleh karena itu, atas dasar air yang dikandung tanah, tanah dapat dipisahkan ke dalam empat keadaan dasar, yaitu : padat, semi padat, plastis dan cair, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.2 di bawah ini:



Gambar 2.2. Batas-Batas Atterberg

Sumber : Braja M Das Jilid I, 1988

1. Batas cair (LL) adalah kadar air tanah antara keadaan cair dan keadaan plastis.
2. Batas plastis (PL) adalah kadar air pada batas bawah daerah plastis.
3. Indeks plastisitas (PI) adalah selisih antara batas cair dan batas plastis, dimana tanah tersebut dalam keadaan plastis, atau :

$$PI = LL - PL$$

Indeks Plastisitas (IP) menunjukkan tingkat keplastisan tanah. Apabila nilai Indeks Plastisitas tinggi, maka tanah banyak mengandung butiran lempung. Klasifikasi tanah berdasarkan nilai Indeks Plastisitas dapat dilihat pada Tabel 2.1 dibawah ini.

Tabel 2.1 Hubungan Nilai Indeks Plastisitas dengan Jenis Tanah Menurut Atterberg

IP	Jenis Tanah	Plastisitas	Kohesi
0	Pasir	Non Plastis	Non Kohesif
<7	Lanau	Rendah	Agak Kohesif
7-17	Lempung berlanau	Sedang	Kohesif
>17	Lempung murni	Tinggi	Kohesif

Sumber : Bowles (1991)

### 2.1.3 Modulus Elastisitas Tanah

Nilai modulus menunjukkan besarnya nilai elastisitas tanah yang merupakan perbandingan antara tegangan yang terjadi terhadap regangan. Nilai ini bisa didapatkan dari *Triaxial Test*. Nilai Modulus elastisitas ( $E_s$ ) secara empiris dapat ditentukan dari jenis tanah yang diperoleh dari data sondir seperti terlihat pada Tabel 2.2 berikut ini.

Tabel 2.2 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah

Jenis Tanah	Modulus Elastisitas ( $E_s$ ) ( $\text{kg/cm}^2$ )
<b>Lempung</b>	
Sangat lunak	3 - 30
Lunak	20 - 40
Sedang	45 - 90
Keras	70 - 200
Berpasir	300 - 425
<b>Pasir</b>	
Berlanau	50 - 200
Tidak padat	100 - 250
Padat	500 - 1000
<b>Pasir dan Kerikil</b>	
Padat	800 - 2000
Tidak padat	500 - 1400
Lanau	20 - 200
Loses	150 - 600
Cadas	1400 - 14000

Sumber : Bowles (1991)

### 2.1.4 Poisson's Ratio

Nilai *poisson's ratio* ditentukan sebagai rasio kompresi poros terhadap regangan pemuai lateral. Nilai *poisson's ratio* dapat ditentukan berdasarkan jenis tanah seperti yang terlihat pada Tabel 2.3 di bawah ini.

Tabel 2.3 Nilai Perkiraan Poisson's Ratio

Jenis Tanah	Poisson's Ratio ( $\mu$ )
Lempung jenuh	0.4 - 0.5
Lempung tak jenuh	0.1 - 0.3
Lempung berpasir	0.2 - 0.3
Lanau	0.3 - 0.35
Pasir padat	0.2 - 0.4
Pasir kasar ( $e = 0.4 - 0.7$ )	0.15
Pasir halus ( $e = 0.4 - 0.7$ )	0.25
Batu	0.1 - 0.4
Loses	0.1 - 0.3

Sumber : Bowles (1991)

## 2.2 Lapisan Material Tanah dan Perilaku Tanah

Tanah berasal dari pelapukan batuan yang pada mulanya merupakan hasil pembekuan dari magma yang membeku, baik itu pelapukan kimia maupun pelapukan secara proses fisika. Tanah juga dapat berubah menjadi batu kembali apabila telah mengalami proses sedimentasi dan juga dapat berubah menjadi batu jenis lain apabila terkena panas, tekanan dan larutan. Tanah merupakan kumpulan butir - butir mineral alam yang tidak melekat atau melekat tidak erat, sehingga sangat mudah untuk dipisahkan.

Jenis – jenis tanah dapat dikelompokkan menurut fraksi – fraksi butiran tanah, campuran butiran tanah dan sifat lekat tanah.

Pengelompokan tanah berdasarkan fraksi - fraksi butiran tanahnya :

1. Kerikil (*gravel*)  $> 2,00$  mm
2. Pasir (*sand*)  $2,00 - 0,06$  mm
3. Lanau (*silt*)  $0,06 - 0,002$  mm
4. Lempung (*clay*)  $< 0,002$  mm

Pengelompokan tanah berdasarkan sifat lekatnya :

1. Tanah kohesif adalah tanah yang mempunyai sifat lekatan antara butiran - butirannya (tanah lempung = mengandung lempung cukup banyak).



2. Tanah non kohesif adalah tanah yang tidak mempunyai atau sedikit sekali lekatan antara butiran - butirannya (hampir tidak mengandung lempung misal pasir).
3. Tanah organik adalah tanah yang sifatnya sangat dipengaruhi oleh bahan - bahan organik (sifat tidak baik).

Pengelompokan tanah dalam praktek berdasarkan campuran butiran tanahnya :

1. Tanah berbutir kasar adalah tanah yang sebagian besar butir - butir tanahnya berupa pasir dan kerikil.
2. Tanah berbutir halus adalah tanah yang sebagian besar butir - butir tanahnya berupa lempung dan lanau.
3. Tanah organik adalah tanah yang cukup banyak mengandung bahan- bahan organik.

Tanah memiliki sifat – sifat atau perilaku mekanis yang bergantung pada jenis dan kondisi butiran – butiran mineral yang dominan didalamnya. Sifat – sifat atau perilaku tanah yang penting adalah sebagai berikut :

#### 1. Permeabilitas (Permeability)

Semua jenis tanah memiliki perilaku atau sifat lulus air (*permeable*), dimana air bebas mengalir melalui ruang – ruang kosong yang terdapat pada butiran – butiran tanah (R.F Craig, 1989). Permeabilitas didefinisikan sebagai sifat bahan berongga yang memungkinkan air atau cairan lainnya untuk menembus atau merembes melalui hubungan antar pori. Bahan yang mempunyai pori – pori kontinu disebut dapat tembus (*permeable*). Kerikil mempunyai sifat dapat tembus yang tinggi sedangkan lempung kaku mempunyai sifat dapat tembus yang rendah dan karena itu lempung disebut tidak dapat tembus (*impermeable*) untuk semua tujuan pekerjaan yang berhubungan dengan tanah tersebut. Permeabilitas menentukan kecepatan penurunan lapisan tanah jenuh yang dapat dimampatkan (Ir. G. Djatmiko Sudarmo & Ir. S.J Edy Purnomo, 1993).

Hukum pengaliran air melalui tanah pertama kali dipelajari oleh Darcy (1856) yang mendemonstrasikan percobaannya untuk aliran laminer dalam kondisi tanah jenuh. Kecepatan aliran dan kuantitas/debit air per satuan waktu adalah proporsional dengan gradien hidrolis. Berdasarkan percobaan tersebut, Darcy memberikan besarnya nilai koefisien permeabilitas (k) untuk jenis – jenis tanah seperti tabel berikut :

Tabel 2.4 Harga - Harga (k) untuk Berjenis - Jenis Tanah

Jenis Tanah	Koefisien Permeabilitas (cm/detik)		
Kerikil bersih		1.0	
Pasir kasar bersih	1.0	-	$10^{-2}$
Pasir campur lempung, lanau	$10^{-2}$	-	$5 \times 10^{-2}$
Pasir halus	$5 \times 10^{-2}$	-	$10^{-3}$
Pasir kelanauan	$2 \times 10^{-3}$	-	$10^{-4}$
Lanau	$5 \times 10^{-4}$	-	$10^{-5}$
Lempung	$5 \times 10^{-6}$	-	$10^{-9}$

Sumber : Ir. G. Djatmiko Sudarmo & Ir. S.J Edy Purnomo (1993)

## 2. Konsolidasi (Consolidation)

Konsolidasi merupakan salah satu perilaku tanah atau sifat tanah yang mengakibatkan terjadinya penurunan (*settlement*) pada suatu bangunan. Konsolidasi adalah suatu proses berkurangnya volume secara perlahan – lahan pada tanah jenuh sempurna dengan permeabilitas rendah akibat pengaliran sebagian air pori yang menyebabkan tanah mengalami pemampatan, proses tersebut berlangsung terus sampai kelebihan tekanan air pori yang disebabkan kenaikan tegangan total telah benar – benar hilang (R.F. Craig, 1989).

## 3. Tegangan Geser (*Shear Strength*)

Tegangan geser tanah dapat didefinisikan untuk menentukan kemampuan tanah menahan tekanan-tekanan tanpa mengalami keruntuhan. Dalam aplikasinya, parameter kekuatan geser tanah dapat digunakan untuk menghitung daya dukung tanah dasar, stabilitas lereng dan tegangan lateral.

Sifat-sifat fisik lainnya adalah batas-batas *Atterberg*, kadar air, kadar pori, kepadatan relatif, pembagian butir, kepekaan dan sebagainya.

### 2.2.1 Tanah Lunak

Tanah lunak adalah tanah yang memiliki kuat geser undrained lapangan kurang dari 40 kPa dan kompresibilitas tinggi (Pusat Litbang Prasarana Transportasi Departemen Pekerjaan Umum, 2005). Lapisan tanah lunak adalah lempung atau lanau yang mempunyai harga percobaan penetrasi standar (*Standard Penetration Test = SPT*) N 4 atau tanah organik seperti gambut (*peat*) yang mempunyai kadar air alami sangat tinggi, demikian pula tanah pasir lepas yang mempunyai harga N 10 (G. Djatmiko Soedarmo dan S.J Edy Purnomo, 1993).

Secara umum tanah lempung lunak (kohesif) memiliki karakteristik :

- Daya dukung relatif rendah.
- Pemampatan relatif besar dan berlangsung dalam waktu yang relatif lama disebabkan pori tanah terisi oleh banyak air.

Problem bangunan di atas lempung lunak :

- Beban bangunan yang mampu dipikul tanah dasar relatif terbatas.
- Bangunan akan mengalami penurunan yang relatif besar dan berlangsung relatif lama.
- Bangunan sekitar lokasi pembangunan akan mengalami gangguan.

Tanah berbutir halus adalah tanah yang sebagian besar butiran-butiran tanahnya berupa lempung dan lanau. Tanah berbutir halus disebut juga sebagai tanah kohesif, contoh tanah berbutir halus adalah lempung, lempung lanau, dan lempung bercampur pasir dengan kerikil. Sifat keteknikan yang mencolok dari tanah berbutir halus ini adalah :

1. Memiliki *shear strength* yang rendah.
2. Plastis dan mudah dimampatkan (*compressible*).

3. Kehilangan sebagian ketahanan gesernya akibat pembasahan dan akibat adanya gangguan.
4. Mengalami deformasi secara plastis dibawah beban konstan.
5. Kembang-kerut: mengembang bila basah dan mengerut bila kering.
6. Tidak baik sebagai material ruangan karena bertekanan lateral tinggi.
7. Tidak baik juga untuk material urugan tanggul, karena ketahanan geser yang rendah dan sulit dikompaksi atau dipadatkan.
8. Sangat kedap air.
9. Setiap lempung rawan longsor.

Lempung memiliki sifat keteknikan yang khusus dimana lempung akan mengembang (*swelling*) bila lempung tersebut basah dan akan mengerut (*shrinking*) bila lempung tersebut kering.

### 2.2.2 Konsolidasi

Konsolidasi adalah suatu proses berkurangnya volume secara perlahan – lahan pada tanah jenuh sempurna dengan permeabilitas rendah akibat pengaliran sebagian air pori yang menyebabkan tanah mengalami pemampatan, proses tersebut berlangsung terus sampai kelebihan tekanan air pori yang disebabkan kenaikan tegangan total telah benar – benar hilang (R.F. Craig, 1989).

Peristiwa konsolidasi pada umumnya terjadi karena adanya muatan atau beban di atas permukaan tanah. Bila suatu lapisan tanah mengalami tambahan beban di atasnya maka air pori akan mengalir dari lapisan tersebut dan volumenya akan berkurang atau dengan kata lain akan mengalami konsolidasi (Anissa Maria Hidayati, Made Dodiok Wirya Ardana, 2008).

Pada umumnya konsolidasi akan berlangsung dalam satu arah vertikal saja, karena lapisan yang mendapat beban tambahan tersebut tidak dapat bergerak dalam arah horizontal akibat ditahan oleh tanah sekelilingnya. Dalam keadaan seperti ini pengaliran air juga akan berjalan dalam arah vertikal saja. Ini disebut dengan konsolidasi satu jurusan (*one dimensional consolidation*) dan perhitungan

konsolidasi hampir selalu didasarkan pada teori ini. Pada waktu konsolidasi berlangsung, bangunan di atas permukaan lapisan tanah tersebut akan menurun.

Prosedur untuk melakukan uji konsolidasi satu dimensi pertama kali diperkenalkan oleh Terzaghi (Braja M. Das, 1988), dengan asumsi :

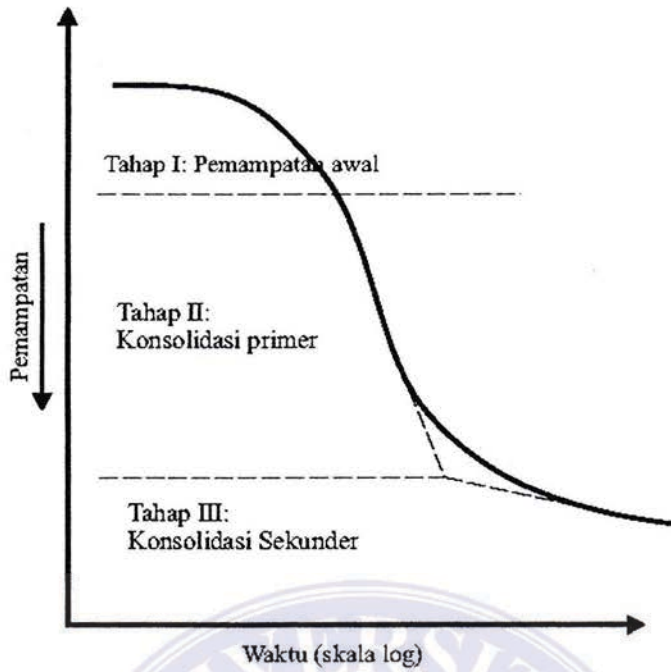
- konsolidasi satu dimensi hanya terjadi pada arah vertikal,
- lempung dalam keadaan jenuh air,
- air tidak dapat ditekan (*incompressible*),
- partikel tanah tidak dapat ditekan (*incompressible*),
- berlaku hukum Darcy,
- deformasi tanah kecil,
- permeabilitas tanah konstan, dan
- kerangka tanah pada setiap lapisan homogen, sehingga mengikuti *isotropic linear elastic constitutive law*.

dan menghasilkan grafis yang menunjukkan hubungan antara pemampatan dan waktu seperti yang ditunjukkan dalam gambar Gambar 2.3. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa ada tiga tahapan yang berbeda yang dapat dijelaskan sebagai berikut :

Tahap I : Pemampatan awal (*initial compression*), yang pada umumnya disebabkan oleh pembebanan awal.

Tahap II : Konsolidasi primer (*primary consolidation*), yaitu periode selama tekanan 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*), yang terjadi setelah air pori hilang seluruhnya. Pemampatan yang terjadi di sini adalah disebabkan oleh penyesuaian yang bersifat plastis dari butir – butir tanah.



Gambar 2.3. Grafik waktu – pemampatan selama konsolidasi  
Sumber : Braja M Das Jilid I, 1988

### 2.2.3 Penurunan Tanah (settlement)

Penurunan tanah (*settlement*) terjadi jika material tanah menerima beban di atasnya, penurunan yang terjadi merupakan perubahan regangan sepanjang kedalaman (E. Sutarman, 2009). Penurunan tanah yang mengalami pembebanan, secara garis besar diakibatkan oleh konsolidasi. Konsolidasi adalah gejala yang menggambarkan deformasi yang tergantung pada waktu dalam suatu medium berpori jenuh seperti tanah yang mengalami pembebanan external.

Penurunan konsolidasi adalah penurunan yang terjadi memerlukan waktu yang lamanya tergantung pada kondisi lapisan tanahnya. Penurunan konsolidasi dapat dibagi menjadi tiga fase, dimana :

Fase awal, yaitu fase dimana terjadi penurunan segera setelah beban bekerja. Dalam fase ini terjadi proses penekanan udara keluar dari pori tanahnya. Proporsi penurunan awal dapat diberikan dalam perubahan angka pori dan dapat ditentukan dari kurva waktu terhadap penurunan dari pengujian konsolidasi.

Fase konsolidasi primer atau konsolidasi hidrodinamis, yaitu penurunan yang dipengaruhi oleh kecepatan aliran air yang meninggalkan tanahnya akibat tekanan. Proses konsolidasi primer sangat dipengaruhi oleh sifat tanahnya seperti permeabilitas, angka pori, bentuk geometri tanah termasuk tebal lapisan mampat, pengembangan arah horizontal dari zona mampat dan batas lapisan lolos air, dimana air keluar menuju lapisan lolos air.

Fase konsolidasi sekunder, yaitu merupakan lanjutan dari proses konsolidasi primer, dimana prosesnya berjalan sangat lambat. Penurunan pada fase ini jarang diperhitungkan karena biasanya sangat kecil, kecuali pada jenis tanah organik tinggi dan beberapa lempung tak organik yang sangat mudah mampat.

Penurunan total adalah merupakan jumlah dari penurunan segera dan penurunan konsolidasi. Bila dinyatakan dalam bentuk persamaan penurunan total adalah :

$$S = S_i + S_p + S_s$$

dimana :

S = penurunan total

$S_i$  = penurunan segera

$S_p$  = penurunan akibat konsolidasi primer

$S_s$  = penurunan akibat konsolidasi sekunder

a. Penurunan Segera (*immediately settlement*)

Penurunan segera atau penurunan elastic dari suatu pondasi terjadi segera setelah pemberian beban tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan kadar air. Besarnya penurunan ini tergantung pada ketentuan dari pondasi dan jenis material dimana pondasi itu berada (Braja M. Das, 1988).

Pada tanah yang jenuh sempurna, saat terjadi penurunan segera, beban masih sepenuhnya dipikul oleh air pori, dalam kondisi ini tegangan air pori menjadi bertambah yang dikenal dengan istilah *excesss pore water preasure* (tegangan air pori berlebih). Apabila tanah memiliki permeabilitas rendah,

maka tegangan air pori berlebih hanya akan terdisipasi keluar dengan waktu yang sangat lama, kondisi ini dikenal pula dengan nama *undrained condition* (Grouw, 2009)

Pada umumnya penurunan segera dominan terjadi pada tanah pasir, sedangkan pada tanah lempung jarang terjadi sehingga dalam perhitungan sering diabaikan.

b. Penurunan Konsolidasi (*consolidation settlement*)

Penurunan konsolidasi merupakan penurunan yang terjadi karena terdisipasinya tegangan air berlebih pada *undrained condition* menuju *drained condition*. Menurut Weasley (1977), bilamana suatu lapisan tanah mengalami tambahan beban di atasnya, maka seiring berjalannya waktu air pori akan mengalir ke luar dari pori – pori tanah tersebut dan volume total tanah akan menjadi lebih kecil. Besarnya penurunan tanah yang terjadi selama proses konsolidasi ini disebut penurunan konsolidasi. Pada umumnya konsolidasi berlangsung satu arah yaitu arah vertikal, karena lapisan yang ditambahkan beban tersebut tidak bergerak ke arah horizontal sebab ditahan oleh tanah di sekelilingnya. Penurunan ini disebut juga dengan penurunan satu dimensi (*one dimentional settlement*).

Saat konsolidasi berlangsung, maka lapisan tanah tersebut akan mengalami penurunan yang mengakibatkan struktur di atasnya juga mengalami penurunan. Ada dua hal yang harus ditinjau dan diperhatikan lebih lanjut dari penurunan tersebut, yaitu :

- besarnya penurunan yang akan terjadi, dan
- waktu yang dibutuhkan untuk mencapai penurunan tertentu

Tanah pasir sangat mudah dilalui oleh air (permeabilitas tinggi) sehingga penurunan berlangsung sangat cepat, oleh sebab itu pada waktu pembangunan di atas tanah pasir selesai maka penurunan dianggap selesai pula, karena itu penurunan yang terjadi pada tanah pasir ini disebut



penurunan segera dan dapat dikatakan pula tidak terjadi penurunan konsolidasi pada tanah pasir.

Sebaliknya pada tanah lempung yang sulit dilalui oleh air (permeabilitas rendah) tegangan air pori berlebih memerlukan waktu yang lama untuk terdisipasi, dengan demikian penurunan konsolidasi membutuhkan waktu yang sangat lama. Oleh sebab itu penurunan konsolidasi dapat dikatakan hanya terjadi pada lapisan tanah lempung. Selain masalah permeabilitas tanah, panjang lintasan tempuh air pori untuk keluar juga mempengaruhi kecepatan / waktu yang dibutuhkan lapisan tanah untuk mengalami penurunan konsolidasi.

Saat penambahan beban terjadi, maka tegangan tanah total meningkat. Pada saat jenuh air, maka tegangan total ini dipikul oleh air pori sehingga tegangan air pori pada elemen tanah meningkat. Bersamaan dengan berjalannya waktu, tegangan air pori berlebih terdisipasi dan terjadi transfer beban dari air pori ke partikel tanah. Tegangan yang dipikul oleh partikel tanah ini disebut tegangan tanah efektif. Akhir dari proses konsolidasi adalah pada saat tegangan air pori berlebih sama dengan nol, dan seluruh beban telah dipikul oleh partikel tanah.

c. Penurunan Sekunder (*secondary settlement*)

Penurunan sekunder dikenal pula dengan sebutan penurunan rangkak (*creep*) yang terjadi setelah penurunan konsolidasi. Penurunan ini terjadi akibat penyesuaian butiran – butiran tanah pada kerangka tanah setelah tegangan air pori berlebih terdisipasi sempurna ( $u=0$ ). Jadi selama proses penurunan sekunder ini terjadi tidak ada perubahan tegangan efektif tanah, dan penurunan sekunder umumnya berlangsung dalam waktu yang sangat lama.

Untuk menghitung penurunan akibat konsolidasi tanah primer dapat digunakan rumus (Braja M. Das, 1988) sebagai berikut :

$$S_c = \frac{C_c \cdot H}{1 + e_0} \log \left( \frac{P_0 + \Delta p}{P_0} \right)$$

Dimana :

$S_c$  = besar penurunan lapisan tanah akibat konsolidasi

$C_c$  = indek pemampatan

$H$  = tebal lapisan tanah

$e_0$  = angka pori awal

$P_0$  = tekanan efektif rata-rata

$\Delta p$  = besar penambahan tekanan

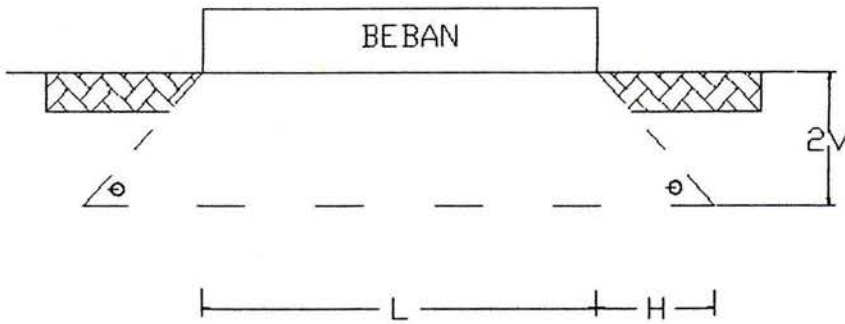
Untuk menghitung indek pemampatan lempung yang struktur tanahnya belum terganggu / belum rusak, menurut Terzaghi dan Peck (1967) yang dikutip oleh Braja M. Das (1998) menyatakan penggunaan rumus empiris sebgai berikut :

$C_c = 0,009 (LL-10)$ , dengan LL adalah liquid limit dalam persen

dan indek pemuaiian adalah lebih kecil daripada indeks pemampatan dan biasanya dapat ditentukan di laboratorium. Pada umumnya indek pemuaiian menurut Braja M. Das (1988) sebesar :

$$C_s = \frac{1}{5} \text{ sampai dengan } \frac{1}{10} C_c$$

Salah satu pendekatan yang sangat sederhana untuk menghitung tambahan tegangan beban di permukaan Boussinesq. Caranya adalah dengan membuat garis penyebaran beban  $2V : 1H$  (2 vertical berbanding 1 horizontal). Gambar 2.2. menunjukkan garis penyebaran beban. Dalam cara ini dianggap beban pondasi didukung oleh pyramid yang mempunyai kemiringan  $2V : 1H$ .



Gambar 2.4 Penyebaran Beban 2V : 1H

Sumber : Suryadi HS (Universitas Gunadarma, 1998)

Tambahan tegangan vertikal dinyatakan dalam persamaan :

$$\Delta p = \frac{q.L.B}{((L+Z)(B+Z))}$$

Dimana :

- $\Delta p$  = tambahan tegangan vertikal
- $q$  = beban terbagi rata pada dasar pondasi
- $L$  = panjang pondasi
- $B$  = lebar pondasi
- $Z$  = kedalaman yang ditinjau

#### d. Kecepatan Waktu Penurunan

Lamanya waktu penurunan yang diperhitungkan adalah waktu yang dibutuhkan oleh tanah untuk melakukan proses konsolidasi. Hal ini dikarenakan proses penurunan segera berlangsung sesaat setelah beban bekerja pada tanah ( $t = 0$ ).

Waktu penurunan akibat konsolidasi primer tergantung pada besarnya kecepatan konsolidasi tanah lempung yang dihitung dengan memakai koefisien konsolidasi ( $C_v$ ), panjang aliran rata – rata yang harus ditempuh air pori selama proses konsolidasi ( $H_{dr}$ ) serta faktor waktu ( $T_v$ ). Faktor waktu ( $T_v$ ) ditentukan berdasarkan derajat konsolidasi ( $u$ ) yang merupakan perbandingan penurunan yang telah terjadi ( $S_{ct}$ ) dengan penurunan

konsolidasi ( $S_c$ ), dimana  $S_{ct}$  adalah besar penurunan aktual saat ini ( $S_t$ ) dikurangi besar penurunan segera ( $S_i$ ).

$$U = \frac{S_t - S_i}{S_c} \text{ Cassagrande (1938) dan Taylor (1948) yang dikutip Braja}$$

M. Das (1998) memberikan hubungan  $U$  dan  $T_v$  sebagai berikut :

- Untuk  $U < 60\%$  ;  $T_v = \frac{\pi}{4} \left( \frac{U\%}{100} \right)^2$
- Untuk  $U > 60\%$  ;  $T_v = 1,781 - 0,9 \log(1-U)$

Untuk menghitung waktu konsolidasi, digunakan persamaan berikut :

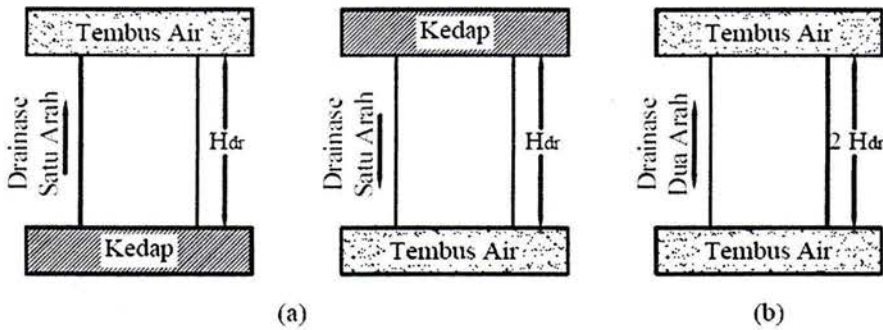
$$T = \frac{T_v \cdot H^2}{C_v}$$

Dimana :

- $T_v$  = Faktor waktu, ditentukan berdasarkan derajat konsolidasi ( $u$ )
- $H$  = Panjang maksimum lintasan drainase
- $C_v$  = Koefisien konsolidasi
- $T$  = Waktu konsolidasi

Panjang aliran rata – rata ditentukan sebagai berikut :

- Untuk tanah dimana air porinya dapat mengalir ke arah atas dan bawah, maka  $H$  sama dengan setengah tebal lapisan tanah yang mengalami konsolidasi. Hal ini disebabkan karena lapisan porous terletak pada dua sisi (atas dan bawah).
- Untuk tanah dimana air porinya hanya dapat mengalir keluar ke dalam satu arah saja, maka  $H$  sama dengan tebal lapisan tanah yang mengalami konsolidasi. Hal ini disebabkan karena lapisan porous hanya terletak pada satu sisi (atas atau bawah), sebagaimana ditunjukkan pada gambar di bawah ini :



Gambar 2.5. Panjang Lintasan Drainase Satu Arah (a) dan Dua Arah (b)

Sumber : Braja M Das Jilid I, 1988

## 2.2.4 Perbaikan Tanah

Di beberapa daerah / lokasi, bangunan sering terpaksa dibangun di atas atau pada tanah jelek. Tanah jelek ditandai oleh air tanah yang tinggi, kuat dukung yang rendah, kembang susut yang besar, dan kemampuan berubah bentuk yang tinggi. Untuk memenuhi persyaratan dan kebutuhan yang ditentukan, maka terlebih dulu harus dilakukan perbaikan tanah.

Perbaikan tanah atau stabilisasi tanah menurut Scott (1981) yang diikuti oleh Prof. Ir. Suryo Hapsoro Tri Utomo, Ph.D dalam pidato pengukuhan jabatan Guru Besar Universitas Gadjah Mada, stabilisasi tanah adalah setiap metode buatan untuk menambah kekuatan tanah, mengurangi penyusutan tanah, dan memastikan bahwa tanah tidak akan bergerak. Dalam dunia teknik sipil stabilisasi tanah merupakan usaha untuk menjadikan tanah dapat memenuhi persyaratan dan kebutuhan teknik tertentu. Persyaratan kebutuhan teknik tertentu dimaksud diantaranya adalah kekuatan, kemampumampatan (*compressible*) kemudahan dikerjakan, sifat kembang susut, dan sensitivitas terhadap pengaruh air. Metode stabilisasi tanah yang biasa digunakan dapat dikelompokkan menjadi empat kelompok besar, yaitu :

### a. Stabilisasi Mekanis

Stabilisasi mekanis merupakan metode perbaikan tanah menggunakan energi tanpa penambahan bahan asing. Metode ini sering digunakan untuk stabilisasi tanah dalam berbagai keperluan. Dalam perkembangannya selaras

dengan perkembangan teknologi dan ilmu pengetahuan, stabilisasi mekanis saat ini dilakukan dengan cara antara lain cara tekan, cara tumbuk, cara getar dan kombinasi dari cara – cara tersebut. Cara tekan ialah dengan cara memberikan beban statis secara terus menerus atau secara interval. Cara tumbuk dan cara getar dilaksanakan dengan memberikan beban dinamis secara kontinyu.

b. Stabilisasi dengan Bahan Perkuatan

Bahan perkuatan untuk stabilisasi tanah telah digunakan sejak sebelum masehi. Menurut Sockoto (1984) dengan adanya penambahan bahan campuran tertentu pada tanah akan terjadi perubahan gradasi butiran tanah. Perubahan ini membuat tanah memiliki kekuatan yang baik terhadap deformasi, yang merupakan hasil dari saling kunci, saling gesek dan saling ikat yang lebih baik antar butiran tanahnya. Inovasi dan kreativitas dalam teknologi stabilisasi tanah menggunakan bahan perkuatan telah berkembang seiring dengan perkembangan tuntutan dan kebutuhan, tidak hanya sebatas perubahan gradasi tanah, tetapi juga pada penggunaan berbagai cara dan bahan perkuatan seperti penggunaan batang pancang, geosintetik, ban dan tumbuh – tumbuhan.

c. Stabilisasi dengan Drainase

Tanah jelek ditandai antara lain oleh air tanah yang tinggi, sehingga salah satu cara yang dapat digunakan untuk stabilisasi tanah adalah mengurangi air tanah yang ada dengan cara mengeluarkannya dari tanah tersebut. Cara yang demikian disebut sebagai stabilisasi dengan drainase. Drainase mengurangi ketidakstabilan tanah akibat air dan mengurangi gaya akibat rembesan air serta resiko terhadap erosi (Abramson et.al., 1996).

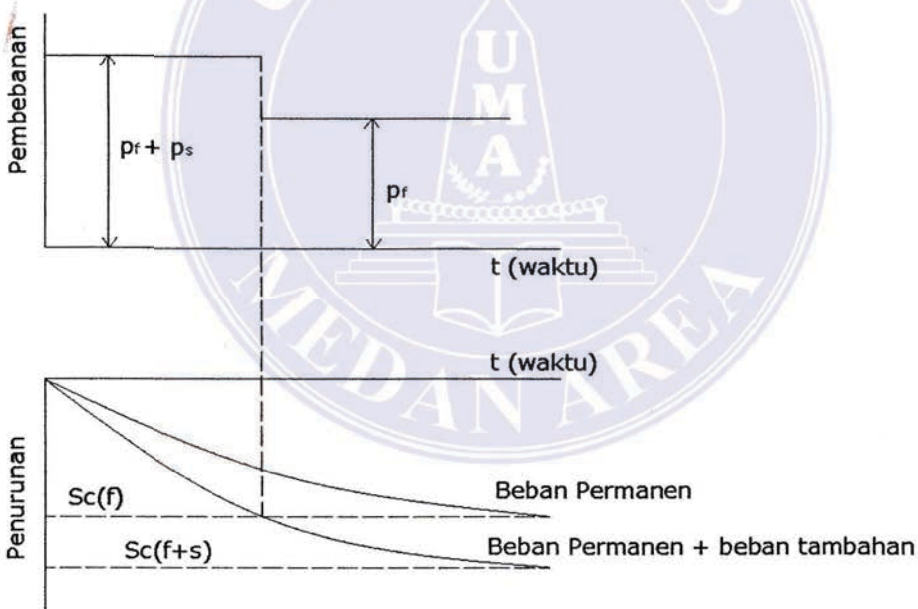
d. Stabilisasi dengan Bahan Stabilisator

Bahan stabilisator adalah bahan tambah yang dicampurkan pada tanah yang dapat membuat tanah tersebut menjadi stabil. Bahan stabilisator yang sering digunakan dalam stabilisasi tanah adalah kapur, semen, bitumen dan bahan stabilisasi kimiawi.

### 2.2.5 Prapembebanan (*preloading*)

Prapembebanan (*preloading*) adalah suatu metode yang umum digunakan untuk mengurangi total penurunan pada tanah lunak dengan cara memberikan beban tambahan yang lebih besar dari pada beban rencana yaitu sebesar 1,5 sampai 2 kali lebih besar dari beban rencana.

Bila dalam pelaksanaan dibutuhkan pembebanan terbagi rata dengan tambahan intensitas tegangan sebesar  $P_f$  (Gambar 2.6.), akibat pembebanan, penurunan konsolidasi primer total diperkirakan akan sama dengan  $Sc(f)$ . Jika diinginkan untuk menghilangkan penurunan konsolidasi primer, maka harus dikerjakan intensitas beban terbagi rata total sebesar  $P = P_f + P_s$ . Beban ini akan menyebabkan penurunan yang lebih cepat. Bila penurunan total  $Sc(f)$  telah tercapai, beban disingkirkan untuk kemudian dilaksanakan pembangunan struktur yang diinginkan.



Gambar 2.6. Konsep mempercepat penurunan dengan cara prapembebanan

Sumber : Herdiyatmo H.C (2003)

Korelasi antara tekanan  $P_s$  dan waktu harus dipertimbangkan dalam hitungan. Dalam prapembebanan dipergunakan rumus pendekatan untuk menentukan derajat konsolidasi menurut Herdiyatmo, H.C. (2003) adalah sebagai berikut :

$$U_{(f+s)} = \frac{\log[1 + (P_f / P_0')]}{\log(\{1 + P_f / P_0'\} \{1 + P_s / P_f\})}$$
$$S_{c(f+s)} = \frac{H \times C_c}{1 + e_0} \log \frac{P_0' + P_f + P_s}{P_0'}$$

dimana :

- Po' = tekanan overburden efektif rata - rata  
Ps = tegangan akibat beban timbunan  
Pf = tegangan akibat tambahan beban timbunan  
Sc(f+s) = penurunan konsolidasi primer akibat beban Pf + Ps  
U(f+s) = derajat konsolidasi akibat beban Pf + Ps

Ada beberapa syarat yang menentukan apakah suatu lahan dapat dilakukan perbaikan tanah menggunakan teknik *preloading* atau tidak, seperti :

- Tersedianya lahan yang cukup luas untuk mengakomodir sekitar 10 meter atau lebih diluar struktur rencana
- Ketersediaan material timbunan
- Adanya alat angkut material timbunan, karena jumlah volume timbunan yang sangat besar, dan
- Adanya penanganan yang baik antara owner dan engineer yang mengerjakannya.

*Preloading* dikatakan berhasil apabila :

- Tidak ada retak atau kelongsoran di bagian dasar selama *preloading* maupun selama pengoperasian struktur.
- Durasi *preloading* sesuai dengan jadwal rencana konstruksi
- Tidak ada kerusakan pada struktur yang berdampingan
- Penurunan yang terjadi masih dalam rentang batas toleransi yang ada
- Biaya yang direncanakan sesuai yang direncanakan

Hal lain yang harus diperhatikan dalam teknik *preloading* dengan menggunakan timbunan, yaitu daya dukung tanah timbunan.



Ada dua hal yang dapat dilakukan untuk dapat menghindari terjadinya kelongsoran, yaitu :

- a. Pemberian timbunan *preloading* secara bertahap, dan
- b. Pemberian timbunan *preloading* secara *counter weight*



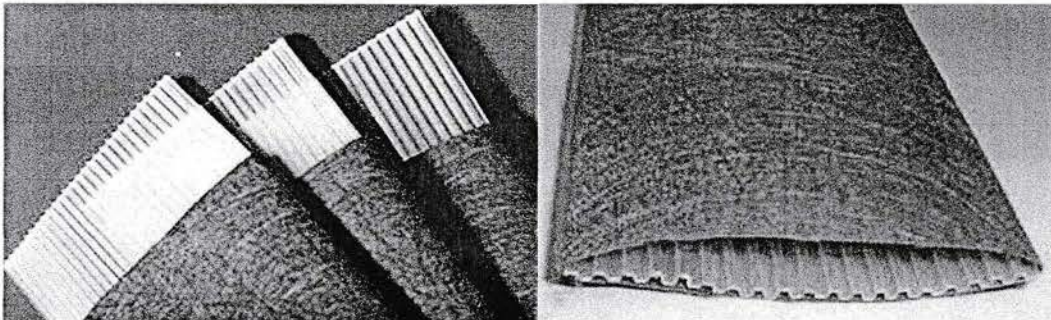
Gambar 2.7. Pemberian Preloading secara Bertahap (a) dan secara Counter Weight (b)

Sumber : Hidayati Maria Anissa (2008)

### 2.2.6 Pre-fabricated Vertical Drain

Pre-fabricated vertical drain merupakan salah satu material yang digunakan dalam stabilisasi tanah. *Pre-fabricated vertical drain* terbuat dari kombinasi antara bahan inti (*core*) beralur dan berkekuatan mekanik tinggi yang dibungkus dengan material pelapis *non woven geotextile* seperti pada Gambar 2.8. PVD diaplikasikan pada lahan dengan kondisi tanah jenuh air yang dapat terkompresi seperti lempung dan lempung kelanauan. Jenis tanah tersebut memiliki karakter butiran yang renggang satu sama lain dan jenuh air.

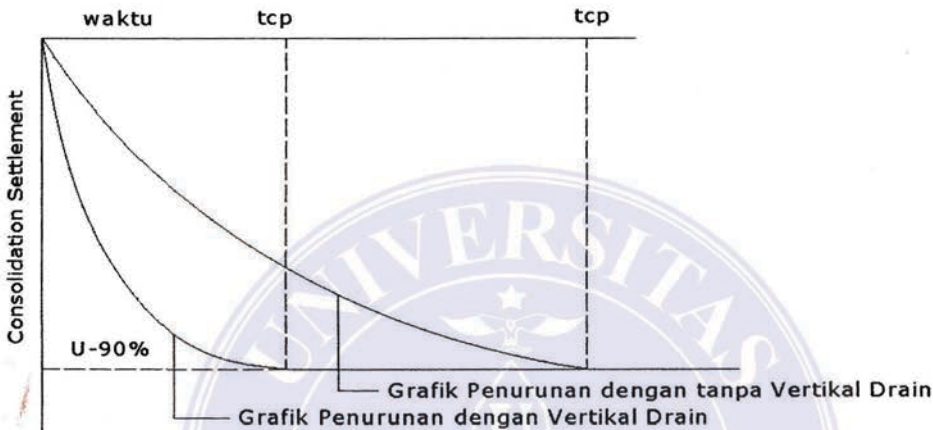
Proses konsolidasi dapat dipercepat dengan memperpendek jalan aliran air. Salah satu cara yang dilakukan adalah dengan pemasangan pre-fabricated vertical drain yang ditancapkan ke dalam tanah sampai kedalaman tanah yang dapat terkompresi.



Gambar 2.8. Material Pre-fabricated Vertical Drain

Sumber : Calbondrain

Tanah *compressible* yang cukup tebal jika dibebani akan mengalami penurunan sebagai akibat dari konsolidasi yang berlangsung sebagai fungsi waktu seperti pada Gambar 2.9. dengan menggunakan *pre-fabricated vertical drain*, akan dihasilkan waktu penurunan yang lebih cepat dibanding tanpa menggunakan *pre-fabricated vertical drain*. Tanah yang mengalami penurunan akibat pembebanan akan menjadi lebih mampat sehingga tanah menjadi lebih kokoh, dengan demikian daya dukung tanahnya meningkat.



Gambar 2.9. Efek penggunaan *pre-fabricated vertical drain*

Sumber : E. Sutarman, 2009

Hal terpenting dalam penggunaan *pre-fabricated vertical drain* yaitu bahwa *pre-fabricated vertical drain* hanya berfungsi untuk mempercepat proses konsolidasi dan tidak dapat untuk mengurangi besarnya *consolidation settlement*.

Langkah – langkah perhitungan konsolidasi pada tanah dengan menggunakan *pre-fabricated vertical drain* sebagai berikut :

a. Menghitung Waktu Konsolidasi pada Tanah dengan Vertical Drain

Waktu konsolidasi tanpa menggunakan *pre-fabricated vertical drain* pada tanah lempung lunak dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$T = \frac{T_v \cdot H^2}{C_v}$$

Dimana :

$T_v$  = Faktor waktu, ditentukan berdasarkan derajat konsolidasi ( $u$ )

$H$  = Panjang maksimum lintasan drainase

$C_v$  = Koefisien konsolidasi

$T$  = Waktu konsolidasi

$H$  yang merupakan panjang drainase merupakan fungsi kuadrat, sehingga apabila panjang drainase dapat diperpendek maka konsolidasi makin cepat. Adanya *vertical drain* waktu konsolidasi menjadi lebih pendek, karena *vertical drain* memperpendek panjang drainase yang ditempuh air pori menuju lapisan porous, yaitu air pori akan mengalir ke arah horizontal untuk menuju ke *vertical drain* selain ke arah *vertical*. Oleh karena itu rumus waktu konsolidasi menjadi persamaan seperti berikut :

$$T_c = \frac{T_h \cdot D^2}{C_h}$$

Dimana :

$T_c$  = waktu konsolidasi yang dipengaruhi oleh *drainase* arah horizontal

$T_h$  = faktor waktu untuk *drainase* arah horizontal

$D$  = diameter zona pengaruh satu *drain*

$C_h$  = koefisien konsolidasi dengan *drainase* arah horizontal

b. Menghitung Derajat Konsolidasi pada *Vertical Drain*

Derajat konsolidasi digunakan sebagai salah satu kriteria dalam menilai keefektifan pekerjaan perbaikan tanah dengan menggunakan timbunan. Derajat konsolidasi biasanya dihitung sebagai perbandingan penurunan yang terjadi saat ini dengan penurunan akhir.

Apabila proses konsolidasi selesai, maka dikatakan derajat konsolidasinya telah mencapai 100% atau  $U_v = 100\%$ . Pada saat itu secara teoritis penurunan telah berhenti dan besar penurunannya telah maksimum sebesar  $S_c$ .

Jika suatu saat pada waktu ( $t$ ) diketahui besarnya penurunan konsolidasi adalah  $S_t$ , maka derajat konsolidasinya adalah :

$$U_v = \frac{St}{Sc} \times 100\%$$

Jadi,  $U_v = 50\%$  memiliki artian pada saat itu penurunan baru mencapai  $St = 50\% Sc$ , sedangkan waktu untuk mencapai  $St = 50\% Sc$  disebut  $t_{50}$ .

Dengan adanya vertical drain, maka tegangan air pori berlebih akan terdispersi dalam dua arah, yaitu arah vertikal dan arah horizontal, sehingga derajat konsolidasi ( $U$ ) dapat dikalkulasi melalui persamaan berikut :

$$U_{vh} = 1 - (1 - U_v) \times (1 - U_h)$$

dimana :

$U_{vh}$  = menyatakan efek kombinasi

$U_v$  = derajat konsolidasi berdasarkan drainase arah vertikal

$U_h$  = derajat konsolidasi berdasarkan drainase arah horizontal

Braja M. Das (1998), menentukan besarnya derajat konsolidasi berdasarkan drainase arah vertikal ( $U_v$ ) dapat diperoleh dengan cara sebagai berikut :

- Untuk  $U < 60\%$  ;  $T_v = \frac{\pi}{4} \left( \frac{U\%}{100} \right)^2$
- Untuk  $U > 60\%$  ;  $T_v = 1,781 - 0,9 \log(1-U)$

Sedangkan nilai derajat konsolidasi berdasarkan drainase arah horizontal ( $U_h$ ) diperoleh dengan mengasumsikan setiap area yang dipengaruhi oleh vertical drain berbentuk silinder, nilai  $T_h$  diperoleh dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$T_h = \frac{1}{8} (F_n + F_s + F_r) \ln \frac{1}{(1 - U_h)}$$

dimana :

$F_n$  = faktor jarak drain

$F_s$  = faktor efek pemasangan drain

$F_r$  = faktor tahanan drain

$T_h$  = faktor waktu akibat drainase arah horizontal

c. Menghitung Waktu Konsolidasi pada *Vertical Drain*

Pengaruh drainase vertikal sangat kecil dibandingkan dengan drainase arah horizontal sebagai akibat dari jalur drainase yang harus ditempuh jauh lebih panjang. Penentuan waktu konsolidasi ( $t$ ) dihitung dengan persamaan yang dikembangkan oleh Hansbo (1979) untuk *pre-fabricated vertical drain* yaitu dengan memasukkan dimensi fisik dan karakteristik dari *pre-fabricated vertical drain* sebagai berikut :

$$t = \frac{D_e^2}{8.C_h} . F(n) . \ln \frac{1}{1-U_h}$$

dimana :

- $t$  = waktu yang diperlukan untuk mencapai  $U_h$  (dtk)
- $D_e$  = diameter ekivalen lingkaran (cm)
  - = 1.13 x S untuk pemasangan PVD dengan konfigurasi segi empat
  - dan 1.05 x S untuk konfigurasi segitiga
- $C_h$  = Koefisien konsolidasi aliran horizontal ( $cm^2/dtk$ )
- $F(n)$  = faktor hambatan yang disebabkan oleh jarak antar PVD
- $U_h$  = derajat konsolidasi tanah arah horizontal (%)

Besarnya faktor hambatan yang disebabkan oleh jarak pemasangan *pre-fabricated vertical drain* dapat dihitung dengan persamaan berikut :

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

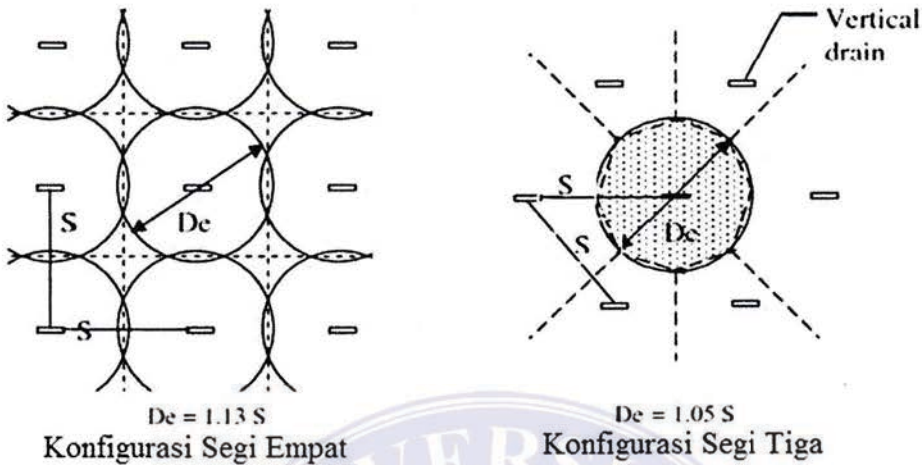
Yang dapat disederhanakan menjadi,

$$F(n) = \ln(n) - 0,75$$

dimana :

- $n$  =  $D_e/dw$
- $D_e$  = diameter ekivalen lingkaran
- $dw$  = diameter drain

Besarnya  $D_e$  (daerah pengaruh vertical drain) tergantung dengan konfigurasi pemasangan vertical drain di lapangan. Ada dua macam konfigurasi pemasangan vertikal drain seperti terlihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10. Konfigurasi Pemasangan Vertical Drain

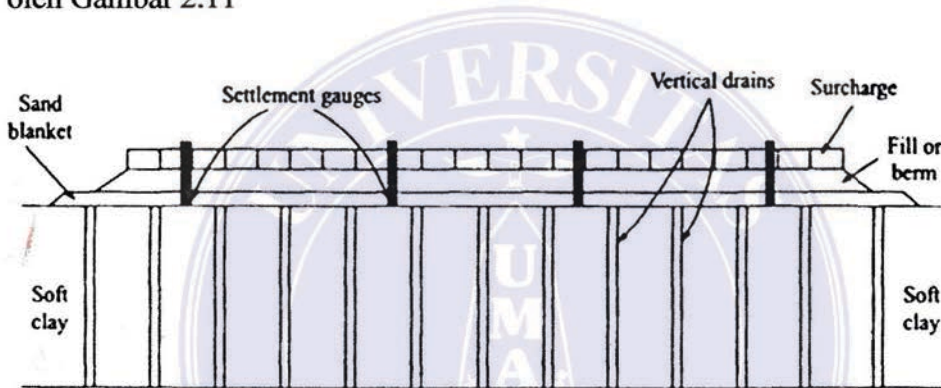
Sumber : R.F Craigh, 1989

Untuk lebih mempercepat proses konsolidasi, maka panjang alur drainase dikurangi dengan memasang *pre-fabricated vertical drain* dengan jarak rapat yang dikombinasikan dengan *preloading* dapat berupa tanah timbunan yang diletakkan di atas tanah yang akan distabilisasikan. Beban awal yang dibebankan pada proses percepatan konsolidasi dapat dihilangkan setelah penurunan tercapai 90%. Setelah beban awal dihilangkan maka bangunan yang direncanakan boleh mulai dibangun di atas tanah lempung tersebut.

Kombinasi pemasangan *pre-fabricated vertical drain* dan pembebanan awal seperti yang ada pada Gambar 2.11 dapat dijelaskan bahwa pada tanah lempung yang akan dikonsolidasi dipasang *pre-fabricated vertical drain* dengan jarak tertentu. Pada permukaan lapisan lempung tersebut diletakkan timbunan pasir setebal 0.5 meter. Fungsi lapisan pasir tersebut adalah untuk meneruskan aliran air dari *pre-fabricated vertical drain* ke luar timbunan. Syarat-syarat dari selimut pasir yang digunakan adalah sebagai berikut:

- 1). Penempatan : harus dipasang pada elevasi yang secara praktis serendah mungkin untuk memperpendek jarak aliran.

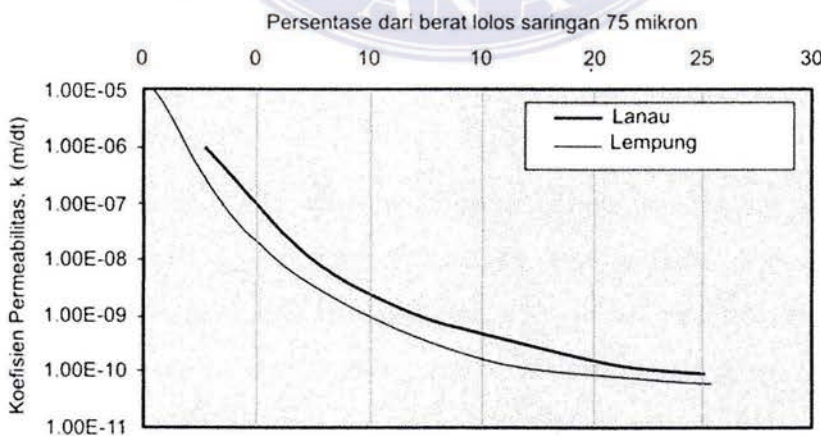
- 2). Ketebalan : tebal minimum lapisan pasir untuk memberikan kelancaran mengalirkan air adalah 30 cm.
- 3). Kemiringan melintang : lapisan pasir harus mempunyai kemiringan melintang awal dari tengah ke pinggir timbunan. Walaupun demikian, meninggikan selimut di bagian tengah supaya lebih miring akan menambah kerumitan pelaksanaan.
- 4). Gradasi : untuk dapat mengalirkan dengan baik, maka pasir tersebut harus mempunyai koefisien permeabilitas yang cukup besar untuk mengalirkan air. Koefisien permeabilitas tersebut tergantung dari ukuran gradasinya. Hubungan antara ukuran gradasi dan koefisien permeabilitas diperlihatkan oleh Gambar 2.11



Gambar 2.11. Pemasangan vertical drain yang dikombinasikan dengan preloading

Sumber : Panduan Geoteknik 4 (Pusat Litbang Prasarana Transportasi, 2002)

Pengaruh dari Kehalusan pada Permeabilitas (GCO, 1982)

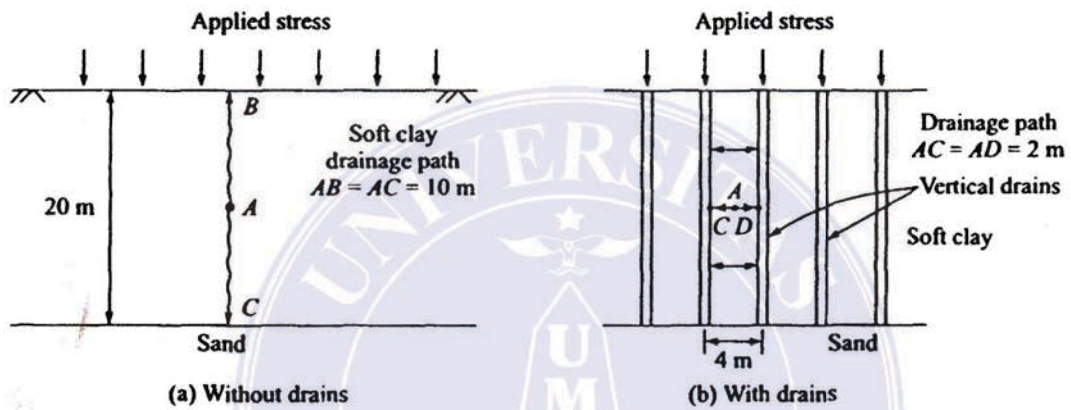


Gambar 2.12. Grafik pengaruh kehalusan pada permeabilitas

Sumber : Panduan Geoteknik 4 (Pusat Litbang Prasarana Transportasi, 2002)

Di atas lapisan pasir yang digunakan untuk mengalirkan air ke luar tanah timbunan tadi, diletakkan beban awal untuk mempercepat proses konsolidasi. Dengan adanya beban ini diharapkan aliran (air) radial yang lebih cepat dari lapisan lempung ke lubang-lubang *pre-fabricated vertical drain*. Di bagian-bagian tertentu diletakkan *sattlement gauge* untuk memonitor besarnya penurunan tanah akibat *pre-fabricated vertical drain*.

Adapun pola pengaliran aliran air akibat proses konsolidasi dengan atau tanpa *pre-fabricated vertikal drain* adalah sebagai berikut:



Gambar 2.13. Pola aliran air selama proses konsolidasi dengan dan tanpa vertical drain  
 Sumber : Suryadi HS (Universitas Gunadarma, 1998)

Pada Gambar 2.13 (a) terlihat bahwa sebuah contoh lapisan tanah lempung sedalam 20m. Jika tidak diberi *vertical drain* maka arah aliran yang terjadi adalah aliran vertikal. Jika jalur drainase adalah dua arah (atas – bawah), maka panjang lintasan aliran air dari titik A ke titik B dan C adalah masing-masing sejauh 10 m.

Pada Gambar 2.13 (b) masih pada contoh tanah yang sama tetapi dipasang *vertical drain* sejarak 4 m. Setelah dipasang *vertical drain* maka arah aliran yang dominan adalah arah aliran radial. Aliran vertikal masih terjadi tetapi dalam jumlah yang sangat sedikit dan dapat diabaikan. Jarak aliran radial yang diperlukan untuk mengalirkan air dari titik A ke titik C dan D adalah menjadi 2 meter. Oleh karena itu dengan pemasangan *pre-fabricated vertical drain* maka



dapat merubah pola dan jarak lintasan aliran drainase. Dari aliran vertikal menjadi aliran radial dan dari jarak yang panjang menjadi lebih pendek.

Jika koefisien konsolidasinya sama untuk arah radial dan vertikal, maka akan mempercepat tercapainya derajat konsolidasi 90 % dengan mengurangi waktu penurunan sampai 1/25 kali dari waktu biasa. Untuk mempercepat laju konsolidasi tidak hanya tergantung dari jarak antar *pre-fabricated vertical drain*, tetapi juga diameter dari *pre-fabricated vertical drain*.

### 2.2.7 Instrumentasi dan Monitoring Settlement Konsolidasi

Instrumentasi adalah peralatan yang diinstalasikan dalam rangka memonitor hasil dari perbaikan tanah. Dengan instrumentasi, asumsi - asumsi dan pendekatan - pendekatan yang digunakan selama masa desain dapat dikontrol dan target - terget yang telah ditentukan dalam perencanaan dapat dievaluasi dengan kondisi riil di lapangan.

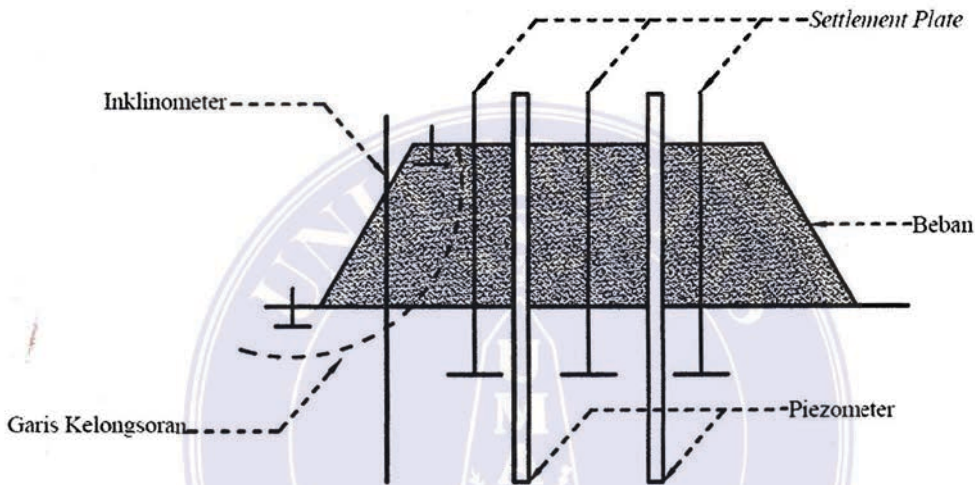
Oleh karena itu metode perbaikan tanah dengan menggunakan kombinasi antara *preloading* dan pemasangan *pre-fabricated vertical drain* ada beberapa parameter desain yang harus dimonitor dalam pelaksanaannya yaitu : besarnya kenaikan dan perubahan tekanan air pori setelah *preloading* diberikan, besarnya penurunan total (*immediatly settlement dan consolidation settlement*) setelah *preloading* diberikan, besarnya penurunan lapisan tanah tertentu setelah *preloading* diberikan, fluktuasi level muka air tanah selama proses pekerjaan. Semua parameter ini perlu dievaluasi dari waktu ke waktu sehingga rencana perbaikan tanah dapat mencapai hasil yang optimum.

Ada beberapa kriteria yang digunakan untuk menentukan apakah metode perbaikan tanah telah bekerja dengan baik dan sempurna. Kriteria tersebut adalah :

1. Hasil pencatatan data instrumentasi menunjukkan bahwa tekanan air pori eksres telah mendekati nol dan stabil.

2. Hasil pembacaan settlement plate menunjukkan bahwa besarnya penurunan dalam rentang waktu yang ditinjau tidak lagi berubah. Dalam hal ini dapat dilakukan pendekatan Hyperbolic Method dan Asaoka Method.
3. Hasil pembacaan extensometer menunjukkan bahwa penurunan pada lapisan tanah yang ditinjau tidak lagi berubah.

Untuk memonitor parameter - parameter yang disebutkan di atas maka dipasang instrumen geoteknik seperti Gambar 2.14 sebagai berikut:



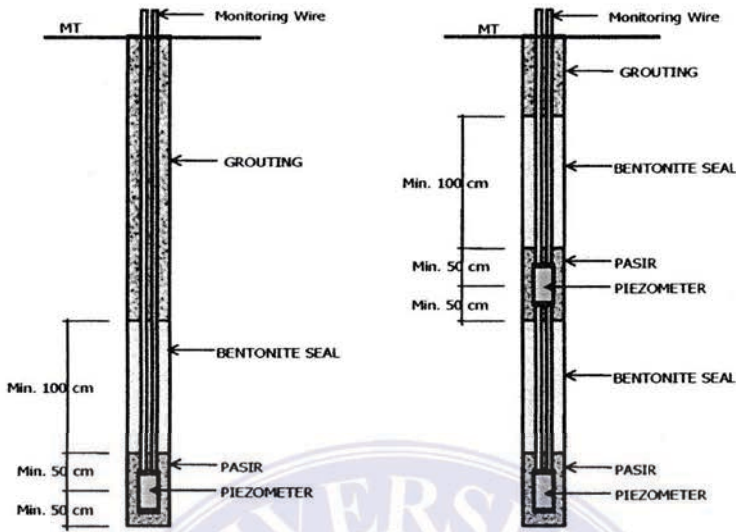
Gambar 2.14. Pemasangan Instrumen Geoteknik

Sumber : Panduan Geoteknik 4 (Pusat Litbang Prasarana Transportasi, 2002)

#### a. Piezometer

Alat ini dipasang untuk mengetahui besarnya tekanan air pori total tanah selama masa konstruksi seperti terlihat pada Gambar 2.15. Tekanan air pori total merupakan penjumlahan antara tekanan air hidrostatik ditambah dengan tekanan air pori eksese yang timbul akibat beban *preloading*. Dengan diketahuinya parameter ini maka kita dapat menentukan kapan penurunan konsolidasi dinyatakan selesai atau kapan derajat konsolidasi telah mencapai 90%. Hal ini dapat diketahui ketika tekanan air pori eksese telah berkurang mendekati nol atau tekanan air pori total sama dengan tekanan air hidrostatik. Jika derajat konsolidasi telah mencapai 100% maka dapat diputuskan agar beban *preloading* di potong mencapai elevasi yang diinginkan. Informasi

yang diperoleh dari instrumen ini sangat penting dalam metode kombinasi antara *preloading* dan pemasangan *pre-fabricated vertical drain*.

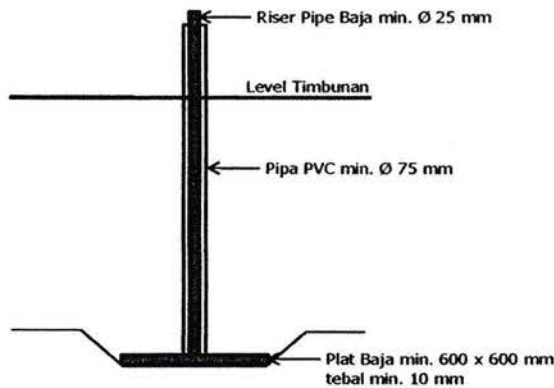


Gambar 2.15. Pemasangan Pizzometer

Sumber : Panduan Geoteknik 4 (Pusat Litbang Prasarana Transportasi, 2002)

#### b. Settlement Plate

Instrumen ini dipasang untuk mengevaluasi besarnya penurunan total lapisan tanah setelah *preloading* diberikan. Dari data ini dapat diketahui kapan penurunan lapisan tanah selesai. Penurunan lapisan tanah selesai ketika pembacaan settlement plate tidak mengalami kenaikan lagi. Dengan sistem pemasangan dan peralatan yang baik maka hasil piezometer biasanya konsisten dengan hasil settlement plate.

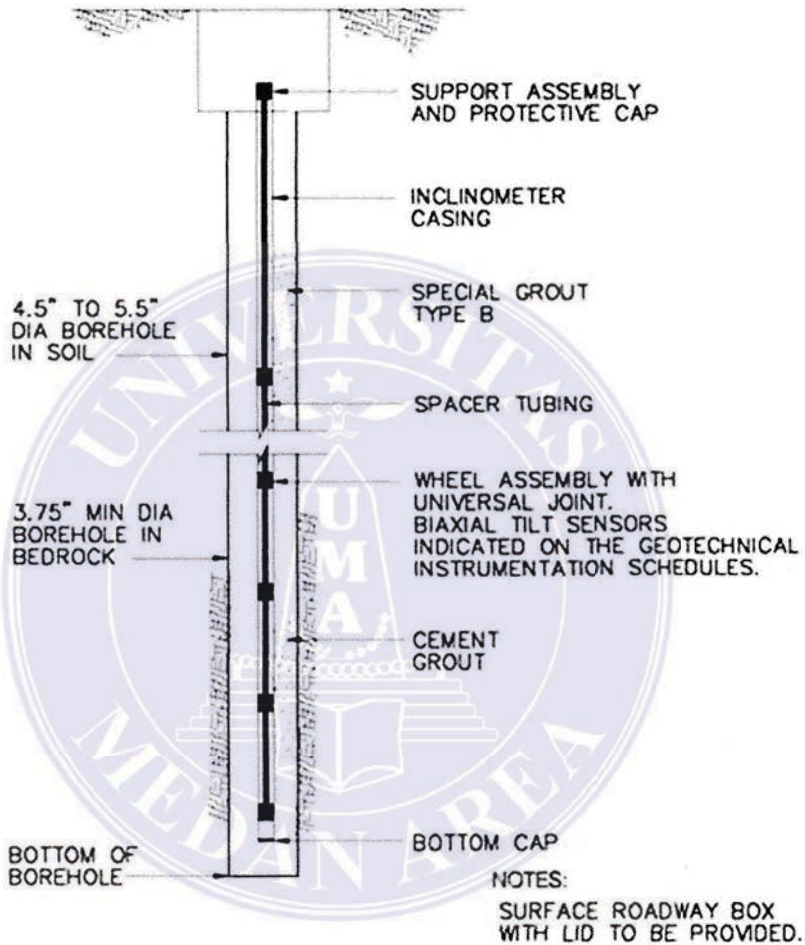


Gambar 2.16. Pemasangan Settlement Plate

Sumber : Panduan Geoteknik 4 (Pusat Litbang Prasarana Transportasi, 2002)

### c. Inclinometer

Inclinometer berfungsi untuk memantau deformasi lateral pada permukaan tanah di bawah dan di samping timbunan. Instrumen ini di pasang pada kedalaman yang berbeda – beda serta ditempatkan pada sisi timbunan atau pada tanah yang berdekatan dengan kaki timbunan.

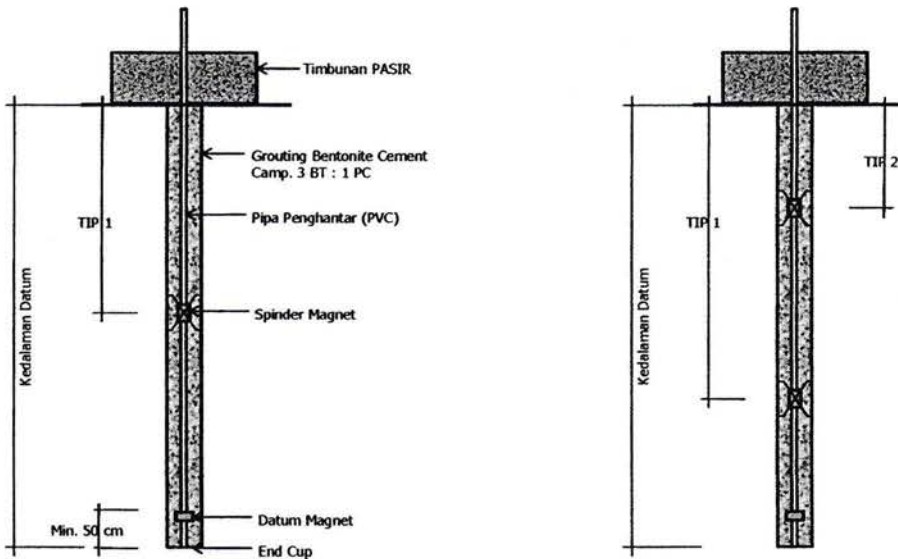


Gambar 2.17. Pemasangan Inclinometer

Sumber : Panduan Geoteknik 4 (Pusat Litbang Prasarana Transportasi, 2002)

### d. Ekstensometer

Instrument ini dipasangan untuk memantau besarnya penurunan pada lapisan tanah tertentu, misalnya ada lapisan tanah yang dianggap perlu dikontrol penurunannya. Misalnya lapisan - lapisan lensa yang permeability nya sangat kecil.

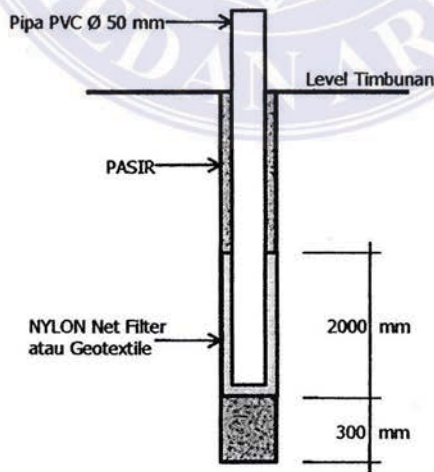


Gambar 2.18. Pemasangan Ekstensometer

Sumber : Panduan Geoteknik 4 (Pusat Litbang Prasarana Transportasi, 2002)

e. Water Stand Pipe

Instrumen ini dipasang untuk memantau fluktuasi muka air tanah di lapangan. Dengan diketahuinya muka air tanah maka diperoleh tekanan air hidrostatik. Dengan mengkombinasikan hasil piezometer maka diperoleh tekanan air pori eksese yang timbul akibat *preloading*.



Gambar 2.19. Pemasangan Water Stand Pipe

Sumber : Panduan Geoteknik 4 (Pusat Litbang Prasarana Transportasi, 2002)

Instrumen geoteknik secara periodik harus dipantau atau dimonitor pada interval waktu tertentu (Pusat Litbang Prasarana Transportasi Departemen Pekerjaan Umum, 2005), dengan periode sebagai berikut :

a. Pemantauan Harian

Pemantauan harian dilakukan pada awal kegiatan, yaitu selama proses *preloading* berlangsung dan sebulan setelah penimbunan selesai. Pada periode ini penurunan timbunan, deformasi lateral dan tekanan air pori yang terjadi pada tanah merupakan respon langsung terhadap beban *preloading* sehingga membutuhkan frekuensi pemantauan yang lebih sering. Pemantauan awal ini dapat berfungsi juga sebagai peringatan dini terhadap resiko ketidak stabilan tanah yang terjadi selama penempatan beban *preloading*.

b. Pemantauan Mingguan

Pemantauan mingguan dilakukan pada periode kedua setelah satu bulan dari selesainya proses timbunan *preloading*. Pada periode ini kondisi tanah umumnya relatif stabil, maka frekuensi pemantauan dapat dikurangi untuk membuktikan efektivitas metode perbaikan tanah tersebut.

c. Pemantauan Bulanan

Pemantauan bulanan dilakukan pada periode ketiga setelah pemantauan mingguan selesai. Hal ini untuk mengamati lebih lanjut tentang perilaku perbaikan tanah setelah pembebanan awal (*preloading*). Pada periode ini perubahan penurunan tanah, deformasi lateral, dan tekanan air pori umumnya kecil.



## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Lokasi Penelitian

Obyek penelitian berlokasi di kawasan Bandar Udara Internasional Kuala Namu Kabupaten Deli Serdang, yang terletak diantara  $2^{\circ}57''$  -  $3^{\circ}16''$  Lintang Utara serta pada  $98^{\circ}33'$  -  $99^{\circ}27'$  Bujur Timur.



Gambar 3.1 Lokasi Penelitian di Kawasan Bandara Internasional Kualanamu  
Sumber : Dokumen Teknis Proyek Pembangunan Apron Cargo (2012)

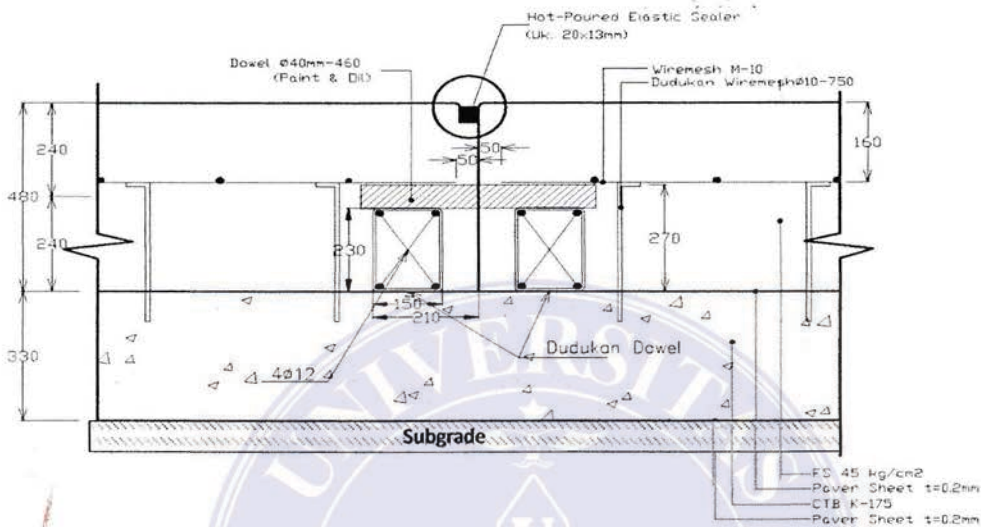
Kawasan bandar udara Kualanamu merupakan bekas areal perkebunan kelapa sawit milik PT. Perkebunan Nusantara II, dimana sebagian besar kondisi tanahnya merupakan tanah lunak

#### 3.2 Data Teknis Perencanaan

Pembangunan apron cargo Bandara Kualanamu dimaksudkan untuk menunjang kelancaran arus lalu lintas barang yang dikirim melalui udara baik dalam negeri maupun luar negeri, dan mampu menahan beban landing maksimum pesawat kelas Boing 747-400. Konstruksi utama apron cargo dengan menggunakan perkerasan kaku (rigid pavement) dengan total ketebalan

perkerasan 81 cm yang berada di atas lapisan subgrade, seperti yang ditunjukkan dalam gambar Gambar 3.2. dengan masing – masing bagian sebagai berikut :

- Perkerasan Rigid dengan beton FS 45, dengan ketebalan 48 cm.
- Perkerasan Pondasi CTB K-175, dengan ketebalan 33 cm.
- Lapisan subgrade CBR 6%



Gambar 3.2. Desain Perkerasan Rigid  
 Sumber : Data Teknis Proyek Pembangunan Apron Cargo (2012)

Karena kondisi tanah di lokasi pekerjaan berdasarkan data penyelidikan tanah tidak mampu mendukung secara langsung beban konstruksi maupun beban lainnya pada saat bangunan difungsikan yang berakibat terjadinya *settlement* pasca konstruksi, oleh karena itu untuk menghindari hal tersebut perlu adanya perencanaan stabilisasi tanah. Stabilisasi tanah tanah yang digunakan pada pelaksanaan pembangunan apron cargo Bandara Kualanamu menggunakan sistem counter weight preloading yang dikombinasikan dengan pemasangan pre-fabricated vertical drain.

### 3.2.1 Data Penyelidikan Tanah (Soil Investigation)

Penyelidikan tanah yang dilakukan di lapangan dan laboratorium meliputi parameter – parameter klasifikasi tanah, kadar air ( $w$ ), berat volume ( $\gamma$ ), angka pori ( $e_0$ ), batas – batas Atterberg (LL dan PL), sudut geser dalam ( $\theta$ ),  $C_c$  dan  $C_v$  dan  $C_s$ . Data laboratorium tanah tersebut dijadikan sebagai data masukan



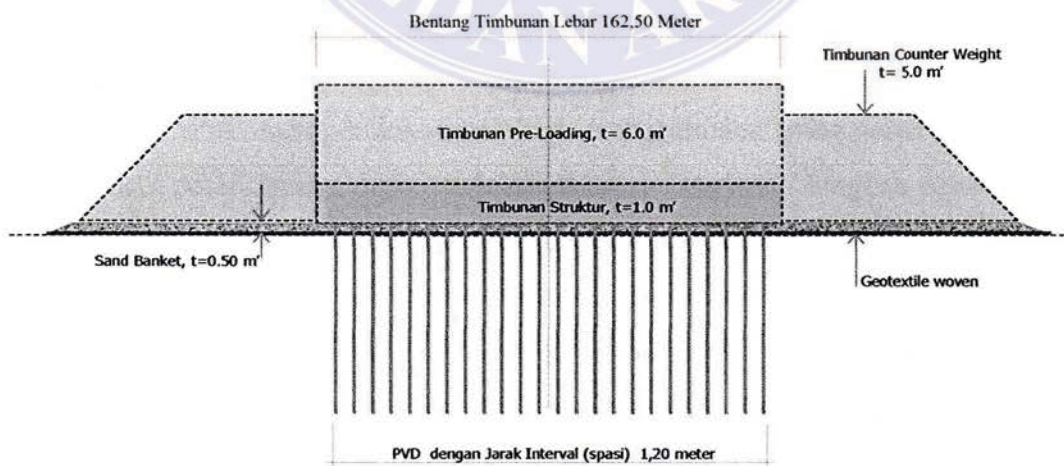
dan selanjutnya sebagai dasar perencanaan serta evaluasi terhadap metode perbaikan tanah yang telah ditetapkan yaitu kombinasi preloading dan pemasangan pre-fabricated vertical drain dengan tujuan untuk mempercepat proses konsolidasi tanah.

### 3.2.2 Disain Timbunan Struktur

Timbunan struktur direncanakan selain untuk memperoleh elevasi seperti dalam desain, juga sebagai lapisan subgrade pada bagian struktur perkerasan apron cargo. Timbunan struktur dilaksanakan di atas timbunan pasir (sand blanket) dengan ketebalan 1 meter, seperti yang ditunjukkan dalam gambar Gambar 3.3.

### 3.2.3 Desain Perencanaan *Preloading*

Perencanaan tinggi pre-loading pada kasus ini berdasarkan pada asumsi bahwa pemotongan pre-loading dilakukan setelah penurunan konsolidasi dicapai minimum 90%. Dan waktu yang diperlukan untuk mencapai 90% penurunan konsolidasi ini dapat dicapai dalam waktu 2 bulan. Oleh karena itu desain perencanaan pre-loading ditetapkan dengan ketinggian 6 meter yang berada diatas struktur perkerasan apron cargo dengan counter weight setinggi 5 meter, seperti yang ditunjukkan dalam gambar Gambar 3.3.

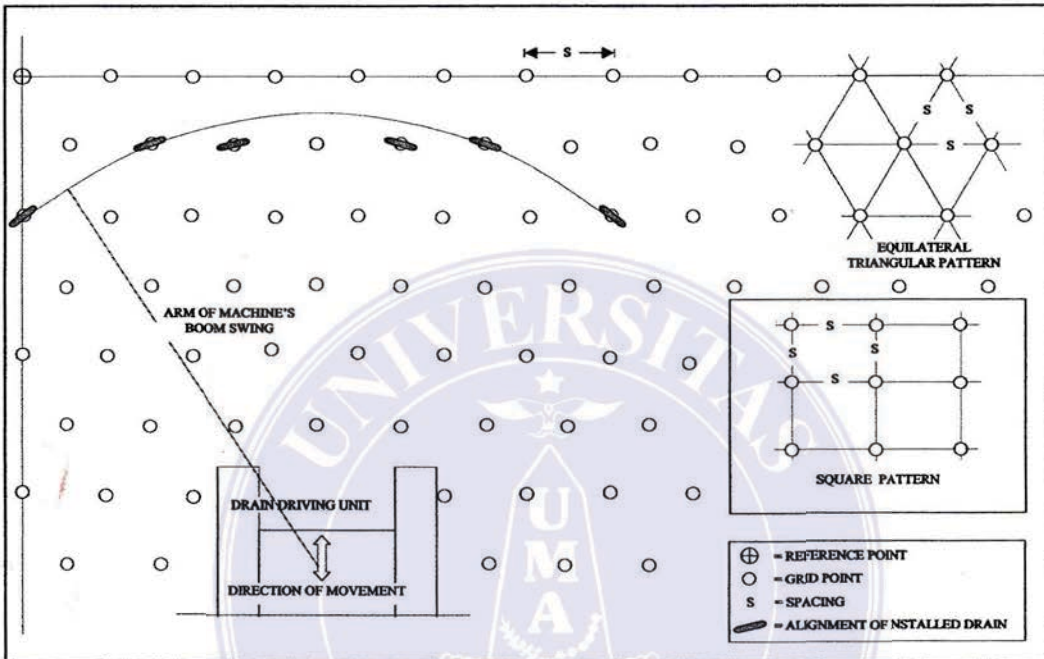


Gambar 3.3. Desain Perencanaan Timbunan Struktur dan Preloading

Sumber : Data Teknis Proyek Pembangunan Apron Cargo (2012)

### 3.2.4 Desain Perencanaan *Pre-fabricated Vertical Drain*

Desain perencanaan pemasangan *pre-fabricated vertical drain* menggunakan pola konfigurasi segitiga sama sisi, dengan panjang (jarak) sisi segitiga sebesar 1,20 meter seperti yang ditunjukkan dalam gambar Gambar 3.4. Kedalaman pemasangan *pre-fabricated vertical* rata – rata 8,00 meter.

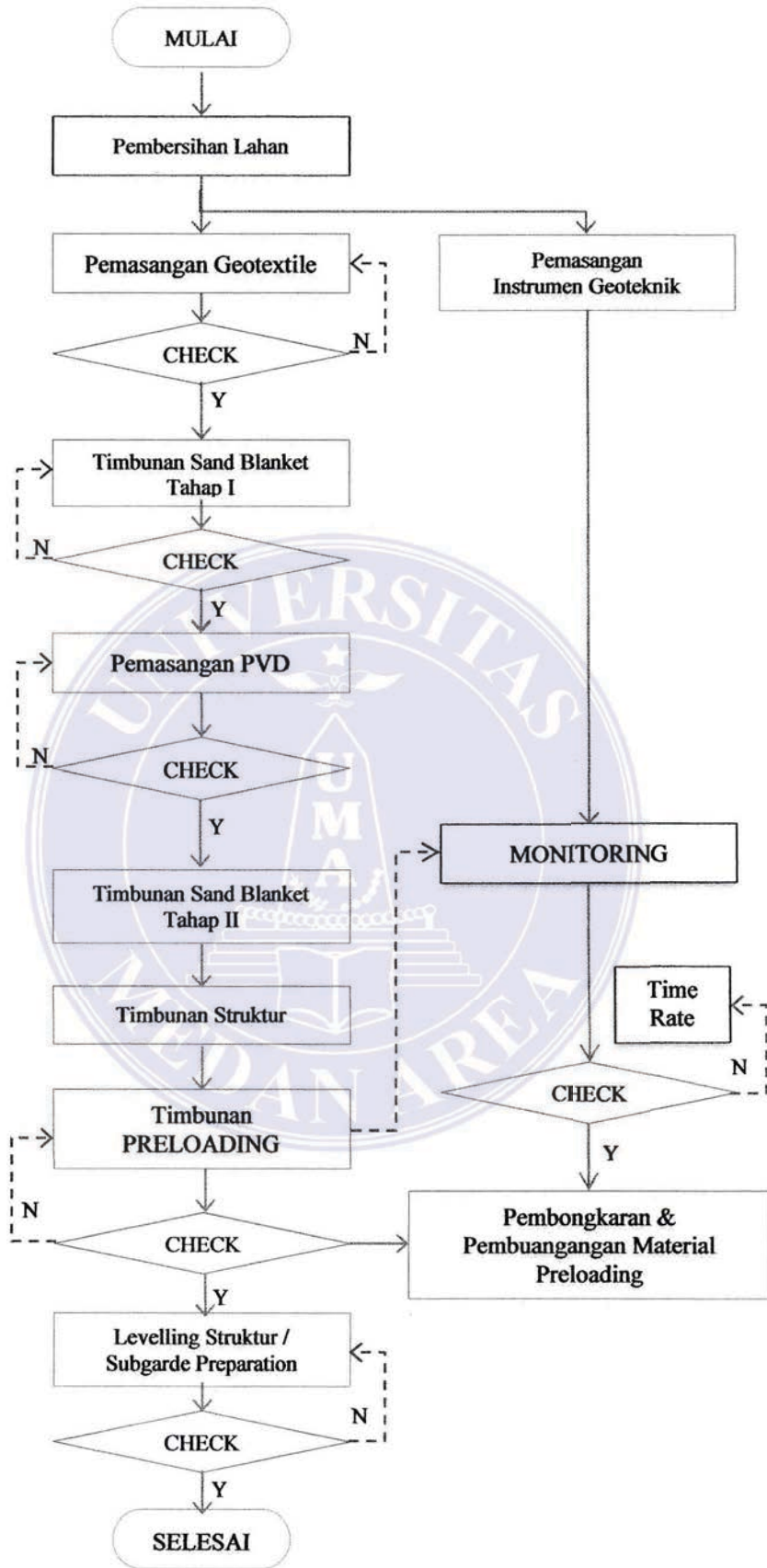


Gambar 3.4. Desain Konfigurasi Pemasangan *Pre-fabricated Vertical Drain*

Sumber : Data Tcknis Proyek Pembangunan Apron Cargo (2012)

### 3.3 Pelaksanaan Pekerjaan

Untuk memperoleh hasil kerja sebagaimana yang telah ditetapkan dalam suatu perencanaan, maka perlu dirumuskan langkah – langkah pelaksanaan pekerjaan metode perbaikan tanah dengan menggunakan kombinasi *pre-loading* dan pemasangan *pre-fabricated vertical drain*. Dimana masing – masing tahapan pekerjaan tersebut memiliki urutan dan ketergantungan antara satu dengan yang lain sebagaimana dapat dilihat pada gambar 3.5. Flow Chart Pelaksanaan Pekerjaan.



Gambar 3.5 Flow Chart Pelaksanaan Pekerjaan

Berikut ini penjelasan mengenai bagan alir pelaksanaan pekerjaan (*flow chart*) metode perbaikan tanah dengan menggunakan kombinasi *pre-loading* dan pemasangan *pre-fabricated vertical drain* untuk mempercepat proses konsolidasi tanah, sebagai berikut :

### 1. Pembersihan Lahan

Merupakan pekerjaan pemotongan batang pohon, pencabutan tunggul, pembersihan semak, rumput dan vegetasi lain dan pembuangan lapisan tanah permukaan yang masuk dalam lingkup area pekerjaan dengan tujuan agar lokasi yang akan ditimbun benar-benar terbebas dari humus dan bahan organik lainnya.

### 2. Pemasangan *Geotextile*

Pemasangan *geotextile* dilaksanakan setelah pekerjaan pembersihan lahan selesai. Pemasangan *geotextile* dimaksudkan sebagai pemisah (*sparator*) antara lapisan permukaan tanah asli dengan material timbunan sand blanket, agar kadar lumpur yang terdapat pada lapisan tanah asli tidak tercampur dengan material timbunan *sand blanket*.

### 3. Timbunan *Sand Blanket* Tahap I

Timbunan *sand blanket* dimaksudkan sebagai media mengalirnya air pori dalam tanah secara horizontal setelah air pori dalam tanah tersebut mengalir secara vertikal melalui *per-fabricated vertical drain*. Timbunan *sand blanket* tahap I dilaksanakan diatas *geotextile* dengan ketebalan 25 cm (setengah dari total ketebalan timbunan *sand blanket*), seperti yang ditunjukkan dalam gambar Gambar 3.7.

Material sand blanket adalah pasir dengan berat jenis yang merata, bersih dan bebas dari material organik. Spesifikasi umum yang digunakan untuk lapisan ini adalah material antara saringan No. 4 dan No. 100. Material ini lolos saringan No. 100 sebesar 7% dan maximum lolos saringan No. 200 sebesar 3%. Koefisien permeabilitas minimum sebesar  $1 \times 10^{-2}$  cm/detik.

#### 4. Pemasangan *Pre-fabricated Vertical Drain* (PVD)

*Pre-fabricated vertical drain* digunakan untuk mempercepat proses konsolidasi dari lapisan tanah lunak dengan jalan memperpendek panjang pengaliran. Vertical drain harus berasal dari material polypropylene atau jute (gunny) yang tahan terhadap pembusukan dan tidak peka terhadap bahan kimia dan bakteri yang umumnya ada di dalam tanah, selama waktu tunggu konsolidasi yang direncanakan.

Pelaksanaan pemasangan PVD dilakukan setelah pekerjaan *sand blanket* dilaksanakan setengah dari ketebalan rencana. Konfigurasi pemasangan PVD menggunakan pola segitiga sama sisi dengan jarak antar PVD (S) 1,20 meter dan kedalaman rata – rata 8,00 meter. Pemasangan PVD menggunakan peralatan yang disebut PVD Equipment, yaitu kombinasi antara Excavator dan Mandrel dengan ketinggian Mandrel sesuai kedalaman PVD yang akan dipasang, seperti yang ditunjukkan dalam gambar 3.6.

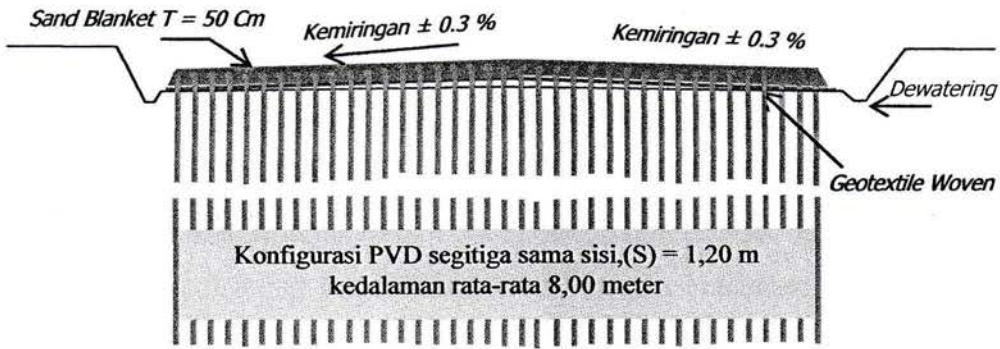


Gambar 3.6. Pemasangan *Pre-fabricated Vertical Drain*

Sumber : Foto Dokumentasi Proyek Pembangunan Apron Cargo (2012)

Setelah pekerjaan pemasangan *pre-fabricated vertical drain* (PVD) selesai, dilanjutkan dengan memotong serta melipat PVD dan meposisikan agar ujung lipatan diletakkan searah kemiringan tanah menuju dewatering dan menutup

hingga rata dengan timbunan sand blanket tahap II, seperti yang ditunjukkan dalam gambar Gambar 3.7.



Gambar 3.7. Pemasangan Geotextile, Sand Blanket dan PVD

Sumber : Data Teknis Proyek Pembangunan Apron Cargo (2012)

#### 5. Timbunan *Sand Blanket* Tahap II

Timbunan *sand blanket* tahap II dilaksanakan setelah pemasangan *pre-fabricated vertical drain* selesai, dengan ketebalan 25 cm. Selanjutnya permukaan sand blanket tahap II ditutup dengan menggunakan *geotextile* yang berfungsi sebagai pemisah (*sparator*) antara material *sand blanket* dengan material timbunan struktur.

#### 6. Pemasangan Instrumen Geoteknik

Pemasangan instrumen geoteknik bertujuan untuk mengontrol dan memonitor perilaku tanah asli terutama pada saat dilakukan *preloading*. Besarnya penurunan (*settlement*) dan lamanya proses konsolidasi dapat diketahui melalui pengamatan instrumen geoteknik tersebut.

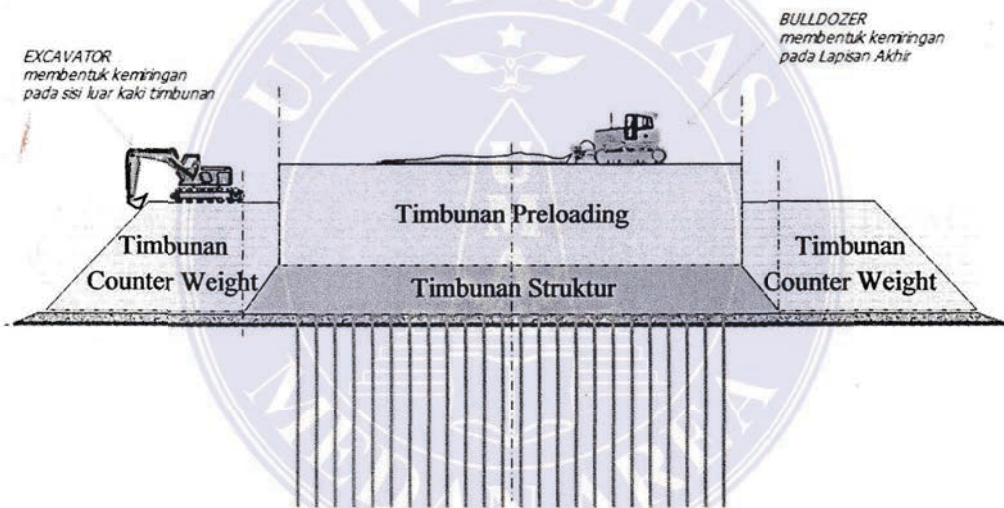
#### 7. Timbunan Struktur

Timbunan struktur adalah timbunan yang terletak di bawah lapisan perkerasan. Timbunan ini diberikan untuk menaikkan ketinggian sampai mendapatkan elevasi perkerasan rencana dan bagian teratas dari timbunan ini akan menjadi subgrade dari struktur perkerasan yang direncanakan.

Timbunan struktur bersifat permanen dan direncanakan dengan ketebalan 1,0 meter yang berada di atas timbunan sand blanket.

#### 8. Timbunan *Preloading*

Timbunan preloading dilaksanakan dengan menggunakan sistem counter weight. Hal ini dimaksudkan untuk menghindari terjadinya kelongsoran akibat daya dukung tanah yang rendah. Timbunan preloading dilaksanakan setelah timbunan struktur selesai dikerjakan dengan kepadatan sesuai rencana. Timbunan preloading bersifat sementara dengan ketebalan 6,0 meter yang berada di atas timbunan struktur seperti yang ditunjukkan dalam gambar Gambar 3.8. Dan timbunan preloading nantinya akan dibongkar apabila konsolidasi primer telah tercapai.



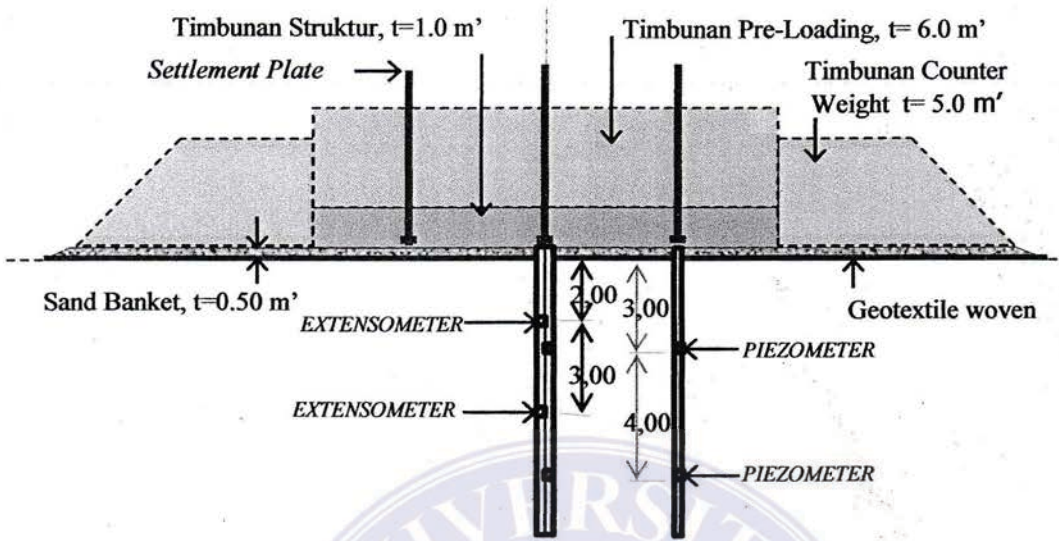
Gambar 3.8. Penampang Timbunan Preloading dan Counter Weight

Sumber : Data Teknis Proyek Pembangunan Apron Cargo (2012)

#### 9. Pemotongan dan Pembuangan Material *Preloading*

Pemotongan preloading dilakukan setelah penurunan konsolidasi dicapai minimum 90%. Waktu yang diperlukan untuk mencapai 90% penurunan konsolidasi ini diperoleh dari hasil monitoring, namun tidak boleh lebih cepat dari 2 bulan terhitung mulai diberikannya tinggi maksimum preloading. Material preloading dipotong sampai pada level timbunan struktur dan di buang ke luar lokasi pekerjaan. Selain itu pemotongan preloading juga

bertujuan untuk membentuk level permukaan timbunan struktur yang akan dijadikan *subgrade* dari *perkerasan rigid pavement*.



Gambar 3.9 Penampang Instrumentasi, Timbunan Struktur dan Preloading  
Sumber : Data Teknis Proyek Pembangunan Apron Cargo (2012)





## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil nalisa dan pembahasan pada bab sebelumnya mengenai metode perbaikan tanah dengan menggunakan kombinasi preloading dan pemasangan pre-fabricated vertical drain untuk mempercepat proses konsolidasi pada proyek pembangunan apron cargo bandar udara Kualanamu, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil analisa terhadap metode perbaikan tanah dengan menggunakan preloading saja (metode alamiah) didapat bahwa untuk mencapai derajat konsolidasi 90% ( $U=90\%$ ) diperlukan waktu 6290.953 hari dan penurunan tanah yang terjadi sebesar 58.081 cm.
2. Dengan mengkombinasikan antara *preloading* dan pemasangan *pre-fabricated vertical drain* pada suatu metode perbaikan tanah, maka dapat mempercepat waktu konsolidasi yang diperlukan untuk penurunan pada derajat konsolidasi 90% ( $U=90\%$ ) sebesar 58.081 cm, dari waktu yang dibutuhkan selama 6290.953 hari menjadi 60.359 hari.
3. Dalam hal ini penggunaan *pre-fabricated vertical drain* sangat efektif karena dapat mempercepat waktu konsolidasi hingga mencapai 6230.594 hari atau sebesar 10422 %.
4. Adanya perbedaan hasil antara perhitungan analisa dan data lapangan yang diperoleh melalui monitoring dan pembacaan instrumen geoteknik.

#### 5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan di atas, untuk mendapatkan hasil yang lebih sempurna agar metode perbaikan tanah dengan menggunakan kombinasi

*preloading* dan pemasangan *pre-fabricated vertical drain* lebih efektif dan efisien, maka dapat disarankan hal – hal sebagai berikut :

1. Perlu dilakukan studi perbandingan mengenai metode perbaikan tanah antara kombinasi *preloading* dan pemasangan *pre-fabricated vertical drain* dengan metode-metode yang lain seperti penambahan bahan stabilisator, berikut kajiannya mengenai dampak pemakaian stabilisator tersebut terhadap lingkungan.
2. Perlu dilakukan kajian finansial terhadap biaya pengadaan dan pemasangan *pre-fabricated vertical drain* serta material timbunan untuk *preloading* dan keuntungan percepatan waktu pelaksanaan pekerjaan.



## DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, J.E, 1993, *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*, Edisi Kedua, Erlangga, Jakarta
- Craig, R.F, 1989, *Mekanika Tanah*. Diterjemahkan : Budi Susilo Soepanji, Erlangga, Jakarta
- Das Braja M., 1988, *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik) Jilid 1*, Erlangga, Jakarta
- Das Braja M., 1994, *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik) Jilid 2*, Erlangga, Jakarta
- Hidayati Maria Anissa, Ardana Wiryia Dodiek Made, 2008, *Kombinasi Preloading dan Penggunaan Pre-fabricated Vertical Drains untuk Mempercepat Konsolidasi Tanah Lempung Lunak (Studi Kasus Tanah Lempung Suwung Kangin)*, Fakultas Teknik Universitas Udayana, Bali
- Pasaribu Hotman, Iskandar Rudi, 2008, *Analisa Penurunan pada Tanah Lunak (Studi Kasus pada Runway Bandara Medan Baru)*, Departemen Teknik Sipil Universitas Sumatera Utara, Medan
- Pusat Litbang Prasarana Transportasi, 2001, *Panduan Geoteknik 1 : Proses Pembentukan dan Sifat – Sifat Dasar Tanah Lunak*, Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, Bandung
- Pusat Litbang Prasarana Transportasi, 2002, *Panduan Geoteknik 2 : Penyelidikan Tanah Lunak, Desain & Pekerjaan Lapangan*, Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, Bandung
- Pusat Litbang Prasarana Transportasi, 2002, *Panduan Geoteknik 3 : Penyelidikan Tanah Lunak, Pengujian Laboratorium*, Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, Bandung
- Pusat Litbang Prasarana Transportasi, 2002, *Panduan Geoteknik 4 : Desain dan Konstruksi*, Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, Bandung
- Pusat Litbang Prasarana Transportasi, 2005, *Pedoman Konstruksi dan Bangunan : Stabilisasi Dangkal Tanah Lunak untuk Konstruksi Timbunan Jalan (dengan Semen dan Cerucuk)*, Departemen Pekerjaan Umum, Bandung
- Pusat Litbang Jalan dan Jembatan, 2009, *Pedoman Konstruksi dan Bangunan : Stabilisasi Dangkal Tanah Lunak untuk Konstruksi Timbunan Jalan dengan Semen dan Cerucuk*, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta
- Santosa Budi, Suprpto Heri, Suryadi, H.S, (1998), *Serial Diktat Kuliah Mekanika Tanah Lanjutan, Gundarma*, Jakarta

Standar Nasional Indonesia, 2008, *Tata Cara Pemasangan Instrumen Magnetis dan Pemantauan Pergerakan Vertikal Tanah*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta

Sutarman E., 2009, *Konsep & Aplikasi Mekanika Tanah Edisi 1*, Andi, Yogyakarta

Sudarmo, G, Djatmiko dan S. J, Edy Purnomo, 1993, *Mekanika Tanah I*, Kanisius, Jakarta

Terzaghi Karl, 1987, *Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa Jilid I Edisi Kedua*, Erlangga, Jakarta

Wesley, L.D, 1977, *Mekanika Tanah*, Badan Penerbitan Pekerjaan Umum, Jakarta

