

**EVALUASI KINERJA PERBAIKAN TANAH LUNAK MENGGUNAKAN
INSTRUMENT GEOTEKNIK PADA PEMBANGUNAN KAWASAN KOTA
SUMMARECON BANDUNG AREA CLUSTER AMANDA DAN BTARI
DENGAN PENGGUNAAN *PRELOADING* DAN *PREFABRICATED
VERTICAL DRAIN (PVD)***

**SKRIPSI
TEKNIK SIPIL**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**ZAHRA FEBRINA LILABSARI
NIM. 135060100111027**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2018**

LEMBAR PENGESAHAN

EVALUASI KINERJA PERBAIKAN TANAH LUNAK MENGGUNAKAN INSTRUMENT GEOTEKNIK PADA PEMBANGUNAN KAWASAN KOTA SUMMARECON BANDUNG AREA CLUSTER AMANDA DAN BTARI DENGAN PENGGUNAAN *PRELOADING* DAN *PREFABRICATED VERTICAL DRAIN (PVD)*

SKRIPSI

TEKNIK SIPIL

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



ZAHRA FEBRINA LILABSARI

NIM. 135060100111027

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
Pada tanggal 5 Januari 2018

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Ir. As'ad Munawir, MT
NIP. 19591111 198601 1 003

Ir. Wahyu P. Kuswanda

Mengetahui,
Ketua Program Studi S1

Dr. Eng. Indradi Wijatmiko, ST., M.Eng (Prac.)
NIP. 19810220 200604 1 002

*Terimakasih untuk Keluarga
Bapak dan Ibu Dosen
Sahabat Kuliah
Seluruh Elemen Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Brawijaya
Yang Selalu Saya Banggakan*

HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI SKRIPSI

Judul Skripsi :

Evaluasi Kinerja Perbaikan Tanah Lunak Menggunakan Instrument Geoteknik pada Pembangunan Kawasan Kota Summarecon Bandung Area Cluster Amanda dan Btari dengan Penggunaan *Preloading* dan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD)

Nama Mahasiswa : Zahra Febrina Lilabsari

NIM : 135060100111027

Program Studi : Teknik Sipil

Minat : Geoteknik

Tim Dosen Penguji :

Dosen Penguji 1 : Dr. Ir. As'ad Munawir, MT

Dosen Penguji 2 : Ir. Wahyu P. Kuswanda

Dosen Penguji 3 : Eko Andi Suryo, ST., MT., Ph.D

Tanggal Ujian : 18 Desember 2018

SK Penguji : 1672/UN 10.F07/SK/2017

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata didalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 8 Januari 2018

Mahasiswa,

Zahra Febrina Lilabsari
NIM. 135060100111027

RIWAYAT HIDUP

Zahra Febrina Lilabsari, lahir di Jakarta, 29 Februari 1996, anak ketiga dari Bapak Zaenal Arifin dan Ibu Rini Amira Basri. Mulai memasuki bangku sekolah di SDIT As-Salaamah sejak tahun 2001 dan lulus pada tahun 2007. Kemudian melanjutkan pendidikan di MTsN 3 Jakarta dan lulus pada tahun 2010. Selanjutnya melanjutkan pendidikan di SMAN 87 Jakarta dan lulus pada tahun 2013. Kemudian mengenyam bangku perkuliahan hingga lulus S1 (Strata 1) pada tahun 2017 dari Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang.

Selama kuliah aktif berpartisipasi dalam UKM (Unit Kegiatan Mahasiswa) Intitut Karate-do Indonesia serta kegiatan kepanitiaan yang diselenggarakan di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang.

Malang, Januari 2018

Penulis

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang atas segala rahmat dan hidayah-Nya, hingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul **“Evaluasi Kinerja Perbaikan Tanah Lunak Menggunakan Instrument Geoteknik pada Pembangunan Kawasan Kota Summarecon Bandung Area Cluster Amanda dan Btari dengan Penggunaan *Preloading* dan *Prefabricated Vertical Drain (PVD)*”** sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan studi strata satu di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini tidak akan dapat terselesaikan tanpa adanya bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis juga tak lupa untuk mengucapkan terima kasih kepada :

1. Keluarga penulis, Bapak Zainal Arifin, Ibu Rini Amira B, dan adik kakak saya Reza, Wahyu, Rayhan, Rizkya, serta keluarga besar tercinta yang selalu memberikan doa, dukungan, dan segala bantuan kepada penulis.
2. Bapak Ir. Sugeng P. Budio, MS selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya dan Bapak Dr. Eng. Indradi Wijatmiko, ST., M.Eng (Prac) selaku Ketua Prodi S1 Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
3. Bapak Dr. Ir. As’ad Munawir MT. selaku Dosen Pembimbing I yang telah membimbing dan memberikan saran dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Bapak Ir. Wahyu P. Kuswanda selaku Dosen Pembimbing II yang turut membimbing dan memberikan saran dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Ibu Iis dan Bapak Danang serta para staff dari PT. Teknindo Geosistem Unggul yang telah membantu dan memberikan saran dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Bapak Ibu dosen Teknik Sipil Universitas Brawijaya yang telah mengajar dan mendidik selama masa perkuliahan.
7. Fardho Khanandu yang selalu memberikan dukungan di saat senang dan sedih.
8. Hanna, Fanny, Ryan dan Erick sebagai partner yang telah sangat membantu saya dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
9. Fanny Ika Saraswati yang telah menjadi “Mama” selama di masa perkuliahan.
10. Nadia Izmi Carissa, M. Rofiul Fajar, Anasrullah W., dan Fanny Ika S. yang telah memberi dukungan serta saling membantu selama masa perkuliahan.
11. Teman-teman seangkatan Teknik Sipil 2013 yang telah berjuang bersama.

Untuk penyempurnaan skripsi ini, penulis berharap adanya kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak. Semoga skripsi ini juga bermanfaat bagi pembaca khususnya untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

Malang, Januari 2018

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xi
RINGKASAN	xiii
SUMMARY	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	2
1.3 Rumusan Masalah.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Tujuan.....	3
1.6 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tanah Lunak.....	5
2.2 Penurunan Tanah (<i>Settlement</i>).....	5
2.2.1 Penurunan Segera (<i>Immediate Settlement - S_i</i>).....	6
2.2.2 Penurunan Konsolidasi.....	7
2.2.2.1 Penurunan Konsolidasi Primer (<i>Consolidation Settlement – S_c</i>).....	8
2.2.2.2 Penurunan Konsolidasi Sekunder (<i>Secondary Settlement – S_s</i>).....	11
2.3 Perbaikan Tanah Lunak.....	12
2.3.1 <i>Preloading</i>	12
2.3.2 <i>Vertical Drain</i>	15
2.3.3 <i>Prefabricated Horizontal Drain (PHD)</i>	18
2.4 Instrument Geoteknik.....	19
2.4.1 <i>Settlement Plate</i>	19

2.4.2	<i>Inclinometer</i>	20
2.4.3	<i>Pneumatic Piezometer</i>	20
2.4.4	Derajat Konsolidasi yang Terjadi di Lapangan	21
2.4.4.1	Dari Bacaan <i>Settlement Plate</i>	22
2.4.4.2	Dari Bacaan <i>Piezometer</i>	23
2.4.5	Kestabilan Timbunan di Lapangan	23
2.5	Perencanaan <i>Prefabricated Vertical Drain</i> (PVD)	24
2.5.1	Parameter Tanah.....	24
2.5.1.1	Koefisien Konsolidasi Vertikal (C_v).....	24
2.5.1.2	Koefisien Konsolidasi Horizontal (C_h)	24
2.5.1.3	Indeks Pemampatan (C_c).....	25
2.5.1.4	Indeks Pemuaian (C_s).....	25
2.5.1.5	Koefisien Kompresibilitas Volume (m_v)	26
2.5.2	Penentuan Waktu Konsolidasi dengan Menggunakan PVD	26
2.5.3	Faktor Hambatan	27
2.5.3.1	Faktor Hambatan Akibat Jarak Antar PVD (F_n)	27
2.5.3.2	Faktor Hambatan Akibat Efek <i>Smear</i> (F_s)	28
2.5.3.3	Faktor Hambatan Alir (F_r).....	28
2.5.4	Penentuan Derajat Konsolidasi dengan Menggunakan PVD	29
2.6	Metode Prediksi Penurunan Tanah	30
2.6.1	Metode Asaoka	30
2.6.2	Metode Terzaghi	32
2.6.3	Metode Hiperbolik	33
2.6.4	Metode Teori Titik Balik	33
BAB III METODE PENELITIAN		35
3.1	Lokasi Studi Kasus	35
3.2	Metode Pengumpulan Data.....	36

3.2.1 Data Tanah Dasar	36
3.2.2 Data Material dan Pemasangan PVD.....	37
3.2.3 Data Bacaan <i>Settlement Plate</i>	37
3.2.4 Data Bacaan <i>Pneumatic Piezometer</i>	37
3.2.5 Data Bacaan <i>Inclinometer</i>	37
3.2.6 Data Timbunan	37
3.3 Cara Analisis	38
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	41
4.1 Hasil Pengumpulan Data.....	41
4.1.1 Data Tanah Dasar	41
4.1.2 Data Timbunan	42
4.1.3 Data Material dan Pemasangan PVD.....	42
4.1.4 Data <i>Settlement Plate</i>	43
4.1.5 Data <i>Pneumatic Piezometer</i>	46
4.1.6 Data <i>Inclinometer</i>	49
4.2 Hasil Pengolahan Data	51
4.2.1 Penentuan Parameter Tanah	51
4.2.2 Prediksi Awal Penurunan Konsolidasi Secara Teoritis	52
4.2.2.1 Prediksi Awal Penurunan Konsolidasi Total.....	53
4.2.2.2 Perhitungan Derajat Konsolidasi pada Prediksi Awal	56
4.2.2.3 Perhitungan Prediksi Awal Penurunan Konsolidasi yang Terjadi	58
4.2.3 Prediksi Penurunan Metode Asaoka	59
4.2.4 Penentuan Derajat Konsolidasi Aktual	61
4.2.4.1 Penentuan Derajat Konsolidasi Berdasarkan Bacaan <i>Settlement Plate</i>	61
4.2.4.2 Penentuan Derajat Konsolidasi Berdasarkan Bacaan <i>Piezometer</i>	61
4.2.5 Kestabilan Tanah pada Timbunan	63

4.2.6 Analisa Balik Parameter Tanah Untuk Desain <i>Preloading</i> dengan <i>Vertical Drains</i>	64
4.2.6.1 Nilai Koefisien Konsolidasi Arah Horizontal (C_h) Berdasarkan Kemiringan Grafik Asaoka	64
4.2.6.2 Nilai Koefisien Kompresibilitas Volume (m_v).....	65
4.2.6.3 Nilai Permeabilitas Tanah Arah Vertikal (k_v).....	65
4.2.6.4 Nilai Indeks Pemampatan (C_c)	65
4.2.7 Prediksi Waktu Tunggu untuk Konsolidasi Mencapai 90%	66
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	67
5.1 Kesimpulan	67
5.2 Saran	68
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Nilai Indeks Pemampatan (C_c) Berbagai Jenis Tanah Lempung	25
Tabel 4.1	Koordinat titik-titik lokasi penyelidikan tanah	42
Tabel 4.2	Data Bacaan <i>Settlement Plate</i> SP-16 Hingga Hari ke-43	44
Tabel 4.3	Data Bacaan <i>Piezometer</i> PP-05 Sampai Hari ke-40.....	47
Tabel 4.4	Data <i>Inclinometer</i> 02 Arah A pada Tanggal 30 April Hingga 3 Mei 2017	49
Tabel 4.5	Rekapitulasi Data Tanah Dasar	52
Tabel 4.6	Perhitungan Penurunan Konsolidasi Akibat <i>Preloading</i> 1 Pada SP-16	54
Tabel 4.7	Prediksi Awal Total Penurunan Konsolidasi SP-16 untuk $U = 100\%$	55
Tabel 4.8	Hasil Penurunan Akhir Secara Teoritis	55
Tabel 4.9	Perbandingan Penurunan Aktual dan Penurunan Teoritis Hingga Hari Ke-382 .58	
Tabel 4.10	Besar penurunan hari ke-n (S_n –sumbu x) dan besar penurunan hari ke n+1 (S_{n+1} – sumbu y).....	59
Tabel 4.11	Hasil Estimasi Penurunan Akhir Metode Asaoka	60
Tabel 4.12	Derajat Konsolidasi Berdasarkan Bacaan <i>Settlement Plate</i>	61
Tabel 4.13	Parameter Tanah Hasil Analisa Balik.....	66
Tabel 4.14	Prediksi Waktu Tercapainya Konsolidasi 90%	66

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
	<i>Gambar 2.1</i> Grafik koefisien f_1 dan f_2	7
	<i>Gambar 2.2</i> Hubungan antara waktu (skala log) dengan pemampatan selama konsolidasi untuk penambahan beban yang diberikan.....	7
	<i>Gambar 2.3</i> Karakteristik konsolidasi lempung yang terkonsolidasi normal dengan sensitivitas rendah hingga sedang.	10
	<i>Gambar 2.4</i> Karakteristik konsolidasi lempung yang terlalu terkonsolidasi dengan sensitivitas rendah hingga sedang	10
	<i>Gambar 2.5</i> Tahapan penurunan tanah (<i>Ground Settlement</i>).....	11
	<i>Gambar 2.6</i> Proses <i>Preloading</i> menggunakan tanah timbunan	12
	<i>Gambar 2.7</i> Perbandingan waktu dan penurunan dengan <i>Preloading</i> dan <i>surcharge</i>	13
	<i>Gambar 2.8</i> Grafik nilai T_v dengan U	14
	<i>Gambar 2.9</i> Grafik perbandingan $\Delta\sigma'(f)$ dan $\Delta\sigma'_{(p)}$ dengan U	15
	<i>Gambar 2.10</i> Proses <i>Preloading</i> dengan menggunakan <i>vertical drains</i>	16
	<i>Gambar 2.11</i> Material <i>Prefabricated Vertical Drain (PVD)</i>	16
	<i>Gambar 2.12</i> Pola drainase vertikal.....	18
	<i>Gambar 2.13</i> Material <i>Prefabricated Horizontal Drain (PHD)</i>	18
	<i>Gambar 2.14</i> (a) material <i>Settlement Plate</i> (b) <i>waterpass</i>	20
	<i>Gambar 2.15</i> (a) Pipa <i>Inclinometer</i> (b) alat monitoring <i>Inclinometer</i>	20
	<i>Gambar 2.16</i> (a) material <i>Pneumatic Piezometer</i> (b) alat monitoring <i>Pneumatic Piezometer</i>	21
	<i>Gambar 2.17</i> Posisi instrument monitoring di lapangan	21
	<i>Gambar 2.18</i> Mencari penurunan akhir dengan penggunaan metode Asaoka pada beban $P=x$	22
	<i>Gambar 2.19</i> Grafik penurunan - waktu sampai pada penurunan akhir	23
	<i>Gambar 2.20</i> Ilustrasi daerah terganggu	27
	<i>Gambar 2.21</i> Prosedur analisis data monitoring penurunan dengan interval waktu yang konstan.....	32
	<i>Gambar 2.22</i> Prediksi penurunan akhir dengan metode Asaoka	32
	<i>Gambar 2.23</i> Analisis penurunan tanah dengan metode hiperbolik.....	33
	<i>Gambar 2.24</i> Analisis penurunan tanah dengan menggunakan metode titik balik (a) sebelum modifikasi Robinson 1997 (b) setelah modifikasi Robinson 1997	34

<i>Gambar 3.1</i> Lokasi cluster Amanda dan Btari pada proyek Summarecon Bandung	35
<i>Gambar 3.2</i> Ilustrasi potongan rumah 2 lantai	36
<i>Gambar 3.3</i> Diagram alir tahapan analisis	39
<i>Gambar 4.1</i> Lokasi pengerjaan penyelidikan tanah dasar	41
<i>Gambar 4.2</i> <i>Vertical drains</i> tipe CeTeau Drain CT-D822	43
<i>Gambar 4.3</i> Pemasangan <i>vertical drains</i>	43
<i>Gambar 4.4</i> Lokasi letak penempatan <i>Settlement Plate</i> , <i>Pneumatic Piezometer</i> dan <i>Inclinometer</i>	44
<i>Gambar 4.5</i> Grafik elevasi penimbunan <i>Preloading</i> pada SP-16 hingga hari ke-43.....	46
<i>Gambar 4.6</i> Grafik penurunan tanah SP-16 hingga hari ke-43	46
<i>Gambar 4.7</i> Grafik elevasi penimbunan <i>Preloading</i> pada PP-05 hingga hari ke-40.....	48
<i>Gambar 4.8</i> Grafik <i>Pneumatic Piezometer</i> pada PP-05 hingga hari ke-40	48
<i>Gambar 4.9</i> Grafik Bacaan <i>Inclinometer</i> 02 Arah A pada Tanggal 30 April Hingga 3 Mei 2017	51
<i>Gambar 4.10</i> Penampang melintang tanah timbunan	52
<i>Gambar 4.11</i> Grafik tahapan penimbunan SP-16	58
<i>Gambar 4.12</i> Grafik penurunan tanah dengan perhitungan teoritis dan penurunan aktual pada SP-16	59
<i>Gambar 4.13</i> Prediksi penurunan akhir metode Asaoka berdasarkan data SP-16.....	60
<i>Gambar 4.14</i> Ilustrasi pemasangan PP-05.....	62
<i>Gambar 4.15</i> Kelebihan tegangan air pori pada hari ke-271	62

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1.	Data Tanah Dasar	71
Lampiran 2.	Data Timbunan Dan <i>Vertical Drains</i>	81
Lampiran 3.	Data Settlement Plate	87
Lampiran 4.	Data Pneumatic Piezometer	149
Lampiran 5.	Data Inclinometer	167
Lampiran 6.	Perhitungan Penurunan Teoritis	173
Lampiran 7.	Grafik Penurunan Tanah	207
Lampiran 8.	Prediksi Asaoka	213
Lampiran 9.	Kalibrasi Alat	219

RINGKASAN

Zahra Febrina Lilabsari, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Desember 2017, Evaluasi Kinerja Perbaikan Tanah Lunak Menggunakan Instrument Geoteknik pada Pembangunan Kawasan Kota Summarecon Bandung Area Cluster Amanda dan Btari Dengan Penggunaan *Preloading* Dan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD), Dosen Pembimbing: Dr. Ir. As'ad Munawir, MT. dan Ir. Wahyu P. Kuswanda.

Penurunan konsolidasi tanah merupakan masalah geoteknik yang sering ditemukan pada kasus timbunan pada tanah lunak. Oleh karenanya digunakanlah teknik *Preloading* dan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) untuk mempercepat penurunan konsolidasi. Permasalahan yang sering timbul pada penggunaan *Preloading* dan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) adalah kegagalan desain yang menyebabkan waktu konsolidasi tidak berjalan sesuai rencana. Agar metode perbaikan tanah yang digunakan mempunyai efektivitas yang tinggi perlu diadakannya evaluasi pada penggunaan instrumen geoteknik. Dalam kajian ini evaluasi mencakup 3 instrumen geoteknik dimana *Settlement Plate* digunakan untuk mengevaluasi penurunan teoritis, menghitung prediksi penurunan akhir dengan metode observasi Asaoka serta derajat konsolidasi di lapangan. Derajat konsolidasi juga dievaluasi menggunakan instrumen *Pneumatic Piezometer*. *Inclinometer* digunakan untuk mengevaluasi kestabilan pada timbunan yang digunakan. Kegagalan desain pada penggunaan *Preloading* dan *Prefabricated Vertical Drain* dapat terjadi dikarenakan kesalahan perencanaan dalam menentukan parameter-parameter desain tanah, oleh karena itu kajian ini juga membahas parameter desain tanah yang sesuai dengan yang terjadi di lapangan dengan menggunakan *back analysis method*.

Hasil yang didapatkan dalam kajian ini adalah perbandingan penurunan aktual dan teoritis rata-rata sebesar 0,862. Untuk prediksi penurunan tanah akhir didapatkan nilai sebesar 2191,08 mm dengan sisa penurunan yang akan terjadi berkisar 100 – 450 mm. Pada kajian ini, derajat konsolidasi aktual dari bacaan *Piezometer* adalah 85,36% dan dari bacaan *Settlement Plate* adalah 88,42% dengan selisih perbedaannya sebesar 3,06%. Dari bacaan *Inclinometer* pergeseran lateral yang terjadi dibawah tanah tidak ada kelongsoran sehingga timbunan yang digunakan tetap aman. Hasil dari *back analysis method* merupakan nilai C_h dimana nilai C_h yang baru adalah $1,914C_v$.

Kata Kunci: Konsolidasi, *preloading*, *prefabricated vertical drain*, instrumen geoteknik, teori Asaoka

SUMMARY

Zahra Febrina Lilabsari, Civil Engineering, Faculty of Engineering Universitas Brawijaya, 18 December 2017, *The Performance Evaluation of Soil Improvement Using Geotechnical Instrument at Development of Summarecon City Bandung Area Cluster Amanda and Btari Using Preloading and Prefabricated Vertical Drain (PVD)*, Lecturer: Dr. Ir. As'ad Munawir, MT. and Ir. Wahyu P. Kuswanda.

The settlement of soil consolidation is geotechnical problem which is often found in soft soil accumulation. It is therefore, Preloading and Prefabricated Vertical Drain techniques are used to accelerate consolidational settlement. The problem which often appeared in using Preloading and Prefabricated Vertical Drain (PVD) is the failure of design. It causes the consolidation time cannot run in accordance with the planning. In order to have soil improvemet method which has high effectiveness it is necessary to evaluate the use of geotechnical instruments. In this study, the evaluation covers 3 (three) geotechnical instruments, where Settlement Plate is used to evaluate theoretical settlement, to calculate final settlement prediction with Asaoka observation method and consolidation degree in the field. Consolidation degree also can be evaluated using Pneumatic Piezometer instrument. The inclinometer is used to evaluated the stability of embankment. The failure of design in using Preloading and Prefabricated Vertical Drain (PVD) can be accured because of the mistake of planner in determaining soil design parameters, therefore this study also discusses soil design parameters in actual condition using back analysis method.

The results obtained in this study are comparison of actual and theoretical settlement on average of 0.862. To predict final settlement it can be obtained the value 2191,08 mm with the rest of settlement which will be accured about 100 – 450 mm. In this study the actual consolidation degree from Piezometer reading is 85,36% and Settlement Plate reading is 88,42% with the difference of 3,06%. From Inclinometer reading lateral shift which is accured below the soil there is no land slide so that the embankment which is used remains safe. The result of back analysis method is Ch value where the new Ch value is 1,914Cv.

Key Words: Consolidation, Preloading, Prefabricated Vertical Drain, Geotechnical Instruments, Asaoka

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gedebage yang berada di kota Bandung, provinsi Jawa Barat merupakan sebuah kawasan yang dulunya merupakan area persawahan serta dikenal sebagai daerah langganan banjir jika musim penghujan tiba. Berdasarkan analisa penyelidikan tanah (*soil investigation*), kondisi tanah di Gedebage merupakan tanah lunak dimana kandungan air dan udara lebih banyak dibandingkan partikel tanah padat. Kandungan air dan udara yang tinggi pada tanah lunak menyebabkan tanah tersebut memiliki nilai kemampumampatan yang relatif tinggi. Kemampumampatan yang tinggi tersebut menyebabkan tanah mengalami penurunan akibat terdisipasinya air pori yang terkandung pada tanah lunak (konsolidasi tanah) jika tanah diberikan beban struktur. Kawasan Summarecon Bandung yang berada di Gedebage perlu mengadakan perbaikan tanah untuk mengatasi penurunan tanah dasar yang terjadi. Perbaikan tanah yang sering digunakan untuk percepatan laju konsolidasi ialah *Preloading* yang dikombinasikan dengan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) dan *Prefabricated Horizontal Drain* (PHD).

Secara teknis *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) adalah pita-pita vertikal berbahan sintetis yang ditanamkan ke dalam tanah lunak yang kemudian pita tersebut berfungsi mengalirkan air dan udara di dalam tanah sampai keluar ke permukaan tanah, lalu *Prefabricated Horizontal Drain* (PHD) berfungsi mengalirkan air dan udara yang sudah dialirkan oleh PVD menuju tempat saluran air yang sudah disediakan. Agar dapat berfungsi, tanah tersebut dibebani berupa beban *Preloading*.

Pada setiap penggunaan metode *Preloading* yang dikombinasikan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) di lapangan, akan muncul beberapa permasalahan. Permasalahan yang seringkali timbul adalah kegagalan desain. Kegagalan desain dapat terjadi dikarenakan kesalahan perencana dalam menentukan parameter-parameter desain tanah diantaranya adalah nilai koefisien konsolidasi vertikal (C_v) dan nilai koefisien konsolidasi horizontal (C_h), sehingga menyebabkan waktu konsolidasi tidak berjalan sesuai rencana. Selain itu, pada pemasangan drainase vertikal diasumsikan bahwa sifat-sifat tanah sekelilingnya tidak berubah, tapi pada kenyataannya pemasangan drainase vertikal dapat

sedikit mengganggu (*disturb*) tanah, tergantung pada sensitivitas tanahnya (Rowe, 1968). Gangguan pada tanah akibat drainase vertikal seperti mengurangi permeabilitas tanah dapat memperlambat proses konsolidasi.

Nawir dkk (2012) melakukan penelitian pada studi kasus timbunan di Bontang, Kalimantan Timur. Ia melakukan prediksi penurunan tanah menggunakan 3 metode yaitu metode Terzaghi, metode elemen hingga dan metode Asaoka. Dari penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa estimasi penurunan konsolidasi yang didapat dari analisis konsolidasi Terzaghi memiliki hasil yang jauh lebih besar dari penurunan yang diperoleh dari analisis metode Asaoka, artinya estimasi dari metode Terzaghi mendapatkan nilai yang lebih besar dari nilai penurunan tanah aktual. Sedangkan kekurangan dari metode elemen hingga adalah masih membutuhkan parameter-parameter tanah yang ketidakpastiannya tinggi, sehingga hasilnya masih memiliki perbedaan yang signifikan dengan penurunan aktual.

Berdasarkan latar belakang tersebut, agar metode perbaikan tanah yang digunakan mempunyai efektivitas yang tinggi perlu diadakannya evaluasi pada instrument-instrument geoteknik yang digunakan serta evaluasi parameter tanah yang digunakan.

1.2 Identifikasi Masalah

Mengacu pada latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya, maka identifikasi masalah dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Kemampuanampatan tanah lunak yang besar akan memudahkan tanah untuk mengalami penurunan tanah dasar yang mengakibatkan rendahnya daya dukung tanah. Perbaikan tanah menggunakan *Preloading* dikombinasikan dengan *Prefabricated Vertical Drain (PVD)* mengkondisikan tanah untuk mengalami pemampatan secara lebih cepat dari pada pemampatan alami yang terjadi pada kurun waktu yang sangat lama. Tanah yang telah dimampatkan akan memiliki daya dukung yang lebih besar sehingga tanah siap untuk konstruksi.
2. Pada penerapan metode perbaikan tanah tersebut, instrument geoteknik yang digunakan berperan penting untuk meninjau penurunan yang terjadi

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan hasil identifikasi masalah, didapatkan perumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana perbandingan penurunan tanah secara teoritis dengan keadaan aktual serta prediksi penurunan tanah akhir akibat *Preloading* dan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) dengan penggunaan metode observasi Asaoka?
2. Bagaimana derajat konsolidasi dan kestabilan tanah secara aktual?
3. Bagaimana hasil parameter-parameter tanah yang digunakan berdasarkan *back analysis method*?

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang digunakan sebagai ruang lingkup penelitian adalah sebagai berikut :

1. Perbaikan tanah yang dilakukan menggunakan metode *Preloading* dan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) dimana PVD yang digunakan hanya pola segitiga
2. Data yang digunakan dalam penelitian adalah data sekunder yang berasal dari PT. Teknindo Geosistem Unggul
3. Lokasi perencanaan perbaikan tanah yang diteliti adalah Kawasan Kota Summarecon Bandung area Cluster Amanda dan Btari
4. Metode prediksi penurunan tanah menggunakan teori Asaoka dengan data yang digunakan berasal dari pembacaan *Settlement Plate*
5. Perhitungan derajat konsolidasi menggunakan data yang berasal dari *Settlement Plate* dan *Pneumatic Piezometer*
6. Peninjauan kestabilan timbunan hanya berasal dari data *Inclinometer*
7. Data *Settlement Plate* yang digunakan hanya 5 titik dengan 1 titik *Piezometer* dan *Inclinometer*

1.5 Tujuan

Adapun penelitian ini dilakukan dengan tujuan sebagai berikut:

1. Membandingkan penurunan tanah yang terjadi secara teoritis dan aktual berdasarkan data instrument geoteknik serta mengetahui prediksi penurunan tanah akhir dengan pendekatan teori Asaoka sesuai dengan penurunan aktual yang terjadi
2. Mengetahui derajat konsolidasi yang tercapai serta kestabilan tanah timbunan secara aktual
3. Mengetahui parameter-parameter tanah yang sesuai dengan kondisi lapangan

1.6 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari analisis ini sebagai berikut:

1. Memberikan pengetahuan mengenai penggunaan instrument geoteknik yang digunakan pada metode perbaikan tanah menggunakan *Preloading* dan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD)
2. Mampu memprediksi penurunan tanah akhir dengan menggunakan teori Asaoka
3. Sebagai referensi dan acuan baru untuk kalangan akademis dalam analisis lebih lanjut mengenai evaluasi kinerja instrument perbaikan tanah menggunakan *Preloading* dan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) dengan metode observasi Asaoka

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah Lunak

Tanah lunak merupakan tanah yang jika tidak dikenali dan diselidiki secara berhati-hati dapat menyebabkan masalah ketidakstabilan dan penurunan jangka panjang yang tidak dapat ditolerir, tanah tersebut mempunyai kuat geser yang rendah dan kompresibilitas yang tinggi (Panduan Geoteknik I, 2001). Tanah lunak adalah tanah kohesif yang terdiri dari sebagian besar butir-butirnya sangat kecil, contohnya lempung ataupun lanau. Pada dasarnya tanah lunak memiliki gaya geser kecil, kemampumampatan besar, koefisien permeabilitas yang kecil dan daya dukung yang lebih rendah dibandingkan dengan tanah lempung lainnya.

Menurut Terzaghi (1967) pada Braja M. Das, tanah lempung kohesif dikelompokkan sebagai tanah lunak apabila mempunyai daya dukung lebih kecil dari $0,5 \text{ kg/cm}^2$ dengan nilai *standard penetration test* (SPT) lebih kecil dari 4.

Menurut Toha (1989), tanah lunak bersifat memiliki kadar air antara 80-100%, batas cair antara 80-110%, batas plastis antar 30-45%, saat dites analisis saringan, maka butiran yang lolos saringan no 200 akan lebih besar dari 90% serta memiliki kuat geser antara 20-40 kN/m^2 . Berdasarkan uji lapangan, secara fisik tanah lunak dapat diremas dengan mudah atau dapat ditembus dengan ibu jari minimum sedalam 2,5 cm.

2.2 Penurunan Tanah (*Settlement*)

Jika lapisan tanah mengalami pembebanan maka lapisan tanah mengalami regangan yang hasilnya berupa penurunan (*Settlement*). Regangan yang terjadi dalam tanah ini disebabkan oleh berubahnya susunan tanah maupun pengurangan rongga pori atau air dalam tanah tersebut. Jumlah dari regangan sepanjang kedalaman lapisan merupakan penurunan total tanahnya. Penurunan akibat beban adalah jumlah total dari penurunan segera (*immediate Settlement*) dan penurunan konsolidasi (*consolidation Settlement*).

Pada tanah berpasir yang *permeable*, air dapat mengalir dengan cepat sehingga air pori yang mengalir keluar sebagai akibat dari kenaikan tekanan air pori dapat selesai dengan cepat. Keluarnya air dari dalam pori selalu disertai dengan berkurangnya volume tanah, pengurangan volume tanah tersebut dapat menyebabkan penurunan lapis tanah karena air

pori didalam tanah berpasir dapat mengalir keluar dengan cepat, maka penurunan segera dan penurunan konsolidasi terjadi secara bersamaan (Das, 1985).

2.2.1 Penurunan Segera (*Immediate Settlement - S_i*)

Penurunan segera merupakan pemampatan yang diakibatkan oleh perubahan elastis tanah tanpa adanya perubahan kadar air. Perhitungan pemampatan segera ini umumnya didasarkan pada pemampatan yang diturunkan dari teori elastisitas. Namun dalam prakteknya sulit untuk memperkirakan besarnya penurunan. Hal ini tidak hanya karena tanah dalam kondisi alamnya tidak homogeny dan anistropis dengan modulus elastisitas yang bertambah dengan kedalamannya, tetapi juga terdapat kesulitan dalam mengevaluasi kondisi tegangan dan regangan di lapisannya.

Untuk menghitung besarnya nilai penurunan segera, persamaan didasarkan pada teori elastisitas dengan *poisson ratio* = 0,5 dan modulus elastisitas *undrain*.

$$S_i = \frac{I_v q B}{E_u} \dots\dots\dots (2-1)$$

Dimana :

I_v = faktor pengaruh yang tergantung pada geometri timbunan

q = tegangan yang bekerja pada tanah dasar

B = lebar daerah yang terbebani

E_u = modulus elastisitas *undrain*

Faktor I_v dapat dihitung dengan analisa teori elastis untuk penurunan penurunan di pojok beban garis (*strip load*) merata sesuai dengan Persamaan (2-2).

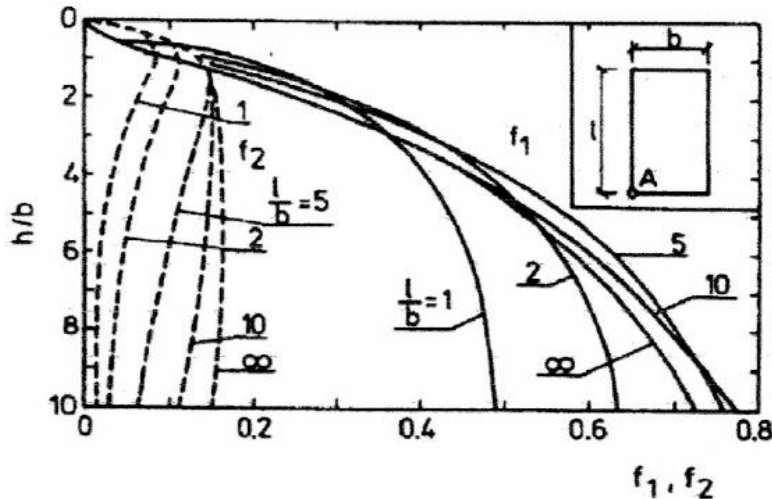
$$I_v = (1 - v^2)f_1 + (1 - v - 2v^2)f_2 \dots\dots\dots (2-2)$$

Untuk kasus pembebanan undrain, Persamaan (2-2) tereduksi menjadi

$$I_v = \frac{3}{4}f_1 \dots\dots\dots (2-3)$$

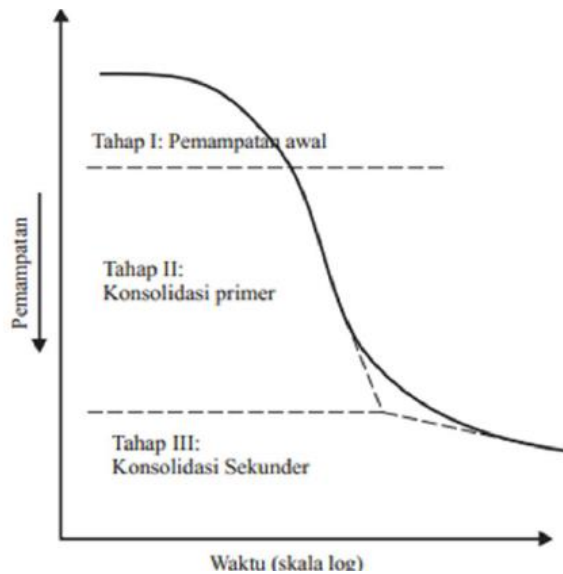
$$E_u = \frac{215c_u \ln F}{I_p} \dots\dots\dots (2-4)$$

Dengan koefisien f_1 dan f_2 dapat dilihat pada (**Gambar 2.1**).



Gambar 2.1 Grafik koefisien f_1 dan f_2
Sumber: PT. Teknindo Geosistem Unggul

2.2.2 Penurunan Konsolidasi



Gambar 2.2 Hubungan antara waktu (skala log) dengan pemampatan selama konsolidasi untuk penambahan beban yang diberikan.

Sumber: Das, B.M. (1994 : 184)

Braja M. Das, 1985, mendefinisikan konsolidasi sebagai proses keluarnya air atau udara dari dalam pori tanah, deformasi partikel tanah, relokasi partikel yang disebabkan oleh beban tambahan pada tanah

Penambahan beban diatas suatu permukaan tanah dapat menyebabkan lapisan tanah pada bagian bawah mengalami pemampatan. Pemampatan tersebut disebabkan oleh adanya deformasi partikel tanah, relokasi partikel, keluarnya air dan atau udara dari dalam pori, dan sebab-sebab lainnya (Hardiyatmo, 1995).

Pada umumnya, tahapan konsolidasi dapat ditunjukkan oleh grafik hubungan antara pemampatan dan waktu. Dari grafik pada (**Gambar 2.2**) dapat dilihat bahwa ada tiga tahapan yang berbeda yang dapat terjadi pada tanah.

- Tahap I : Pemampatan awal (*initial compression*), yang pada umumnya terjadi disebabkan oleh pembebanan awal (*Preloading*).
- Tahap II : Konsolidasi primer (*primary consolidation*), yaitu periode selama tegangan air pori secara lambat laun dipindahkan ke dalam tegangan efektif, sebagai akibat dari keluarnya air dari pori-pori tanah.
- Tahap III : Konsolidasi sekunder (*secondary consolidation*), yaitu yang terjadi setelah tegangan air pori hilang seluruhnya. Pemampatan yang terjadi adalah disebabkan oleh penyesuaian yang bersifat plastis dari butir-butir tanah setelah konsolidasi primer.

2.2.2.1 Penurunan Konsolidasi Primer (*Consolidation Settlement – S_c*)

Penurunan konsolidasi merupakan penurunan yang terjadi karena terdisipasinya tegangan air pori pada tanah kondisi *undrained* menuju tanah berkondisi *drained*. Menurut Weasley (1977) dalam Yunias (2010), apabila suatu lapisan tanah mengalami tambahan beban di atasnya, maka seiring berjalannya waktu maka air pori akan mengalir keluar dari pori-pori tanah tersebut dan volume total tanah akan menjadi lebih kecil. Pada umumnya konsolidasi berlangsung satu arah ke arah vertikal. Hal ini terjadi karena lapisan yang ditambahkan oleh beban tidak bergerak ke arah horizontal sebab ditanah oleh tanah disekelilingnya.

Untuk menghitung besarnya konsolidasi yang terjadi, Braja M. Das memberikan beberapa perumusan sesuai dengan kondisi tanah, yaitu untuk tanah terkonsolidasi normal (*normally consolidated*) dan tanah terkonsolidasi lebih (*over consolidated*).

Tanah terkonsolidasi normal terjadi dimana tegangan overburden efektif pada saat ini merupakan tegangan maksimum yang dialami oleh tanah. Untuk tanah dengan derajat sensitivitas rendah hingga sedang serta angka pori e_0 dan tegangan overburden σ_0' , perubahan angka pori ditunjukkan pada kurva 1 (**Gambar 2.3**). Kurva 2 menunjukkan hasil uji konsolidasi untuk contoh tanah yang struktur tanahnya tidak rusak (*undisturbed*). Jika struktur contoh tanah tersebut rusak dan kemudian dibentuk kembali (*remolded*), maka letak grafik e dengan $\log \sigma$ akan terbentuk seperti pada kurva 3. Sehingga persamaan untuk tanah yang terkonsolidasi secara normal dimana e dengan $\log \sigma$ merupakan garis lurus adalah

$$S_c = \frac{C_c \cdot H}{1 + e_0} \log \left(\frac{\sigma'_o + \Delta\sigma}{\sigma'_o} \right) \dots \dots \dots (2-5)$$

Tanah yang terkonsolidasi lebih (*over consolidated*) terjadi apabila tegangan efektif overburden pada saat ini lebih kecil dari tegangan yang pernah dialami oleh tanah itu sebelumnya, dimana tegangan overburden efektif maksimum yang pernah dialami dinamakan tegangan prakonsolidasi. Braja M. Das mengungkapkan tanah *over consolidated* dengan derajat sensitivitas rendah sampai sedang dan pernah mengalami tegangan prakonsolidasi serta angka pori e_0 dan tegangan overburden σ_0 , kurva konsolidasi ditunjukkan oleh garis cbd (**Gambar 2.4**). Dimana bd merupakan bagian dari kurva pemampatan asli. Untuk contoh tanah yang tingkat kerusakannya tidak terlalu besar ditunjukkan oleh kurva 2. Schmertmann (1953) pada Braja M. Das menyimpulkan bahwa kemiringan garis cb, yang merupakan garis pemampatan ulang (*recompression*) lapangan, mempunyai kemiringan yang hampir sama dengan kemiringan kurva pantul (*rebound curve*) fg dari hasil uji konsolidasi di laboratorium. Sehingga untuk tanah *over consolidated* dirumuskan sebagai berikut

Bila $\sigma'_o + \Delta\sigma \leq \sigma'_c$, maka:

$$S_c = \frac{C_s \cdot h}{1 + e_0} \times \text{Log} \left(1 + \frac{\Delta\sigma}{\sigma'_o} \right) \dots \dots \dots (2-6)$$

Bila $\sigma'_o + \Delta\sigma > \sigma'_c$, maka:

$$S_c = \frac{C_s \cdot h}{1 + e_0} \times \text{Log} \left(\frac{\sigma'_c}{\sigma'_o} \right) + \frac{C_c \cdot h}{1 + e_0} \times \text{Log} \left(\frac{\sigma'_o + \Delta\sigma}{\sigma'_c} \right) \dots \dots \dots (2-7)$$

Dengan :

h = tebal lapisan lempung

e_0 = angka pori awal (*Initial Void Ratio*)

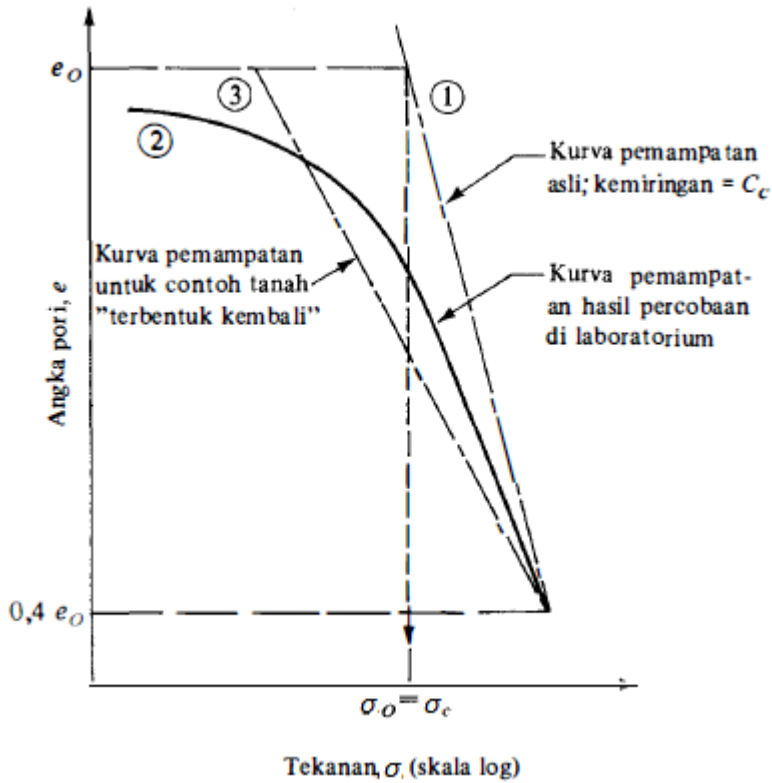
C_c = Indeks pemampatan

C_s = Indeks pemuai

$\Delta\sigma$ = penambahan tegangan (*Surchage*)

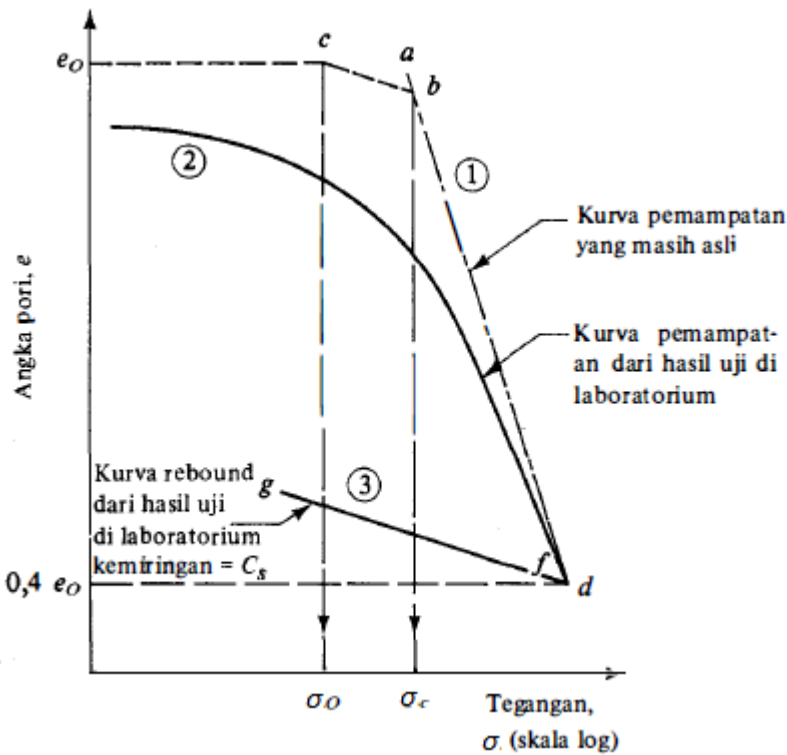
σ'_o = tegangan overburden efektif

σ'_c = tegangan prakonsolidasi efektif



Gambar 2.3 Karakteristik konsolidasi lempung yang terkonsolidasi normal dengan sensitivitas rendah hingga sedang.

Sumber: Braja M. Das (1985)



Gambar 2.4 Karakteristik konsolidasi lempung yang terlalu terkonsolidasi dengan sensitivitas rendah hingga sedang

Sumber: Braja M. Das (1985)

2.2.2.2 Penurunan Konsolidasi Sekunder (*Secondary Settlement – S_s*)

Penurunan sekunder terjadi setelah adanya penurunan konsolidasi primer. Penurunan ini terjadi akibat adanya penyesuaian butir-butir tanah pada kerangka tanah setelah tegangan air pori berlebih terdisipasi sempurna ($u = 0$). Pada proses penurunan sekunder tidak terjadi perubahan tegangan efektif tanah sehingga pada umumnya berlangsung pada waktu yang sangat lama. Konsolidasi sekunder dapat dirumuskan sebagai berikut

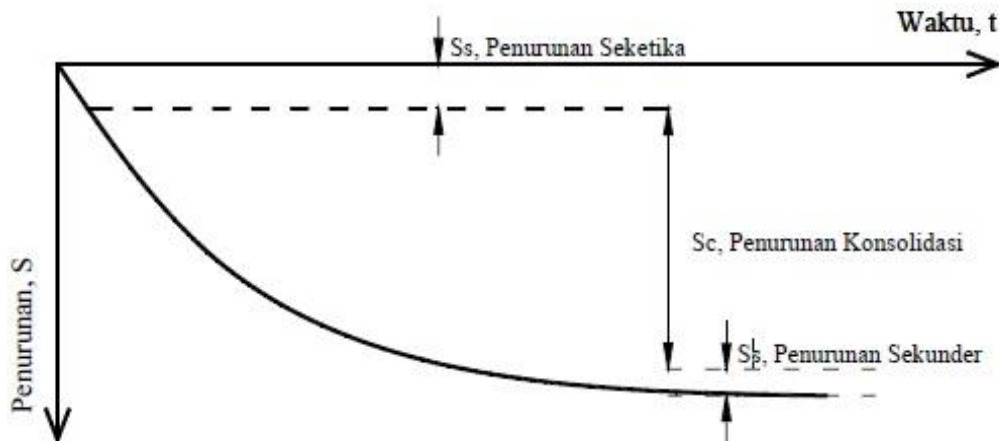
$$S_s = \frac{c_\alpha H}{1+e_p} \log \frac{t}{t_p} \dots\dots\dots (2-8)$$

$$\frac{c_\alpha}{c_c} = 0,05 \pm 0,01 \quad \text{untuk tanah lempung dan lanau}$$

$$\frac{c_\alpha}{c_c} = 0,06 \pm 0,01 \quad \text{untuk tanah gambut}$$

Dengan:

- c_α = koefisien konsolidasi sekunder
- t_p = lama konsolidasi primer
- t = umur dari masa layan timbunan
- e_p = angka pori pada saat konsolidasi primer



Gambar 2.5 Tahapan penurunan tanah (*Ground Settlement*)

Sumber: Gouw, 2010

Total penurunan yang terjadi pada (**Gambar 2.5**) dapat dihitung dari penjumlahan ketiga jenis penurunan. Besarnya penurunan tanah total menurut Das (1985) ditunjukkan pada Persamaan (2-9).

$$S_t = S_i + S_c + S_s \dots\dots\dots (2-9)$$

Dengan :

- S_t = total penurunan yang terjadi
- S_i = Penurunan segera (*immediate Settlement*)

S_c = Penurunan akibat konsolidasi primer (merupakan hasil dari perubahan volume tanah jenuh air sebagai akibat keluarnya air yang menempati pori-pori tanah)

S_s = Penurunan akibat konsolidasi sekunder (merupakan akibat dari perubahan plastis tanah)

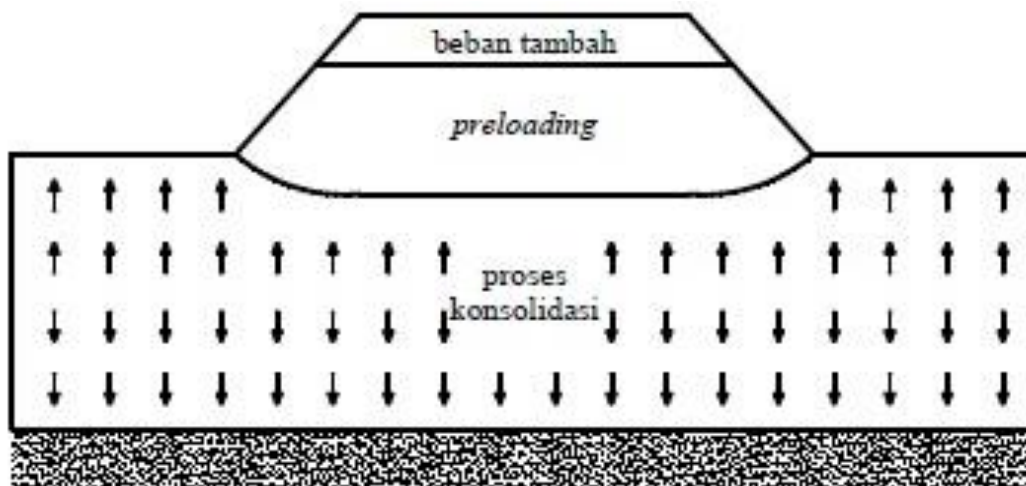
2.3 Perbaikan Tanah Lunak

Pada umumnya, konsolidasi primer terjadi dengan memakan waktu yang sangat lama, bahkan bisa memakan waktu bertahun-tahun untuk jenis tanah lempung yang memiliki kemampatan tinggi. Oleh karena itu, diperlukan solusi untuk mempercepat keluarnya air pori dari dalam tanah.

2.3.1 *Preloading*

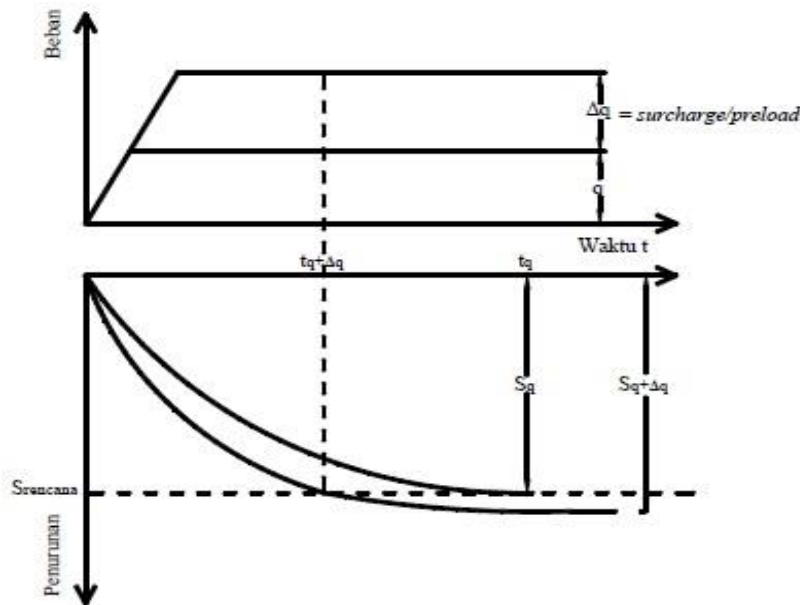
Salah satu solusi untuk mempercepat keluarnya air pori dari dalam tanah adalah dengan menggunakan timbunan sebagai pengganti beban yang akan di terima oleh tanah. Metode yang digunakan pada umumnya adalah metode pembebanan awal (*Preloading*). Metode pembebanan awal (*Preloading*) adalah suatu metode perbaikan tanah berupa penempatan timbunan pada lokasi perbaikan tanah dengan berat sekurang-kurangnya sama dengan berat struktur yang akan datang (beban permanen) dan akan dibuang pada saat konsolidasi yang diinginkan telah tercapai (Pedoman Konstruksi dan Bangunan, 2004) seperti ilustrasi pada (**Gambar 2.6**).

Pada tanah lunak jenuh air, beban timbunan awalnya akan dipikul oleh air pori, seiring berjalannya waktu maka tegangan air pori berlebih akan terdisipasi keluar (mengalami konsolidasi). Perbandingan waktu dan penurunan dengan *Preloading* dan *surcharge* dapat dilihat pada (**Gambar 2.7**).



Gambar 2.6 Proses *Preloading* menggunakan tanah timbunan

Sumber: Yunias, Lishia, 2010



Gambar 2.7 Perbandingan waktu dan penurunan dengan *Preloading* dan *surcharge*

Sumber: Yunias, Lishia, 2010

Pada penggunaan *Preloading* menggunakan timbunan, agar penurunan konsolidasi dapat sesuai dengan yang akan dicapai maka beban timbunan direncanakan dengan ketinggian tertentu.

Stamatopoulos (1985) dalam Yunias (2010) mengatakan tinggi timbunan pada umumnya berkisar antara 3-8 meter dengan penurunan yang terjadi umumnya berkisar 0,3 - 2,0 meter. Lalu menurut Stapelfeldt (2006), beban timbunan sementara dapat diangkat ketika penurunan diperkirakan melebihi penurunan akhir yang dapat dicapai tanpa menggunakan *Preloading*, namun ini sebaiknya tidak dilakukan sebelum tegangan pori berlebih berada di bawah peningkatan tegangan yang disebabkan oleh beban sementara.

Pada penggunaan timbunan yang perlu diperhatikan yaitu daya dukung dasar agar tidak terjadi kelongsoran pada pemberian timbunan. Untuk mencegah kelongsoran pada umumnya digunakan pemberian timbunan secara bertahap.

Perbaikan tanah menggunakan teknik *Preloading* dapat ditentukan dari rumus derajat konsolidasi (U), dimana rumus derajat konsolidasi untuk *Preloading* ditunjukkan pada Persamaan (2-10)

$$U = \frac{S_{c(p)}}{S_{c(p+f)}} \dots\dots\dots (2-10)$$

$S_{c(p)}$ dan $S_{c(p+f)}$ dapat dicari dengan menggunakan Persamaan (2-11) dan (2-12)

$$S_{c(p)} = \frac{C_c H}{1+e_0} \log \frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma'_{(p)}}{\sigma'_0} \dots\dots\dots (2-11)$$

$$S_{c(p+f)} = \frac{C_c H}{1+e_0} \log \frac{\sigma'_0 + (\Delta\sigma'_{(p)} + \Delta\sigma'_{(f)})}{\sigma'_0} \dots\dots\dots (2-12)$$

Sehingga didapat rumus akhir untuk derajat konsolidasi dengan *Preloading* ditunjukkan pada Persamaan (2-13)

$$U = \frac{\log\left[1 + \frac{\Delta\sigma'(p)}{\sigma'_0}\right]}{\log\left\{1 + \frac{\Delta\sigma'(p)}{\sigma'_0}\left[1 + \frac{\Delta\sigma'(f)}{\Delta\sigma'(p)}\right]\right\}} \dots\dots\dots (2-13)$$

Permasalahan yang terjadi selama perencanaan *Preloading* yaitu

- Apabila nilai dari $\Delta\sigma'(f)$ diketahui $\frac{\Delta\sigma'(f)}{\Delta\sigma'(p)}$ namun nilai t_2 (waktu setelah penambahan beban *Preloading*) perlu dicari. Untuk itu perlu dicari terlebih dahulu nilai σ'_0 , $\Delta\sigma'(p)$, derajat konsolidasi dan nilai T_v , sehingga nilai t_2 dianggap sebagai lamanya waktu konsolidasi dilapangan yang dirumuskan sebagai berikut

$$t = \frac{T_v H_{dr}^2}{C_v} \dots\dots\dots (2-14)$$

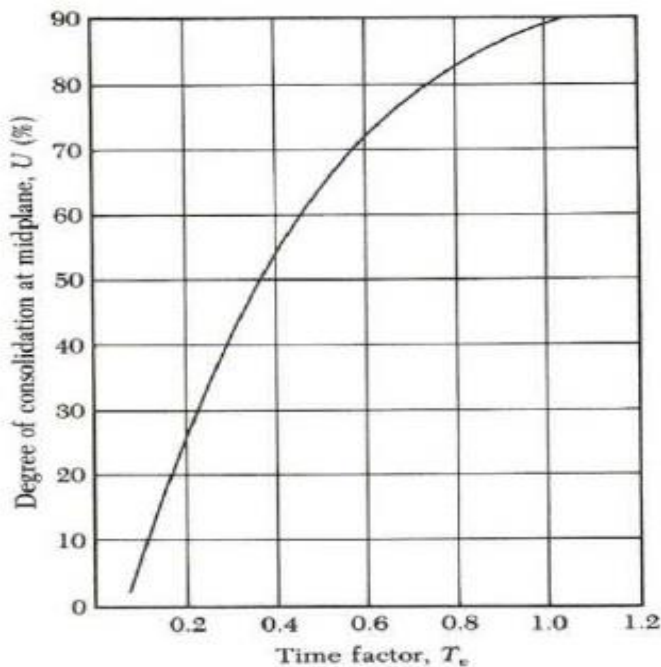
Dimana:

H_{dr} = panjang aliran rata-rata yang harus ditempuh air pori selama konsolidasi

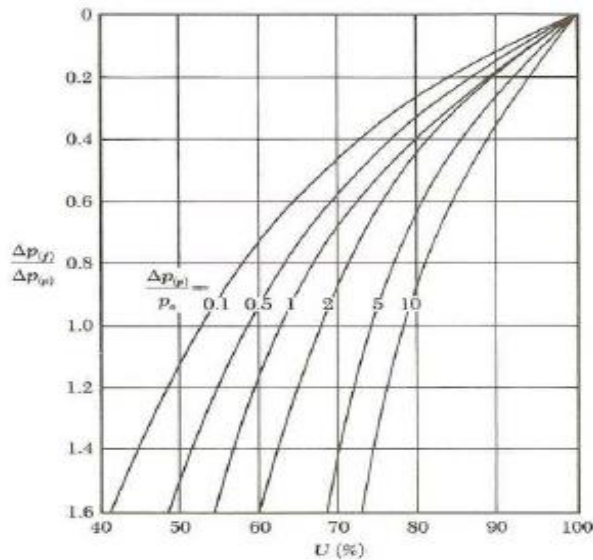
T_v = faktor waktu

t = waktu

C_v = koefisien konsolidasi vertikal



Gambar 2.8 Grafik nilai T_v dengan U
 Sumber: Tuffour, Y. A, 2014



Gambar 2.9 Grafik perbandingan $\Delta\sigma'_{(f)}$ dan $\Delta\sigma'_{(p)}$ dengan U

Sumber: Tuffour, Y. A, 2014

- Jika pada perencanaan diketahui nilai spesifik dari t_2 dan nilai $\Delta\sigma'_{(f)}$ perlu dicari. Dalam kasus ini, nilai T_v perlu dicari terlebih dahulu. Nilai T_v diplot ke grafik yang ada pada (**Gambar 2.8**) untuk mendapatkan nilai derajat konsolidasi (U). Setelah nilai derajat konsolidasi didapat nilai U diplot ke grafik pada (**Gambar 2.9**) untuk mendapatkan nilai $\frac{\Delta\sigma'_{(f)}}{\Delta\sigma'_{(p)}}$

Namun pada perencanaan sering dijumpai bahwa *Preloading* masih memerlukan waktu yang cukup lama (umumnya lebih dari satu tahun). Sehingga untuk mempercepat proses *Preloading*, *Preloading* pada umumnya dikombinasikan dengan *Vertical Drains*. Cara ini diterapkan pada tanah dimana pemampatan terjadi sebagian besar akibat konsolidasi primer (*primary consolidation*).

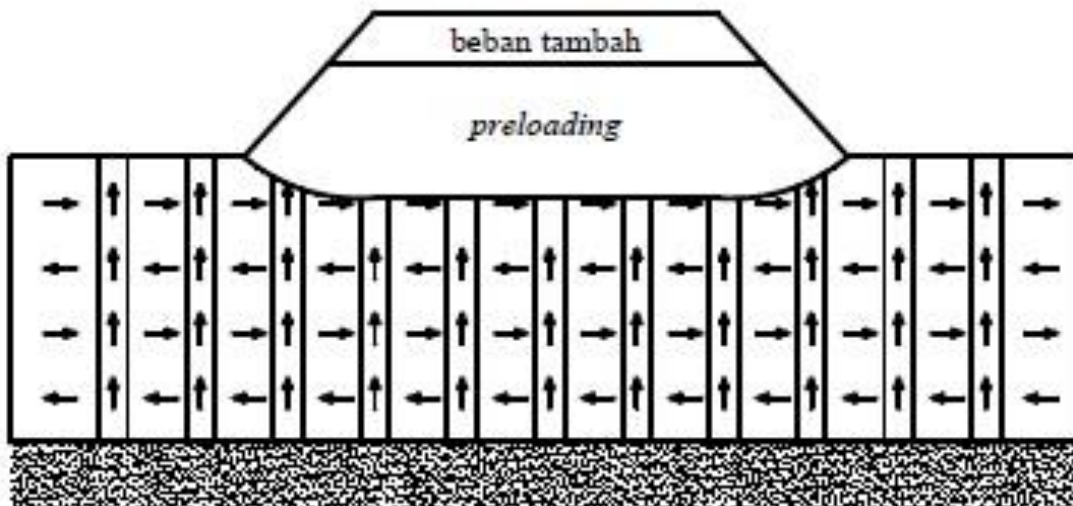
2.3.2 Vertical Drain

Pada perbaikan tanah dengan metode *Preloading*, waktu penurunan yang dibutuhkan masih terlalu lama. Hal ini terjadi pada lapisan tanah dengan permeabilitas yang rendah. Untuk mengatasinya perlu digunakan saluran vertikal yang mempunyai permeabilitas tinggi sehingga memberikan fasilitas kepada air pori untuk mengalir melalui lintasan-lintasan yang berarah radial pada saluran vertikal. Pada (**Gambar 2.10**) menunjukkan jalur drainase vertikal sehingga air pori yang keluar selama proses konsolidasi dapat keluar lebih cepat ke arah horizontal untuk kemudian disalurkan melalui arah vertikal.

Vertical drains pada awalnya berupa kolom-kolom pasir yang dapat mengalirkan air yang dikenal dengan nama *sand drains*. Seiring dengan berkembangnya teknologi,

ditemukanlah *Prefabricated Vertical Drains* (PVD) yang merupakan salah satu produk geosintetik yang dikenal dengan sebutan “*wick drain*”.

Prefabricated Vertical Drain (PVD) adalah produk berbentuk pita (potongan melintang segiempat) yang terdiri atas material penyaring geotekstil yang membungkus inti plastik seperti yang terlihat pada (**Gambar 2.11**). Ukuran *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) adalah 10 cm lebar dengan ketebalan antara 3-4 cm (Bo et al., 2003a dalam Hotlan, 2003). Material dibentuk dari inti plastik yang berguna untuk mengalirkan air yang terjebak pada saringan geotekstil (Schaefer,1997). Fungsi utama saringan drainase vertikal adalah untuk memastikan partikel halus tidak lolos dan menyumbat saluran drainase dalam inti (Hansbo, 1981).



Gambar 2.10 Proses *Preloading* dengan menggunakan *vertical drains*
Sumber: Yunias, Lishia, 2010



Gambar 2.11 Material *Prefabricated Vertical Drain* (PVD)
Sumber: www.hbwickdrains.com

Penggunaan PVD lebih sering digunakan karena memiliki banyak keuntungan dibandingkan dengan penggunaan *sand drains*, diantaranya:

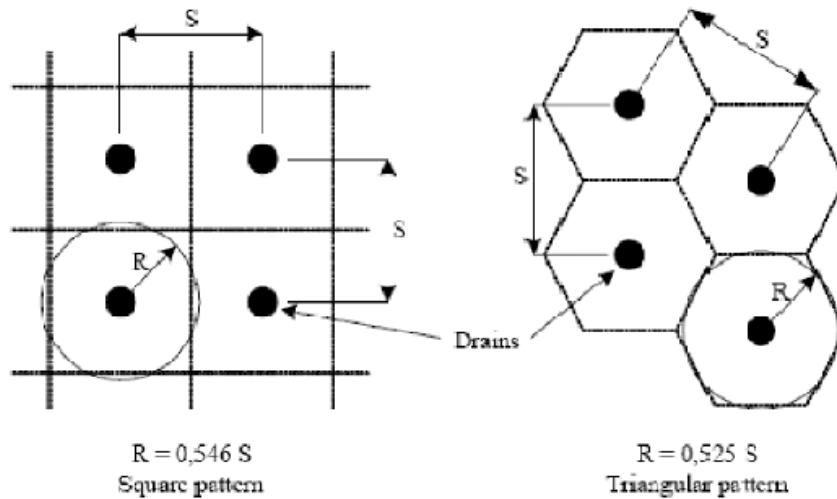
- Gangguan pada tanah yang diakibatkan pada saat pemasangan lebih kecil
- Waktu yang dibutuhkan saat kontrol kualitas lebih cepat
- Kualitas PVD cenderung seragam karena dibuat di pabrik
- Pemasangan lebih cepat dan ekonomis
- Tahan terhadap deformasi besar tanpa terlalu banyak kehilangan fungsi drainase
- Kontaminasi butiran halus tanah asli yang menyebabkan terhambatnya aliran air jauh lebih kecil

Vertical drains hanya mempercepat laju konsolidasi primer karena banyaknya air yang terdrainase pada konsolidasi primer tersebut. Sedangkan konsolidasi sekunder hanya disebabkan oleh terdekomposisinya butiran tanah, sehingga penurunan sekunder tidak dipercepat dengan adanya *vertical drain*.

Teori konsolidasi untuk *vertical drain* telah dikembangkan oleh Barron (1984) untuk menganalisis kinerja aliran pasir. Barron menggunakan asumsi-asumsi dasar sebagai berikut:

- Lempung bersifat jenuh dan homogen
- Semua regangan kompresif dalam masa tanah terjadi dalam arah vertikal
- Tidak ada aliran air pori
- Berlaku hukum Darcy untuk permeabilitas, koefisien permeabilitas k tidak tergantung pada lokasi
- Zona pengaruh dari tiap-tiap drain berbentuk silinder
- Air pori dan butiran mineral bersifat inkompresif bila dibandingkan dengan kerangka lempung
- Tambahan (*increment*) beban pada awalnya dipengaruhi air pori berlebih
- Tidak ada tekanan air pori berlebih dalam drain

Drainase vertikal biasanya dipasang dengan pola segitiga atau pola persegi empat seperti pada (**Gambar 2.12**).



Gambar 2.12 Pola drainase vertikal
Sumber: civil.aalto.fi, 2006

2.3.3 Prefabricated Horizontal Drain (PHD)



Gambar 2.13 Material Prefabricated Horizontal Drain (PHD)
sumber: www.verticalwickdrain.com

Prefabricated Horizontal Drain merupakan sistem drainase bawah tanah yang digunakan untuk mengalirkan air secara horizontal yang berasal dari *vertical drain* pada penggunaan perbaikan tanah lunak metode *Preloading* maupun metode *vacuum consolidation*. *Horizontal drain* pada umumnya menggunakan 2 jenis material geosintetik yang terdiri dari *Core* (inti berbahan HDPE) dan filter (penyaring berbahan geotekstil/PET) seperti yang terlihat pada (**Gambar 2.13**).

Beberapa keunggulan dari horizontal drain buatan pabrik (*Prefabricated Horizontal Drain*) adalah sebagai berikut:

- Biaya lebih murah dari pada pipa drainase dan saluran drainase konvensional
- Pemasangan PHD sangat mudah dan cepat
- Jaminan kualitas sangat baik dan seragam karena diproduksi di pabrik serta mampu bertahan dari berbagai bahan kimia

2.4 Instrument Geoteknik

Instrument geoteknik adalah perangkat geoteknik yang mempelajari perilaku tanah. Pemasangan instrument geoteknik pada perbaikan tanah berfungsi untuk memantau proses pelaksanaan selama pekerjaan berlangsung dan mengetahui kinerja hasil pekerjaan perbaikan tanah yang telah dilakukan. Monitoring pembacaan alat-alat instrument geoteknik dilakukan setiap hari dengan waktu yang sama baik pagi, siang ataupun malam hari. Data yang diambil harus akurat karena digunakan sebagai data untuk mengevaluasi perbandingan perencanaan dengan keadaan aktual.

2.4.1 *Settlement Plate*

Settlement Plate adalah salah satu instrument geoteknik yang berfungsi untuk memonitoring proses penurunan tanah. Instrument ini terdiri atas beberapa bagian seperti pada (**Gambar 2.14**) yaitu plat besi yang berukuran 50 x 50 x 1 cm, pipa besi dengan ukuran diameter 3,81 cm dan pipa paralon berdiameter 7,62 cm dengan pemasangan *Settlement Plate* berada ditengah timbunan atau area dimana akan terjadi penurunan maksimum.

Settlement Plate memonitoring nilai atau besaran dari penurunan tanah yang timbul akibat *Preloading*, sehingga proses penurunan tanah dapat dikatakan aman dari *sliding* atau longsor akibat *Preloading* maupun timbunan itu sendiri. *Settlement Plate* dapat dinyatakan tidak aman apabila grafik penurunan dari bacaan *Settlement* harian terjadi fluktuasi yang sangat ekstrem.

Berikut adalah langkah-langkah pemasangan dan cara kerja *Settlement Plate* dalam penerapannya di lapangan:

- *Settlement Plate* dipasang pada lapisan tanah dasar dan dibaca posisi *initial reading*-nya (datum evaluasi)
- Selanjutnya dilakukan penimbunan *Preloading* sampai timbunan setinggi H rencana yang kemudia dipadatkan sehingga timbunan akan mengalami penurunan dan otomatis *Settlement Plate* akan ikut turun hingga standar kepadatan dalam spesifikasi teknis. Setelah itu dilakukan tes kepadatan dengan CBR system.
- Pembacaan *Settlement Plate* dilakukan setiap hari yang kemudian hasil pengamatan dianalisa berdasarkan grafik dari *Settlement Plate* tersebut. Secara teori untuk pengamatan *Settlement Plate* idealnya harus dilakukan setiap hari pada pagi dan sore dengan pertimbangan efek kesalahan karena faktor alam maupun instrument survei.

Sebelum diadakan monitoring, alat (*waterpass*) dikalibrasi dengan menggunakan Ko Limator TC-3 sesuai dengan standar JIS B 7901.

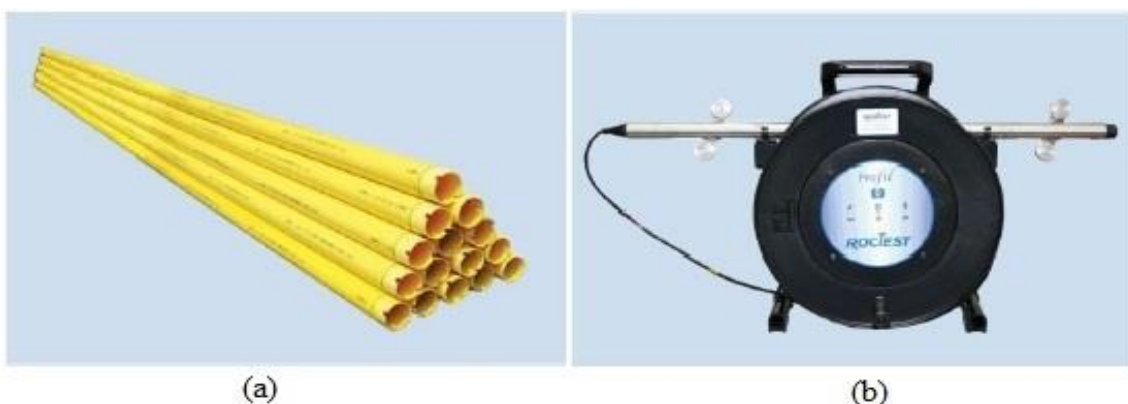


Gambar 2.14 (a) material *Settlement Plate* (b) *waterpass*
sumber: PT. Teknindo Geosistem Unggul

2.4.2 *Inclinometer*

Inclinometer pada (Gambar 2.15) merupakan satu unit instrument geoteknik yang digunakan untuk memantau pergerakan lateral tanah yang terjadi dibawah permukaan. Alat ini berfungsi untuk mengetahui kemungkinan terjadinya *slidding* atau keruntuhan pada timbunan. Instrumet ini terdiri atas pipa *Inclinometer*, *readout* unit, torpedo set, *operating cable* serta *cable reel*. *Inclinometer* bekerja dengan menanamkan *casing Inclinometer* yang berbahan seperti PVC pada area tepi timbunan dengan kedalaman tertentu yang diasumsikan akan terjadi pergerakan pada tanah.

Sebelum dilakukannya monitoring oleh *Inclinometer*, alat dikalibrasi dengan menggunakan NIST *Traceable Equipment*.



Gambar 2.15 (a) Pipa *Inclinometer* (b) alat monitoring *Inclinometer*
sumber: PT. Teknindo Geosistem Unggul

2.4.3 *Pneumatic Piezometer*

Dalam mengantisipasi tidak validnya data dari pembacaan *Settlement Plate*, maka digunakanlah *Piezometer* seperti pada (Gambar 2.16) untuk mengontrol data tersebut.

Piezometer terbagi atas beberapa bagian yaitu lubang bor atau casing dengan diameter minimum 10 cm, tip *Piezometer*, *filter sand*, bentonite tablet dan *grouting*.

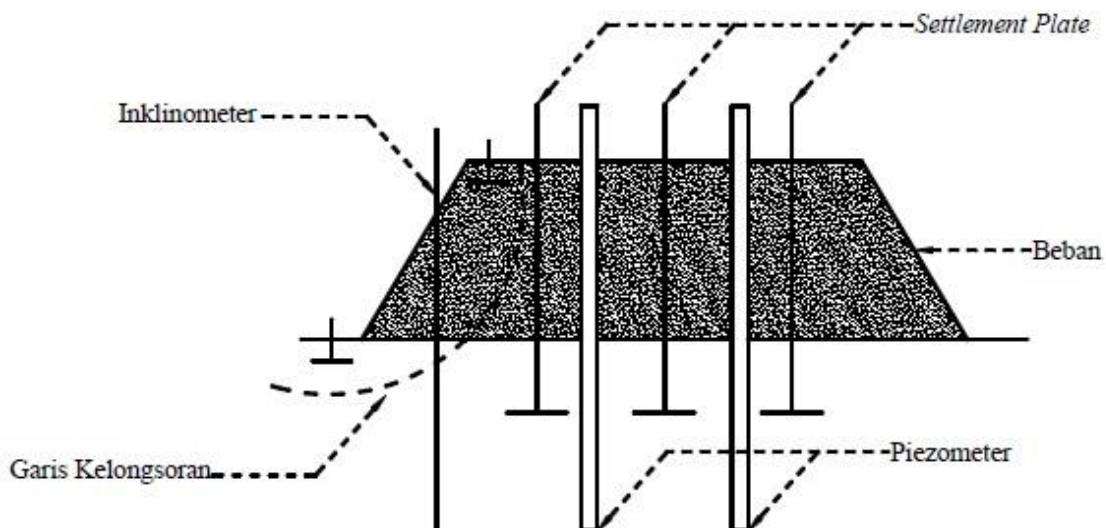


Gambar 2.16 (a) material *Pneumatic Piezometer* (b) alat monitoring *Pneumatic Piezometer*
sumber: PT. Teknindo Geosistem Unggul

Pemasangan *Pneumatic Piezometer* berfungsi untuk mengetahui perubahan air pori pada tanah dasar. Instrument ini sangat dibutuhkan jika perbaikan tanah menggunakan metode *vertical drain*. Pada *vertical drain* tekanan air tanah akan berkurang dan untuk mengetahui serta memonitoring tingkat tekanan air pori *Piezometer* ini sangat berperan penting.

Kalibrasi alat *Piezometer* dilakukan oleh pabrik pembuat alat sesuai dengan standar ISO 9001 dengan standar kalibrasi *Agilent 33210A* dan *Shallcross Decade*.

2.4.4 Derajat Konsolidasi yang Terjadi di Lapangan



Gambar 2.17 Posisi instrument monitoring di lapangan
sumber: Yunias, Lishia, 2010

Derajat konsolidasi adalah perbandingan antara penurunan dalam waktu (t) dengan penurunan setelah selesai konsolidasi. Besarnya derajat konsolidasi aktual yang terjadi dapat ditinjau dari hasil pengamatan instrument-instrument yang ada di lapangan dengan

posisi instrument seperti yang ditunjukkan (**Gambar 2.17**). Peninjauan derajat konsolidasi didapat dari data bacaan alat instrument *Settlement Plate* dan *Pneumatic Piezometer*.

2.4.4.1 Dari Bacaan *Settlement Plate*

Untuk mendapatkan nilai derajat konsolidasi dari bacaan *Settlement Plate* (U_{v-sp}) maka dilakukan perhitungan dengan membandingkan besar penurunan aktual pada waktu t terhadap penurunan total. Salah satu cara yang digunakan untuk memprediksi penurunan akhir (S_c) adalah dengan menggunakan metode Asaoka seperti pada (**Gambar 2.18**).

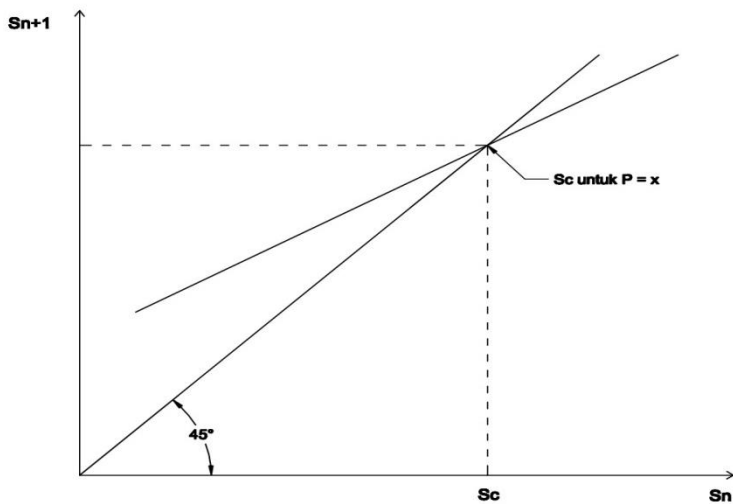
Setelah mendapat nilai penurunan akhir maka hasil tersebut di-plot dalam grafik penurunan-waktu seperti pada (**Gambar 2.19**), sehingga nilai derajat konsolidasi dari bacaan *Settlement Plate* (U_{v-sp}) dapat dihitung menggunakan Persamaan (2-15)

$$U_{v-sp} = \frac{S_t}{S_c} \dots\dots\dots (2-15)$$

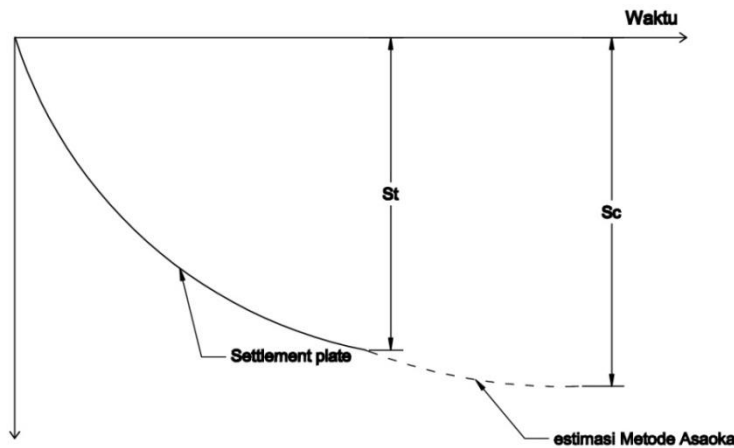
Dengan:

S_t = penurunan konsolidasi dari bacaan *Settlement Plate* pada waktu t

S_c = penurunan konsolidasi pada waktu tak terhingga



Gambar 2.18 Mencari penurunan akhir dengan penggunaan metode Asaoka pada beban $P=x$
 sumber: Yunias, Lishia, 2010



Gambar 2.19 Grafik penurunan - waktu sampai pada penurunan akhir
sumber: Yunias, Lishia, 2010

2.4.4.2 Dari Bacaan Piezometer

Dari tegangan air pori yang didapat dari alat *Piezometer* maka dapat ditentukan nilai derajat konsolidasi dengan cara membandingkan kelebihan tegangan air pori yang keluar pada saat $t = t_1$ (ΔU_e) dengan kelebihan tegangan air pori saat beban pertama kali bekerja, $t = 0$ (U_e). Sehingga derajat konsolidasi dapat dihitung dengan Persamaan (2-16) sebagai berikut

$$U_v = \frac{1 - \Delta U_e}{U_e} \dots\dots\dots (2-16)$$

Dimana :

- U_e = tegangan air pori awal ($t = 0$)
- ΔU_e = tegangan air pori bacaan *Piezometer*

2.4.5 Kestabilan Timbunan di Lapangan

Kestabilan timbunan yang terjadi di lapangan ditinjau menggunakan *Inclinometer* dengan 2 persyaratan kestabilan yaitu persyaratan pertama $Y_z < Y_{z \text{ max}}$ dengan Y_z merupakan nilai pergeseran tanah yang dihitung dengan Persamaan (2-17) dan $Y_{z \text{ max}}$ adalah nilai pergeseran tanah maksimum yang diizinkan. $Y_{z \text{ max}}$ dapat dihitung dengan menggunakan prediksi TAVENAS (1979) pada Persamaan (2-18). Persyaratan kedua adalah $\Delta_n < \dots < \Delta_3 < \Delta_2 < \Delta_1$. Dimana Δ_n merupakan selisih bacaan data *Inclinometer* yang digunakan.

$$Y_z = \frac{Y_{z \text{ max}}}{FS} \dots\dots\dots (2-17)$$

$$Y_{z \text{ max}} = 0,16 \times S_c \dots\dots\dots (2-18)$$

Dimana:

- Y_z = Pergeseran tanah yang terjadi saat ini
- $Y_{z \text{ max}}$ = Pergeseran tanah maksimum yang diizinkan
- S_c = Penurunan tanah secara teoritis

FS = Faktor keamanan (FS = 1,3)

2.5 Perencanaan Prefabricated Vertical Drain (PVD)

Untuk mempercepat konsolidasi perlu adanya konstruksi *vertical drain* yang ditanamkan kedalam lapisan tanah secara vertikal. Pemasangan *vertical drain* yang akan di pasang di lapangan direncanakan dengan pola, jarak dan kedalaman tertentu tergantung pada kondisi tanah dasar lamanya waktu konsolidasi.

2.5.1 Parameter Tanah

Parameter tanah merupakan acuan untuk menilai ataupun mengetahui hasil suatu proses perubahan yang terjadi dalam tanah baik dari sifat fisik dan jenis tanah. Pada penggunaan *vertical drains*, parameter tanah digunakan untuk menentukan waktu dan derajat konsolidasi yang akan terjadi dengan penggunaan metode perbaikan tanah *Preloading* kombinasi *Prefabricated Vertical Drain*.

2.5.1.1 Koefisien Konsolidasi Vertikal (C_v)

Koefisien konsolidasi vertikal merupakan koefisien yang menyatakan kecepatan proses konsolidasi pada tanah dengan arah vertikal. Nilai koefisien konsolidasi vertikal dapat diperoleh melalui uji konsolidasi dengan menggunakan Persamaan (2-19)

$$C_v = \frac{k}{\gamma_w \cdot m_v} \dots\dots\dots (2-19)$$

Dimana:

C_v = koefisien konsolidasi vertikal

K = koefisien permeabilitas tanah

γ_w = berat jenis air

Untuk tanah berlapis dengan ketebalan yang berbeda, koefisien konsolidasi vertikal dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2-20)

$$C_v \text{ gabungan} = \frac{(H_1 + H_2 + \dots + H_n)^2}{\left(\frac{H_1}{\sqrt{C_{v1}}} + \frac{H_2}{\sqrt{C_{v2}}} + \dots + \frac{H_n}{\sqrt{C_{vn}}}\right)^2} \dots\dots\dots (2-20)$$

2.5.1.2 Koefisien Konsolidasi Horizontal (C_h)

Koefisien konsolidasi horizontal dapat ditentukan dari nilai koefisien vertikal (C_v) dengan Persamaan (2-21)

$$C_h = \frac{K_h}{K_s} C_v \dots\dots\dots (2-21)$$

Dimana perbandingan antara koefisien permeabilitas horizontal dan vertikal berkisar antara 1 sampai 3 kali koefisien konsolidasi vertikal.

2.5.1.3 Indeks Pemampatan (C_c)

Indeks pemampatan yang digunakan untuk menghitung besarnya penurunan aktual sebagai akibat dari konsolidasi dapat ditentukan dari kurva yang menunjukkan hubungan antara angka pori dan tekanan yang didapat dari uji konsolidasi di laboratorium (Das, Braja. M, 1985).

Berdasarkan hasil penelitian Holtz dan Kovacs (1981) nilai indeks pemampatan berbagai jenis tanah lempung dengan klasifikasi menurut Unified Soil Classification (USC) dapat dilihat pada **Tabel 2.1**

Tabel 2.1

Nilai Indeks Pemampatan (C_c) Berbagai Jenis Tanah Lempung

Jenis Tanah	Indeks Pemampatan (C_c)
Normally consolidated medium sensitive clays	0,2 – 0,5
Chicago silty clay (CL)	0,1 – 0,3
Boston blue clay (CL)	0,3 – 0,5
Swedish medium, sensitive clays (CL – CH)	1 – 3
Canadian Leds clay (CL – CH)	1 – 4
Mexico City clay (MH)	7 – 10
Oragnic clays (OH)	>4
Peats (Pt)	10 – 15
Organics silt and clayey silts (ML – MH)	1,5 – 4
San Francisco Bay Mud (CL)	0,4 – 1,2
San Francisco Old Bay Clays (CH)	0,7 – 0,9
Bangkok clay (CH)	0,4

Sumber: Hasil Penelitian Holtz dan Kovacs (1981)

Untuk tanah lempung *undisturbed* dan *remolded*, Terzaghi dan Peck (1967) menyarankan untuk menggunakan rumus empiris yang ditunjukkan pada Persamaan (2-22) dan (2-23)

$$C_c = 0,009(LL - 10) \dots\dots\dots (2-22)$$

$$C_c = 0,007(LL - 10) \dots\dots\dots (2-23)$$

Dimana LL merupakan batas cair dalam nilai persen.

Untuk mendapatkan nilai korelasi C_c , BIAREZ dan FAVRE merumuskan sebagai berikut

$$C_c = 0,009 (LL - 13) \dots\dots\dots (2-24)$$

Dengan nilai LL dalam persen

2.5.1.4 Indeks Pemuaian (C_s)

Indeks pemuaian bernilai lebih kecil dari indeks pemampatan yang nilainya ditentukan di laboratorium dengan ketentuan

$C_s \approx 1/5$ sampai $1/10 C_c$

2.5.1.5 Koefisien Kompresibilitas Volume (m_v)

Koefisien kompresibilitas volume adalah setiap peningkatan tekanan yang menghasilkan regangan volumetrik dalam elemen tanah lempung dimana nilai m_v didapat dari Persamaan (2-25)

$$S_c = m_v \times \Delta\sigma \times H_0$$

$$m_v = \frac{S_c}{\Delta\sigma \cdot H_0} \dots\dots\dots (2-25)$$

Dimana:

- S_c = besarnya penurunan tanah
- m_v = koefisien kompresibilitas perubahan volume
- $\Delta\sigma$ = penambahan tegangan vertikal
- H = kedalaman tanah kompresibel

2.5.2 Penentuan Waktu Konsolidasi dengan Menggunakan PVD

Penentuan waktu konsolidasi didasarkan teori aliran pasir vertikal menurut Barron (1984), dengan menggunakan asumsi teori Terzaghi tentang konsolidasi linier satu dimensi. Teori tersebut menetapkan hubungan antara waktu, diameter drain, jarak antara drain, koefisien konsolidasi dan rata-rata derajat konsolidasi. Untuk mempercepat konsolidasi dibuat suatu konstruksi *vertical drain*, yang ditanamkan ke dalam lapisan tanah secara vertikal. Pola pemasangan *vertical drain* yang terpasang dilapangan setempat direncanakan dengan jarak tertentu.

Pada perencanaan *vertical drain* pada umumnya dihitung menggunakan persamaan Barron (1948) yang ditunjukkan pada Persamaan (2-26) untuk menentukan waktu konsolidasi

$$t = \left(\frac{D^2}{8C_h} \right) F_n \ln \left(\frac{1}{1-U_h} \right) \dots\dots\dots (2-26)$$

Dimana:

- t = waktu yang diperlukan untuk mencapai U_h
- U_h = derajat konsolidasi rata-rata akibat disipasi tekanan air pori kearah horizontal (radial)
- D = diameter pengaruh satu drain
- C_r = koefisien konsolidasi akibat disipasi air pori kearah radial (horizontal)
- F_n = Faktor jarak *vertical drain*
- d_w = diameter ekivalen *vertical drain*

Dalam persamaan Barron (1948) hanya terdapat faktor jarak *vertical drain*. Selanjutnya rumus disempurnakan oleh Hansbo (1979) dengan mempertimbangkan faktor gangguan dan hambatan alir.

$$t = \frac{D^2}{8C_r} F_n + F_s + F_r \ln \frac{1}{1-U_h} \dots\dots\dots (2-27)$$

F_n = faktor jarak *vertical drain*

F_s = faktor gangguan (*smear*)

F_r = faktor hambatan alir

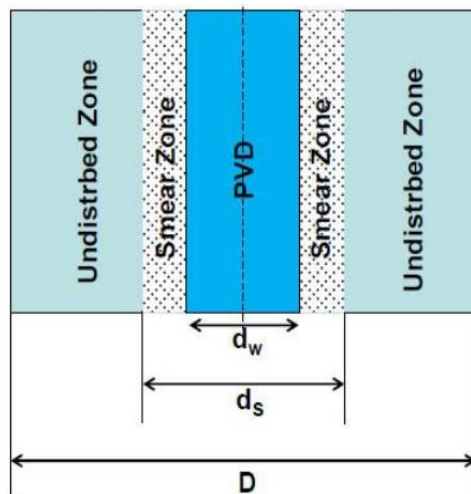
C_r = koefisien konsolidasi akibat disipasi air pori kearah radial (horizontal)

D = diameter pengaruh satu drain

U_h = derajat konsolidasi rata-rata akibat disipasi tekanan air pori kearah horizontal (radial)

Argumentasi efek gangguan didasarkan atas cara memasukkan *vertical drain* (PVD) ke dalam tanah. Dimensi penampang mandrel yang cukup besar mengakibatkan tanah disekitarnya terdesak dan terganggu seperti diilustrasikan pada (**Gambar 2.20**).

Secara teoritis permeabilitas tanah di daerah yang terganggu akan berkurang dan menjadi lebih kecil dari permeabilitas tanah asli (Hansbo, 1979), akibatnya dapat terjadi perlambatan disipasi air pori.



Gambar 2.20 Ilustrasi daerah terganggu
sumber: Konferensi Geotektik Indonesia, 2015

2.5.3 Faktor Hambatan

Faktor hambatan mempengaruhi besarnya nilai konsolidasi pada penggunaan *vertical drains*.

2.5.3.1 Faktor Hambatan Akibat Jarak Antar PVD (F_n)

Perhitungan besar faktor hambatan yang diakibatkan jarak antar PVD didefinisikan oleh Hansbo (1979) sebagai berikut

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

$$F_n = \frac{1}{1-\frac{1}{n^2}} \ln(n) - \frac{3-\frac{1}{n^2}}{4}, \text{ jika nilai } \frac{1}{n^2} \approx 0$$

Sehingga

$$F_n = \ln(n) - \frac{3}{4} \text{ atau } F_n = \ln \frac{D}{d_w} - \frac{3}{4} \dots\dots\dots (2-28)$$

$$n = \frac{D}{d_w}$$

Dimana d_w adalah diameter dari *vertical drain* (equivalen terhadap bentuk lingkaran) yang dapat diperoleh dari persamaan

$$d_w = \frac{2(a+b)}{\pi} \dots\dots\dots (2-29)$$

2.5.3.2 Faktor Hambatan Akibat Efek Smear (F_s)

Pada pemasangan *vertical drain* sering diasumsikan bahwa *vertical drain* tidak mengubah parameter tanah disekitarnya, namun pada kenyataannya saat proses penetrasi, mandrel akan bergesekan dengan tanah sehingga tanah tersebut akan mengalami gangguan. Daerah tanah yang mengalami gangguan akan berkurang permeabilitasnya sehingga pada akhirnya akan menghambat laju konsolidasi, hal ini dikenal dengan istilah efek *smear*.

Efek *smear* akan meningkat seiring dengan semakin besarnya diameter drain serta faktor lainnya seperti metode instalasi, ukuran mandrel, dan ukuran plat jangkar. Perlakuan permeabilitas dan kompresibilitas dalam zona *smear* berbeda dengan perilaku tanah tidak terganggu, sehingga perlu diperhitungkan faktor *smear* dengan Persamaan (2-30)

$$F_s = \left(\frac{K_h}{K_s} - 1 \right) \ln \frac{d_s}{d_w} \dots\dots\dots (2-30)$$

F_s = Faktor efek *smear*

K_h = permeabilitas horizontal zona tak terganggu

K_s = permeabilitas horizontal zona terganggu (*smear zone*)

d_w = diameter *vertical drain*

d_s = diameter zona terganggu (minimal 2,5 kali diameter mandrel)

2.5.3.3 Faktor Hambatan Alir (F_r)

Faktor tahanan alir diperhitungkan sebagai faktor batas kemampuan drain untuk bekerja secara efektif, yaitu kemampuan drain untuk mengalirkan air sebelum tertekuk/terhimpit tanah disekitar drain akibat adanya tegangan aktif lateral tanah. Jika kapasitas drain telah mencapai batasnya saat proses konsolidasi maka secara keseluruhan

proses konsolidasi menjadi terhambat. Nilai faktor tahanan alir dapat dicari dengan menggunakan Persamaan (2-31)

$$F_r = \frac{\pi K_h L^2}{6 q_w} \dots\dots\dots (2-31)$$

K_h = permeabilitas horizontal zona tak terganggu

L = seluruh panjang PVD ketika air hanya dapat mengalir lewat salah satu ujung PVD, dan sama dengan setengah panjang PVD ketika air dapat mengalir keluar melalui kedua ujung PVD

q_w = kapasitas alir sumur ekivalen PVD pada gradien hidrolik sebesar satu.

2.5.4 Penentuan Derajat Konsolidasi dengan Menggunakan PVD

Derajat konsolidasi merupakan salah satu kriteria dalam menilai keefektifan pekerjaan perbaikan tanah dengan menggunakan timbunan dan PVD. Hal ini juga sering digunakan sebagai salah satu spesifikasi desain. Derajat konsolidasi yang digunakan dihitung sebagai perbandingan penurunan yang terjadi saat ini dengan penurunan akhir.

Dengan adanya drainase vertikal pada lapisan tanah, maka tegangan pori berlebih akan terdisipasi dalam 2 arah, yaitu arah vertikal dan arah horizontal. Sehingga nilai derajat konsolidasi total (U) dapat dihitung melalui Persamaan (2-32)

$$U = 1 - (1 - U_h)(1 - U_v) \dots\dots\dots (2-32)$$

Dimana:

U_v = derajat konsolidasi berdasarkan arah vertikal (dalam desimal)

U_h = derajat konsolidasi berdasarkan arah horizontal (dalam desimal)

Derajat konsolidasi arah vertikal dapat ditentukan dengan Persamaan (2-33) untuk nilai U_v antara 0 sampai dengan 60% dan persamaan (2-34) untuk nilai U_v lebih besar dari 60%.

$$U_v = \left(2 \sqrt{\frac{T_v}{\pi}} \right) x 100\% \dots\dots\dots (2-33)$$

$$U_v = (100 - 10^a) x 100\% \dots\dots\dots (2-34)$$

Dimana:

$$a = \frac{1,781 - T_v}{0,933}$$

T_v = Faktor waktu arah vertikal

Nilai derajat konsolidasi horizontal dirumuskan oleh Barron (1948) dalam Bergado (1996) dengan Persamaan (2-35)

$$U_h = 1 - \exp\left(\frac{-8T_h}{F(n)}\right) \dots\dots\dots (2-35)$$

$$T_h = \frac{c_h \cdot t}{D^2} \dots\dots\dots (2-36)$$

Dimana:

T_h = Faktor watu arah horizontal

C_h = Koefisien konsolidasi arah horizontal

2.6 Metode Prediksi Penurunan Tanah

Pada awal perencanaan perbaikan tanah, penurunan akhir belum diketahui sehingga perlu adanya estimasi pada penurunan tanah tersebut. Besarnya estimasi penurunan akhir dapat dicari dengan menggunakan metode Asaoka (1978), metode Terzaghi (1943), metode hiperbolik dan metode teori titik balik.

2.6.1 Metode Asaoka

Metode observasi asaoka atau metode Asaoka (1978) adalah salah satu metode yang digunakan untuk memprediksi besarnya penurunan akhir (*final Settlement*). Metode ini merupakan metode observasi untuk konsolidasi satu arah yang paling populer, karena selain dapat memprediksi penurunan akhir juga dapat memungkinkan diperolehnya parameter-parameter konsolidasi yang lebih akurat. Umumnya analisis penurunan tanah memerlukan data lapangan dan data laboratorium. Dengan metode ini besarnya penurunan tanah aktual dapat diprediksi tanpa membutuhkan parameter-parameter seperti data-data laboratorium, namun yang digunakan pada analisis konsolidasi ini yaitu hasil pengamatan lapangan, seperti data tekanan air pori, panjang drainase, regangan maksimum tanah dan koefisien konsolidasi. Metode Asaoka ini merupakan suatu alat bantu untuk memprediksi penurunan tanah dengan menggunakan *curve fitting*. Dengan menggunakan metode Asaoka, kebutuhan akan data-data tanah dan hasil yang diperoleh pun cukup diandalkan.

Pada prosedur observasi Asaoka, hubungan antara penurunan tanah dan waktu diturunkan melalui persamaan diferensial berdasarkan persamaan dasar konsolidasi (Mikasa, 1963), yaitu

$$e = C_v \varepsilon_{zz} \dots\dots\dots (2-37)$$

Dimana:

$e(t,z)$ = regangan vertikal (regangan volum)

$t(\geq 0)$ = waktu

z = kedalaman dari bagian atas lapisan lempung

c_v = koefisien konsolidasi

Walaupun nilai permeabilitas dan koefisien kompresibilitas bervariasi terhadap waktu, persamaan diatas tetap efektif ketika nilai C_v konstan (Mikasa, 1963).

Persamaan dasar konsolidasi ini dipilih oleh Asaoka (1978) untuk diturunkan menjadi persamaan diferensial linier biasa karena lebih sederhana daripada persamaan konsolidasi Terzaghi. Persamaan akhir untuk menentukan nilai penurunan pada interval waktu ke-j dapat dituliskan sebagai Persamaan (2-38)

$$\rho_j = \frac{\beta_0}{1-\beta_1} - \left\{ \frac{\beta_0}{1-\beta_1} - \rho_0 \right\} (\beta_1)^j \dots\dots\dots (2-38)$$

Dimana ρ_j adalah besarnya penurunan tanah pada waktu $t = t_j$ dan koefisien β_0 dan β_s ($s = 1, 2, \dots, n$) adalah parameter yang tidak diketahui.

Pengukuran data penurunan tanah aktual dilakukan dengan menggunakan instrument *Settlement Plate*. Sehingga diperoleh nilai penurunan $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \dots, \rho_n$ dengan interval waktu Δt yang konstan seperti dilihat pada (**Gambar 2.21**). Kemudian nilai ρ_n (sumbu-y) dan nilai ρ_{n-1} (sumbu-x) diplot sehingga akan diperoleh titik-titik yang membentuk garis lurus, seperti ditunjukkan pada (**Gambar 2.22**). β_0 adalah waktu titik plot pertama dari regresi linier ρ_n dan ρ_{n-1} . Penurunan akhir (ρ_f) adalah titik pertemuan antara garis $\rho_n = \rho_{n-1}$ (bersudut 45°) dengan trendline dari garis ρ_n vs ρ_{n-1} sebenarnya. Setelah diperoleh penurunan akhir (ρ_f) maka dapat dicari nilai β_1 yang merupakan kemiringan dari garis-garis ρ_n vs ρ_{n-1} sebenarnya, yang memberikan hubungan seperti pada Persamaan (2-39)

$$\beta_1 = \frac{\rho_f - \beta_0}{\rho_f} \dots\dots\dots (2-39)$$

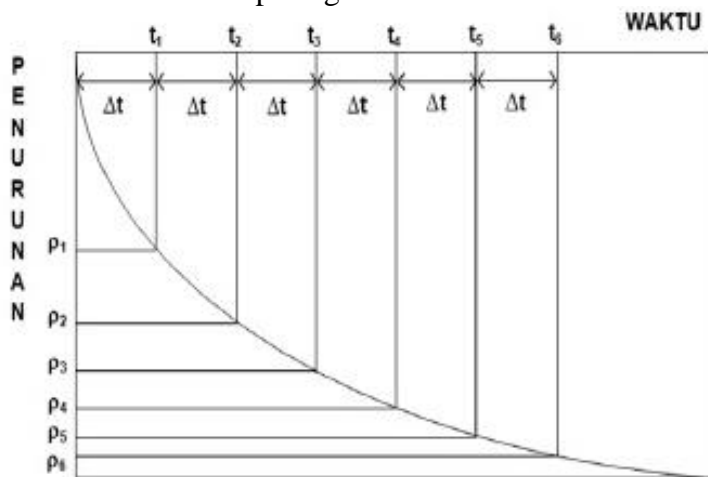
Dari hasil prediksi penurunan akhir, dapat diketahui nilai koefisien horizontal yang sesuai dengan tanah di lapangan. Dalam bukunya Gouw (2008), persamaan untuk menghitung balik nilai koefisien arah horizontal berdasarkan kemiringan grafik asaoka adalah sebagai berikut

$$\frac{\pi^2 C_v}{8H^2} + \frac{8C_h}{D^2 F_n} = - \frac{\ln \beta}{\delta t} \dots\dots\dots (2-40)$$

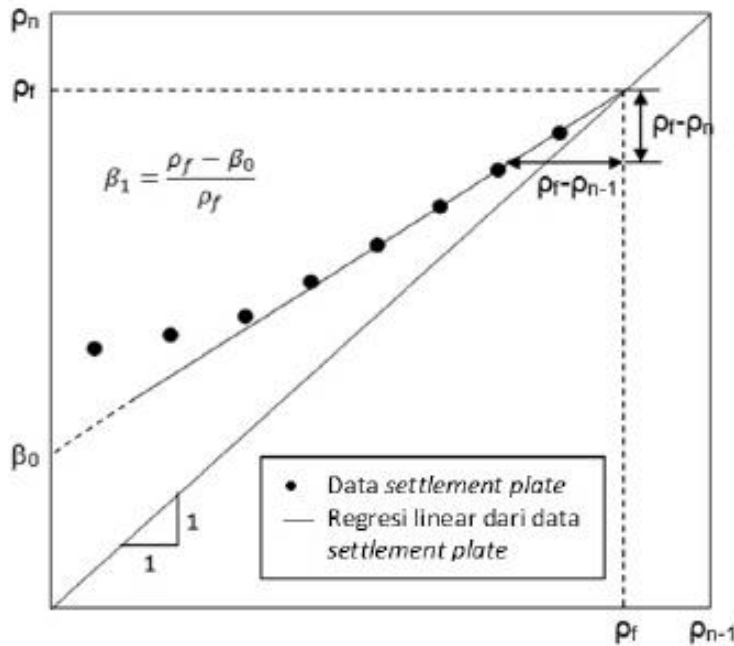
Dimana:

β = kemiringan garis ρ_n vs ρ_{n+1} pada grafik asaoka

δt = interval waktu pada grafik asaoka



Gambar 2.21 Prosedur analisis data monitoring penurunan dengan interval waktu yang konstan
sumber: Asaoka, 1978



Gambar 2.22 Prediksi penurunan akhir dengan metode Asaoka
sumber: Asaoka, 1978

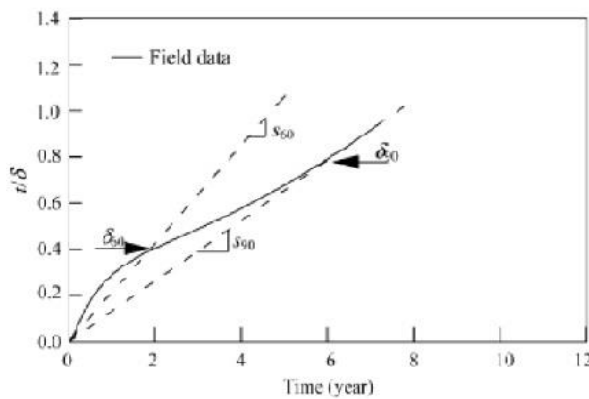
2.6.2 Metode Terzaghi

Teori konsolidasi satu dimensi Terzaghi (1943) telah lama dipergunakan untuk memprediksi penurunan serta waktu konsolidasi. Teori ini sudah umum digunakan dan dianggap dapat menjelaskan penurunan akibat kompresi dan drainase satu dimensi pada tanah secara baik. Namun dalam banyak kasus di lapangan, prediksi penurunan konsolidasi dengan teori Terzaghi memberikan hasil yang jauh lebih besar dari pada penurunan aktualnya. Adanya pengabaian dari beberapa faktor yang seringkali tidak diperhitungkan terkait metode pelaksanaan timbunan seperti perkuatan tanah (*gained strength*) yang terjadi akibat proses penimbunan bertahap (*stage construction*), perubahan tingkat kejenuhan (*wetting effects*), rangkak (*creep strain*), menjadi penyebab ketidakakuratan metode ini.

Metode Terzaghi merupakan metode yang mengasumsikan beban yang bekerja atau deformasi tanah terjadi pada satu arah vertikal saja, hal ini mempengaruhi hasil perhitungan penurunan yang didapat. Pada kondisi sebenarnya, deformasi dapat terjadi ke segala arah, sehingga deformasi yang terjadi akan terdistribusi ke segala arah dan menyebabkan nilai penurunan akan lebih kecil. Adanya perkuatan tanah akibat timbunan bertahap juga dapat mempengaruhi nilai penurunan. Perkuatan tanah akan memberikan nilai penurunan yang lebih kecil.

2.6.3 Metode Hiperbolik

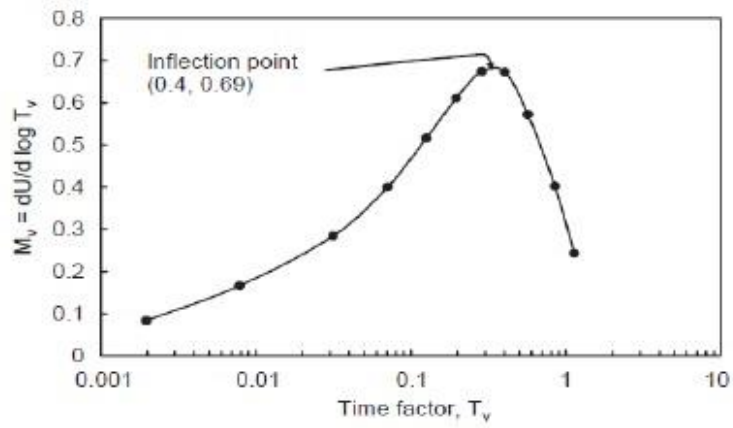
Penyelesaian permasalahan pada kasus penurunan akhir akibat adanya pembebanan oleh timbunan dengan metode ini dapat dilakukan dengan cara grafis, dengan menarik garis linier seperti (**Gambar 2.23**) dan bisa memilih salah satunya antara U_{60} dengan U_{90} . Hubungan antara penurunan dan waktu, dimana nilai b dapat ditentukan pada perpotongan garis miring yang linier garis pengamatan data penurunan tanah lapangan. Tetapi pada studi yang dikaji metode ini tidak dibahas secara detail karena metode ini tidak digunakan pada analisis.



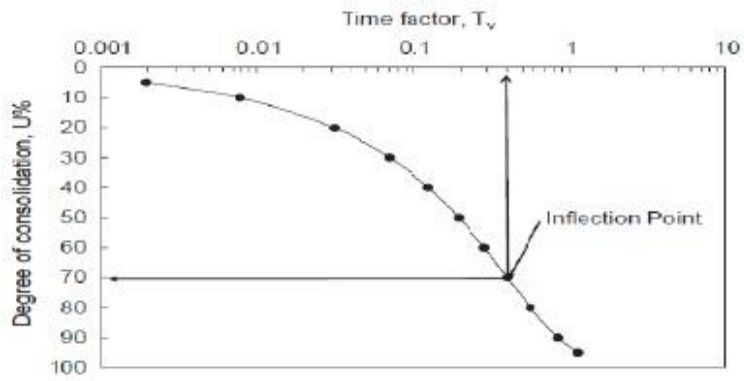
Gambar 2.23 Analisis penurunan tanah dengan metode hiperbolik

2.6.4 Metode Teori Titik Balik

Metode titik balik melakukan penyelesaian dengan kurva semi logaritmik koordinat $U\%$ dibandingkan $\log T_v$, dimana pada kondisi tertentu pada kurva akan memiliki titik belok sesuai dengan $T_v \frac{1}{4} 0,405$ dan $U_i \frac{1}{4} 70\%$. Cour (1971) terletak titik belok tetap baik dengan visualisasi atau absolute dimana nilai dari garis singgung terhadap kurva waktu mencapai maksimal seperti pada (**Gambar 2.24**). Robinson (1997) yang dituliskan oleh Maspanji (2016) memberikan prosedur alternatif untuk lokasi infleksi titik kemiringan kurva, yaitu $M_v \frac{1}{4} dU / d\log T_v$. Namun metode ini hanya berlaku untuk drainase vertikal satu dimensi dan mempertimbangkan lebar aplikasi PVD untuk perbaikan tanah lunak.



(a)



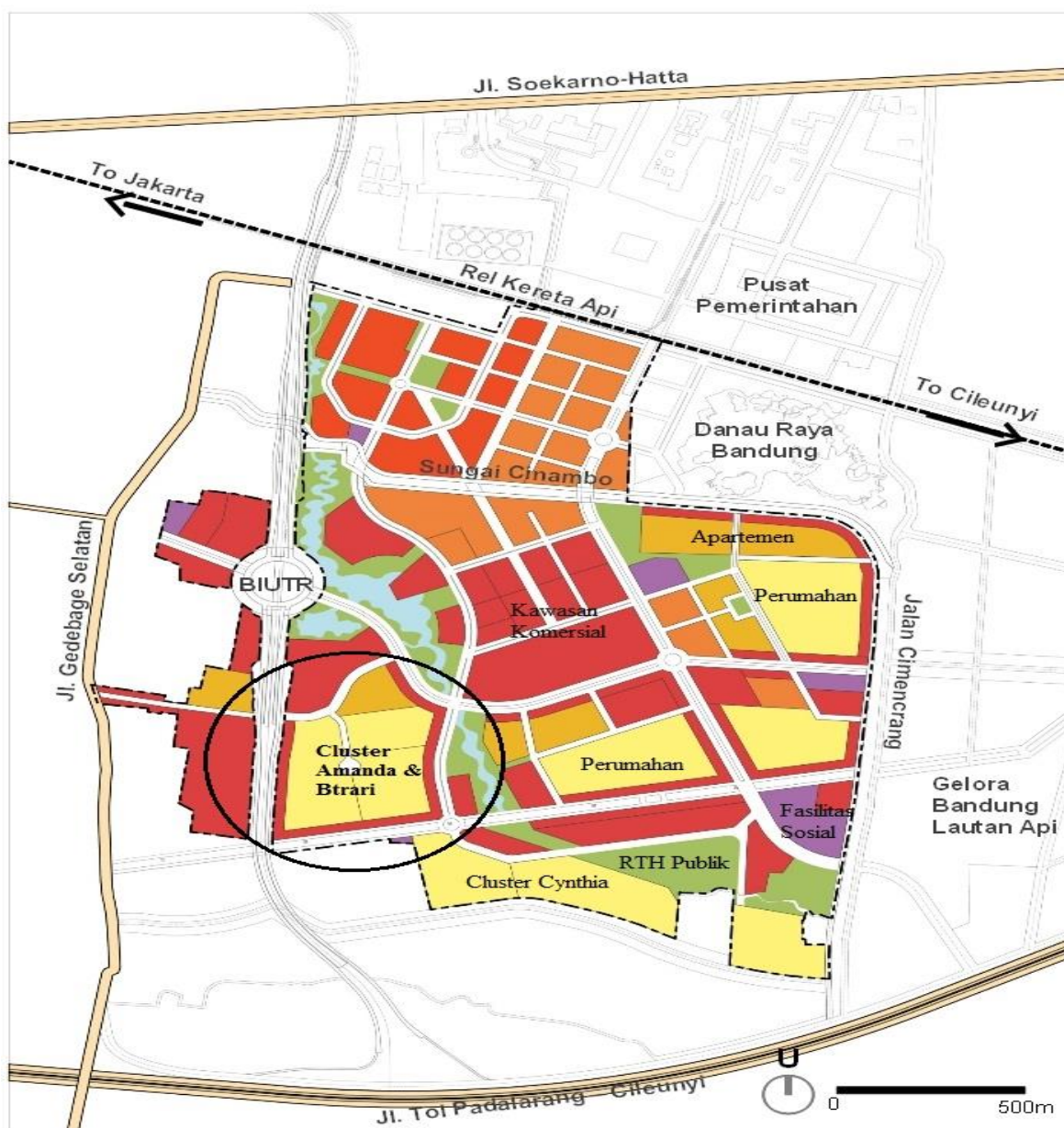
(b)

Gambar 2.24 Analisis penurunan tanah dengan menggunakan metode titik balik (a) sebelum modifikasi Robinson 1997 (b) setelah modifikasi Robinson 1997
Sumber: Robinson, 1997

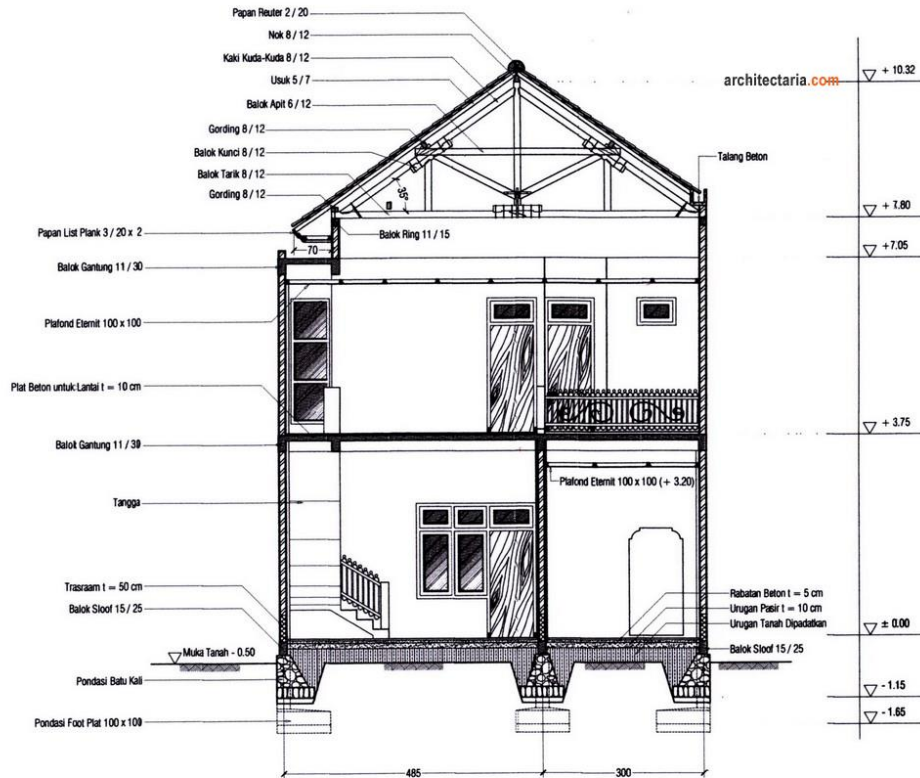
BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Studi Kasus

Area studi ini berada di proyek pembangunan Summarecon Bandung di Gedebage, Provinsi Jawa Barat yang termasuk pada kawasan Bandung Teknopolis. Pengambilan data dilakukan pada area cluster Amanda dan Btari pada (**Gambar 3.1**) dimana area tersebut akan dibangun sebuah kawasan perumahan 2 lantai seperti pada ilustrasi (**Gambar 3.2**).



Gambar 3.1 Lokasi cluster Amanda dan Btari pada proyek Summarecon Bandung
Sumber : PT. Teknindo Geosistem Unggul



Gambar 3.2 Ilustrasi potongan rumah 2 lantai
sumber: www.architectaria.com

3.2 Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan dengan cara mengumpulkan data-data sekunder. Data sekunder yang digunakan dalam penelitian merupakan data yang diperoleh dari PT. Teknindo Geosistem Unggul. Data yang didapat meliputi data tanah dasar, data timbunan, data bacaan *Settlement Plate*, data bacaan *Pneumatic Piezometer*, serta data bacaan *Inclinometer*.

3.2.1 Data Tanah Dasar

Data yang didapat merupakan data tanah dasar yang meliputi: data sondir, SPT, dan data hasil laboratorium (*specific gravity* (G_s), *unit weight* (γ), kadar air (ω), batas cair (ω_L), batas plastis (ω_P), indeks plastisitas (IP), *void ratio* (e), porositas (n), derajat saturasi (S_r), persen lolos saringan no.200, kohesi tanah (C), sudut geser (ϕ), indeks pemampatan(C_c)).

Data tanah digunakan terhadap tiap kedalaman sehingga data tersebut dapat digunakan untuk analisa dan evaluasi parameter tanah dasar yang dirinci sebagai berikut:

- Data *borelog* dan SPT digunakan untuk mengelompokkan tanah dasar menjadi beberapa lapisan sesuai kekerasannya

- Data parameter tanah yang didapat dari hasil laboratorium dianalisa sesuai dengan masing-masing lapisan tanah
- Nilai koefisien kompreibilitas volume (m_v) didapat melalui korelasinya dengan koefisien kompresibilitas (C_c)
- Nilai koefisien konsolidasi arah vertikal (C_v) didapat dari data sekunder yang ada sedangkan nilai koefisien konsolidasi arah horizontal (C_h) diasumsikan dua kali lipat dari koefisien konsolidasi arah vertikal ($C_h = 2C_v$)

3.2.2 Data Material dan Pemasangan PVD

Data yang diperoleh adalah pola pemasangan PVD, jarak antar PVD serta kedalaman pemasangan PVD. Pola pemasangan PVD yang digunakan adalah pola segitiga dengan jarak antar PVD sebesar 1,3 meter dengan kedalaman 20 m untuk tanah bagian struktur bangunan maupun jalan.

3.2.3 Data Bacaan *Settlement Plate*

Data pengamatan *Settlement Plate* yang didapat merupakan data pengamatan sejak hari ke 0 atau sejak awal penempatan *Settlement Plate* hingga pemantauan pada hari ke 382. Jumlah *Settlement Plate* proyek Summarecon area Amanda dan Btari ini adalah sebanyak 55 titik (SP-01 s.d. SP-55), pada penelitian ini pembahasan dibatasi pada SP-16, SP-26, SP-27, SP-28 dan SP-31.

3.2.4 Data Bacaan *Pneumatic Piezometer*

Data pengamatan *Pneumatic Piezometer* yang diperoleh merupakan data pengamatan sejak hari ke 0 yaitu pada awal pemasangan *Piezometer* hingga pemantauan terakhir pada tanggal 18 Agustus 2017, dimana letak PP-01 bersebelahan dengan SP-01, PP-02 dengan SP-42, PP-03 dengan SP-49, PP-04 dengan SP-19 dan PP-05 bersebelahan dengan SP-27. Pada penelitian ini pembahasan dibatasi pada PP-05 yang mewakili data *Settlement Plate* SP-16, SP-26, SP-27, SP-28 dan SP-31.

3.2.5 Data Bacaan *Inclinometer*

Data pengamatan *Inclinometer* yang diperoleh merupakan data pengamatan sejak periode pertama pada 2 Agustus 2016 hingga periode ke-9 pada Mei 2017. Dengan data yang digunakan hanya data *Inclinometer* 02 untuk mewakili tanah timbunan di lapangan.

3.2.6 Data Timbunan

Data timbunan yang diperoleh meliputi sifat fisik timbunan dan dimensi timbunan.

3.3 Cara Analisis

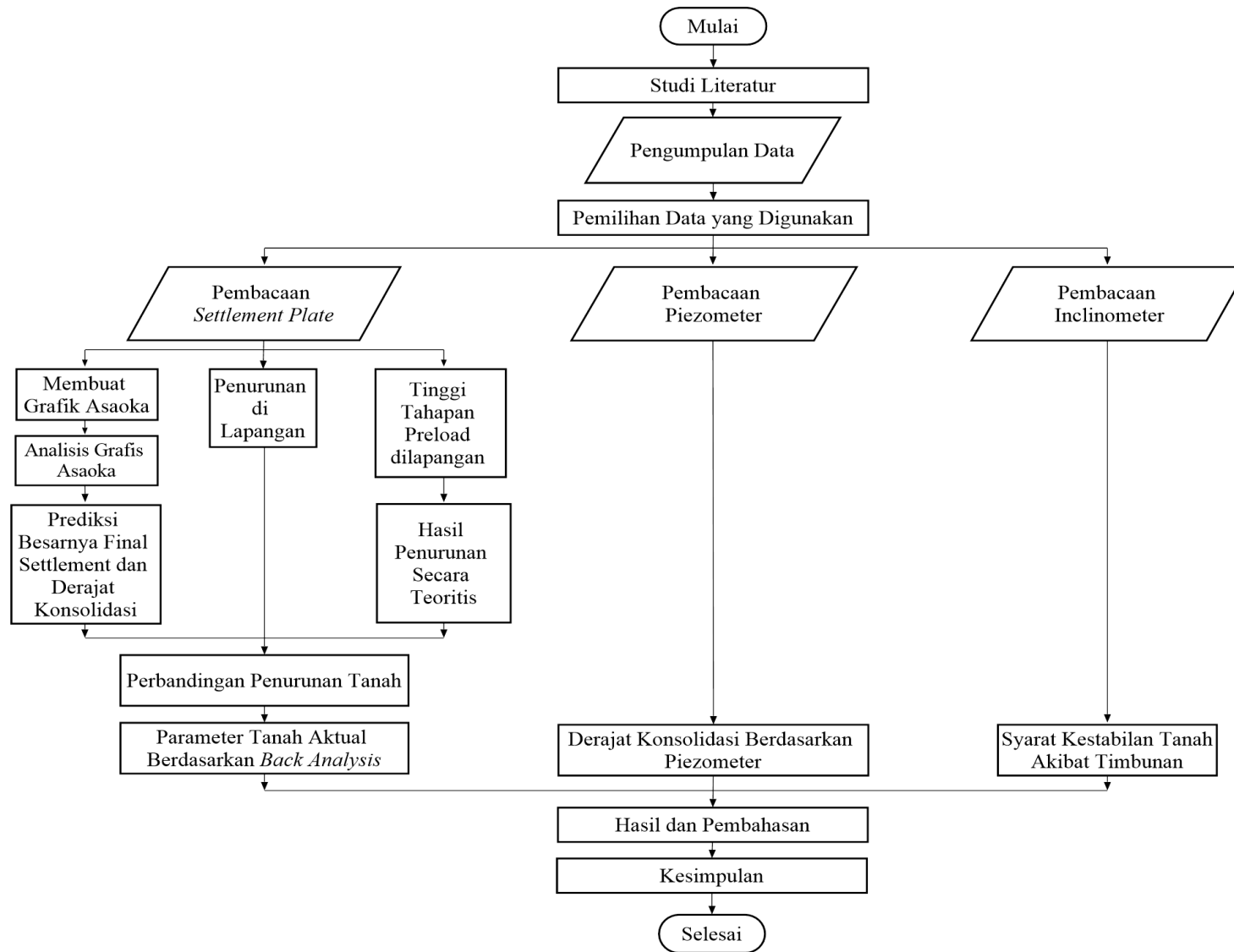
Cara analisis dalam penulisan tugas akhir ini adalah menghitung besar penurunan konsolidasi secara teoritis dan prediksi besar penurunan konsolidasi akhir dengan penggunaan metode Asaoka dan mencari nilai parameter-parameter tanah yang ada sesuai dengan data di lapangan serta menghitung derajat konsolidasi dan kestabilan timbunan. Langkah-langkah yang harus dikerjakan untuk memprediksi penurunan konsolidasi secara teoritis adalah sebagai berikut:

- Menghitung tinggi tanah *Preloading* dan *surcharge* dari grafik *Settlement Plate*
- Menghitung penambahan beban yang dilakukan berdasarkan tinggi *Preloading* dan *surcharge*
- Menghitung total tegangan efektif
- Menghitung penurunan konsolidasi yang terjadi

Besarnya prediksi penurunan konsolidasi dari teori Asaoka serta besarnya penurunan konsolidasi dari bacaan *Settlement Plate* di-plot pada suatu grafik lalu dibandingkan antara keduanya.

Derajat konsolidasi dihitung dari hasil perhitungan berdasarkan data tanah yang ada, dari bacaan *Settlement Plate*, serta bacaan *Pneumatic Piezometer*. Dari keseluruhan hasil pengolahan data tersebut dapat dicari besarnya nilai koefisien konsolidasi tanah arah horizontal (C_h) dan parameter lainnya yang sesuai dengan tanah di lapangan. Dengan didapatkannya nilai-nilai parameter yang sesuai maka dapat diketahui desain pemasangan *preloading* dan *Prefabricated Vertical Drain (PVD)* yang baik untuk memaksimalkan kinerja metode perbaikan tanah tersebut.

Syarat kestabilan pada tanah timbunan ditinjau berdasarkan data *Inclinometer*. Dari hasil pengolahan data dapat diketahui longsor atau tidaknya timbunan yang digunakan. Secara garis besar tahapan penelitian dan tahapan analisis penelitian dapat dilihat pada bagan alir yang ditunjukkan pada (**Gambar 3.3**).



Gambar 3.3 Diagram alir tahapan analisis

Halaman sengaja dikosongkan

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengumpulan Data

Dari data yang ada, data dipilih sedemikian rupa sehingga data siap digunakan untuk analisis penelitian.

4.1.1 Data Tanah Dasar

Data tanah dasar merupakan data sekunder dari hasil percobaan sondir, SPT dan laboratorium berdasarkan sampel tanah yang diambil dari titik bor DB-01, DB-02, DB-03 yang dijadikan kedalam satu zona tanah. Layout dan koordinat lokasi pekerjaan dapat dilihat pada (**Gambar 4.1**) dan **Tabel 4.1**.



Gambar 4.1 Lokasi pengerjaan penyelidikan tanah dasar
Sumber: PT. Teknindo Geosistem Unggul

Tabel 4.1
Koordinat titik-titik lokasi penyelidikan tanah

Titik	Koordinat	
	Easting	Northing
DB-01 dan CPT-01	797612	9230024
DB-02	798172	9229920
DB-03	798004	9230212

Pada titik bor DB-01, kedalaman pengambilan sampel sejauh 25 m dari elevasi +660. Begitu pula dengan titik bor DB-02, DB-03 dan CPT-01, kedalaman pengambilan sampel sejauh 25 m dengan elevasi awal +660. Data *boring log*, data SPT dan data tanah hasil laboratorium yang diperoleh dapat dilihat pada **Lampiran 1**.

4.1.2 Data Timbunan

Data tentang timbunan meliputi parameter timbunan dan kondisi lapangan timbunan.

- Parameter tanah pada timbunan: $\gamma_{tanah} = 16 \text{ kN/m}^3$
- Kondisi lapangan timbunan

Setelah *vertical drains* pada elevasi ± 660 hingga kedalaman 20 m kemudian pekerjaan timbunan dimulai hingga mencapai elevasi sesuai dengan bacaan *Settlement Plate*. Dalam tahap pengerjaannya diamati pergerakan tanah menggunakan *Inclinometer*, *Settlement Plate* dan *Piezometer*. Ilustrasi timbunan selengkapnya telampir pada **Lampiran 2**.

4.1.3 Data Material dan Pemasangan PVD

Vertical drains dipasang pada area penelitian dengan rincian pemasangan sebagai berikut:

- Kedalaman pemasangan : 20 m dari elevasi ± 660
- Pola pemasangan : Segitiga berjarak 130 cm
- Tipe vertical drains : CeTeau Drain CT-D822 (**Gambar 4.2**)
- Lebar *vertical drains* (a) : 100 mm
- Tebal *vertical drains* (b) : 4 mm

Pemasangan *vertical drain* ditunjukkan pada (**Gambar 4.3**) dan ilustrasi kedalaman dan titik vertical drain dapat dilihat pada **Lampiran 2**.



Gambar 4.2 Vertical drains tipe CeTeau Drain CT-D822



Gambar 4.3 Pemasangan vertical drains

4.1.4 Data Settlement Plate

Untuk mengamati penurunan aktual maka digunakan instrument geoteknik *Settlement Plate*. Pekerjaan pengamatan *Settlement Plate* pada proyek Summarecon Bandung area Amanda dan Btari dilaksanakan sejak 1 Agustus 2016 hingga monitoring data terakhir yang didapat pada 18 Agustus 2017 sebanyak 55 titik (SP-01 s.d. SP-55). Pada penelitian ini hanya mengambil 5 titik sampel yaitu pada SP-16, SP-26, SP-27, SP-28 dan SP-31 seperti yang terlihat pada (Gambar 4.4). Pada Tabel 4.2 menunjukkan contoh data *Settlement Plate* dengan kode SP-16 dari hari pertama hingga hari ke-43. (Gambar 4.5) dan (Gambar 4.6) masing-masing menunjukkan kurva elevasi timbunan *Preloading* dan kurva penurunan SP-16 selama 43 hari.



Gambar 4.4 Lokasi letak penempatan *Settlement Plate*, *Pneumatic Piezometer* dan *Inclinometer*

Sumber: PT.Teknindo Geosistem Unggul

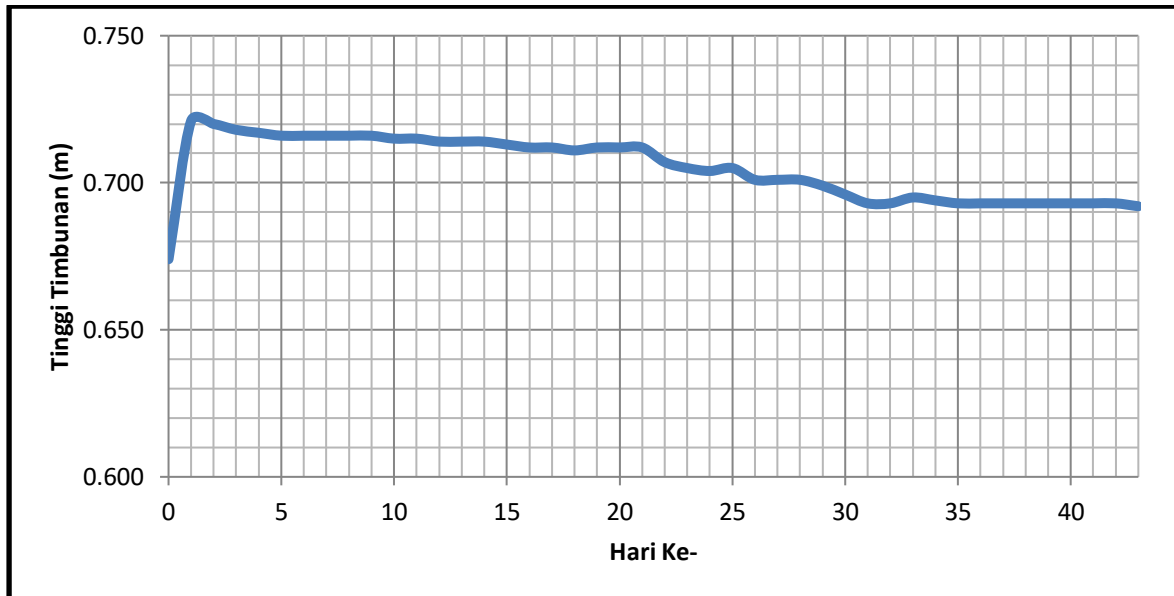
Tabel 4.2

Data Bacaan *Settlement Plate* SP-16 Hingga Hari ke-43

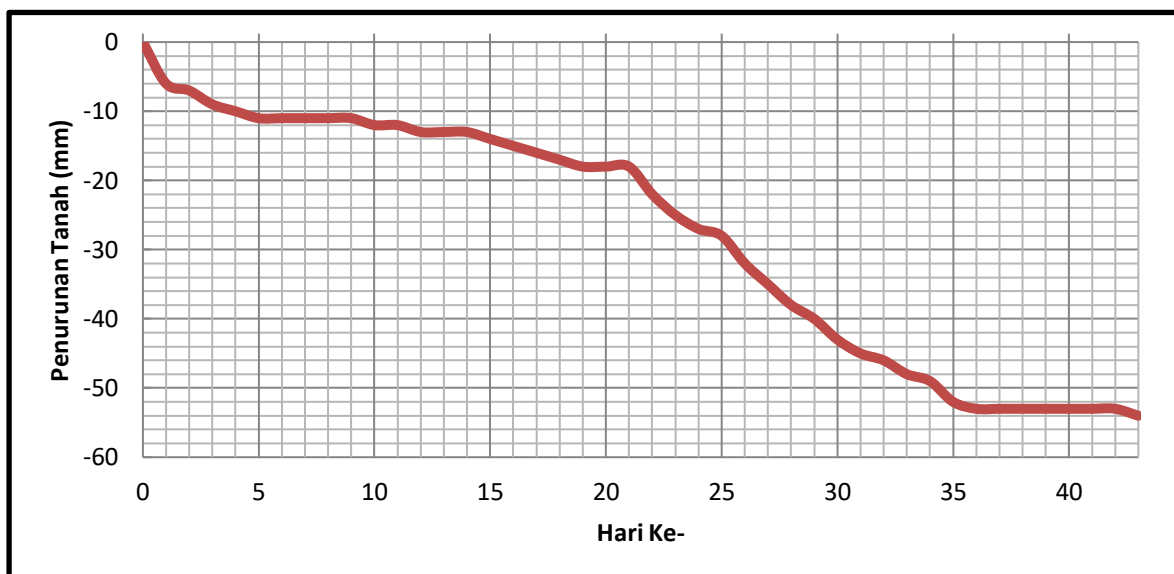
Tanggal	Hari Ke-	Tinggi Timbunan (m)	Total Penurunan (mm)
1 Aug 16	IR	0.674	0
2 Aug 16	1	0.721	-6
3 Aug 16	2	0.720	-7
4 Aug 16	3	0.718	-9
5 Aug 16	4	0.717	-10
6 Aug 16	5	0.716	-11
7 Aug 16	6	0.716	-11
8 Aug 16	7	0.716	-11
9 Aug 16	8	0.716	-11
10 Aug 16	9	0.716	-11
11 Aug 16	10	0.715	-12
12 Aug 16	11	0.715	-12

Tanggal	Hari Ke-	Tinggi Timbunan (m)	Total Penurunan (mm)
13 Aug 16	12	0.714	-13
14 Aug 16	13	0.714	-13
15 Aug 16	14	0.714	-13
16 Aug 16	15	0.713	-14
17 Aug 16	16	0.712	-15
18 Aug 16	17	0.712	-16
19 Aug 16	18	0.711	-17
20 Aug 16	19	0.712	-18
21 Aug 16	20	0.712	-18
22 Aug 16	21	0.712	-18
23 Aug 16	22	0.707	-22
24 Aug 16	23	0.705	-25
25 Aug 16	24	0.704	-27
26 Aug 16	25	0.705	-28
27 Aug 16	26	0.701	-32
28 Aug 16	27	0.701	-35
29 Aug 16	28	0.701	-38
30 Aug 16	29	0.699	-40
31 Aug 16	30	0.696	-43
1 Sep 16	31	0.693	-45
2 Sep 16	32	0.693	-46
3 Sep 16	33	0.695	-48
4 Sep 16	34	0.694	-49
5 Sep 16	35	0.693	-52
6 Sep 16	36	0.693	-53
7 Sep 16	37	0.693	-53
8 Sep 16	38	0.693	-53
9 Sep 16	39	0.693	-53
10 Sep 16	40	0.693	-53
11 Sep 16	41	0.693	-53
12 Sep 16	42	0.693	-53
13 Sep 16	43	0.692	-54

Hasil bacaan *Settlement Plate* dapat digunakan pula untuk mengestimasi besarnya penurunan akhir yang dapat dicapai dengan menggunakan teori pendekatan Asaoka. Data pengamatan dan pemasangan *Settlement Plate* serta grafik penurunan selengkapnya dapat dilihat pada **Lampiran 3**.



Gambar 4.5 Grafik elevasi penimbunan *Preloading* pada SP-16 hingga hari ke-43



Gambar 4.6 Grafik penurunan tanah SP-16 hingga hari ke-43

4.1.5 Data *Pneumatic Piezometer*

Besarnya tegangan air pori pada kedalaman tertentu dapat diketahui dari data bacaan *Piezometer*. Pekerjaan pengamatan *Piezometer* PP-05 yang bersebelahan dengan SP-27 memulai pengamatan sejak 20 November 2016. Data pengamatan akhir *Piezometer* adalah 18 Agustus 2017.

Piezometer dibaca setiap hari antara pukul 6.00 hingga 10.43 WIB dan 15.00 hingga 17.20 WIB. Hasil bacaan *Piezometer* tersebut nantinya akan digunakan untuk menghitung derajat konsolidasi aktual yang terjadi di lapangan. Pada Tabel 4.3 menunjukkan contoh data *Piezometer* PP-05 dari hari pertama hingga hari ke-36. (**Gambar 4.7**) dan (**Gambar**

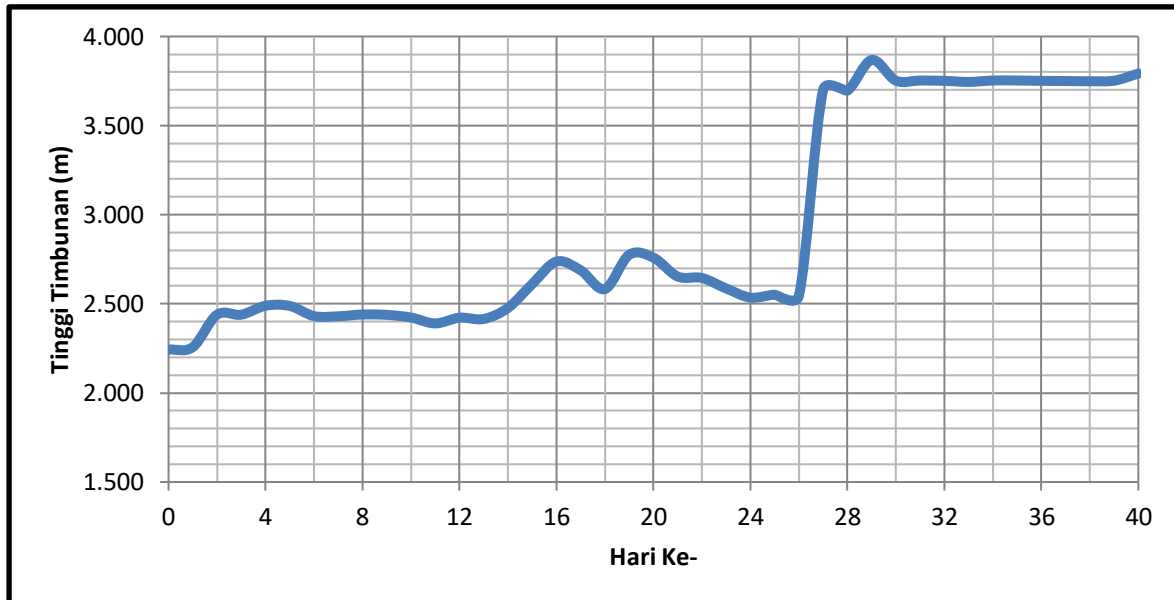
4.8) masing-masing menunjukkan kurva elevasi timbunan *Preloading* dan kurva tekanan air pori pada PP-01 hingga hari ke-40. Data selengkapnya dari pengamatan dan pemasangan *Piezometer* beserta grafik ada pada **Lampiran 4**.

Tabel 4.3

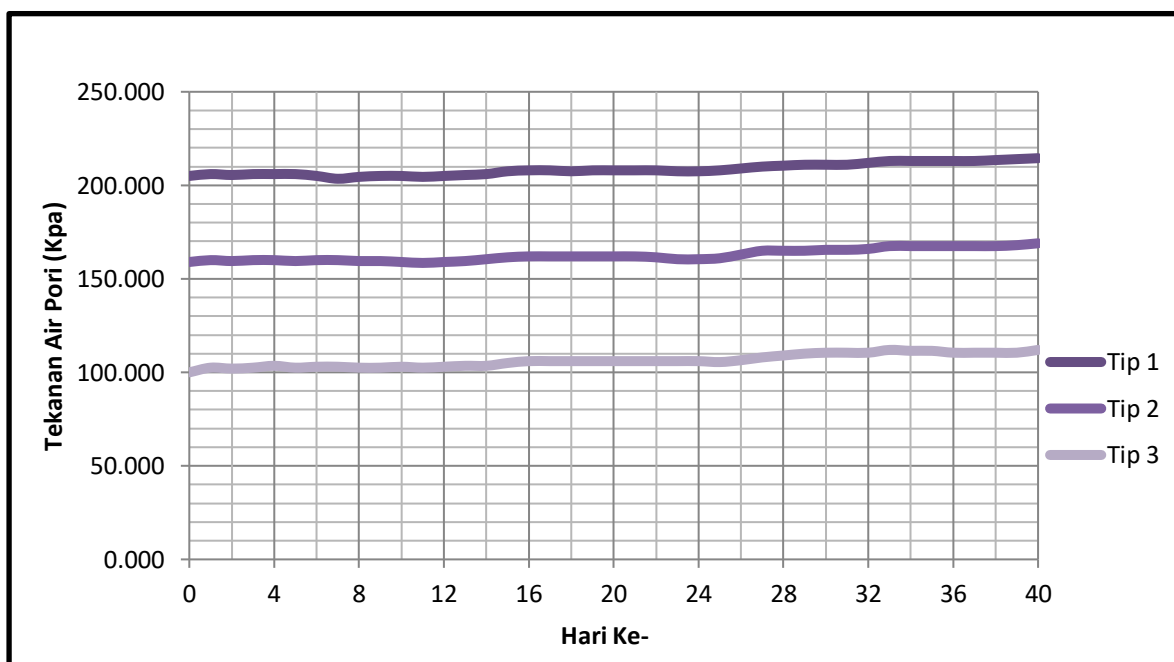
Data Bacaan *Piezometer* PP-05 Sampai Hari ke-40

Tanggal	Hari Ke-	Bacaan Pagi		
		Tip 1 (L=20 m) (Kpa)	Tip 2 (L=15 m) (Kpa)	Tip 3 (L=100 m) (Kpa)
20 Nov 16	IR	204.00	158.00	99.00
21 Nov 16	1	206.00	160.00	103.00
22 Nov 16	2	205.00	159.00	102.00
23 Nov 16	3	206.00	160.00	102.00
24 Nov 16	4	206.00	160.00	104.00
25 Nov 16	5	206.00	159.00	102.00
26 Nov 16	6	206.00	160.00	103.00
27 Nov 16	7	203.00	160.00	103.00
28 Nov 16	8	204.00	159.00	102.00
29 Nov 16	9	205.00	159.00	102.00
30 Nov 16	10	205.00	159.00	103.00
1 Dec 16	11	204.00	158.00	102.00
2 Dec 16	12	204.00	158.00	102.00
3 Dec 16	13	205.00	159.00	103.00
4 Dec 16	14	205.00	159.00	103.00
5 Dec 16	15	207.00	161.00	104.00
6 Dec 16	16	208.00	162.00	106.00
7 Dec 16	17	208.00	162.00	106.00
8 Dec 16	18	207.00	162.00	106.00
9 Dec 16	19	208.00	162.00	106.00
10 Dec 16	20	208.00	162.00	106.00
11 Dec 16	21	208.00	162.00	106.00
12 Dec 16	22	208.00	162.00	106.00
13 Dec 16	23	207.00	160.00	106.00
14 Dec 16	24	207.00	160.00	106.00
15 Dec 16	25	208.00	161.00	105.00
16 Dec 16	26	208.00	161.00	105.00
17 Dec 16	27	210.00	165.00	108.00
18 Dec 16	28	210.00	165.00	108.00
19 Dec 16	29	211.00	165.00	110.00
20 Dec 16	30	211.00	166.00	111.00
21 Dec 16	31	211.00	166.00	111.00
22 Dec 16	32	212.00	166.00	110.00
23 Dec 16	33	213.00	168.00	112.00

		Tip 1 (L=20 m) (Kpa)	Tip 2 (L=15 m) (Kpa)	Tip 3 (L=100 m) (Kpa)
24 Dec 16	34	213.00	168.00	111.00
25 Dec 16	35	213.00	168.00	111.00
26 Dec 16	36	213.00	168.00	110.00
27 Dec 16	37	213.00	167.00	110.00
28 Dec 16	38	213.00	167.00	110.00
29 Dec 16	39	214.00	168.00	110.00
30 Dec 16	40	215.00	169.00	112.00



Gambar 4.7 Grafik elevasi penimbunan *Preloading* pada PP-05 hingga hari ke-40



Gambar 4.8 Grafik *Pneumatic Piezometer* pada PP-05 hingga hari ke-40

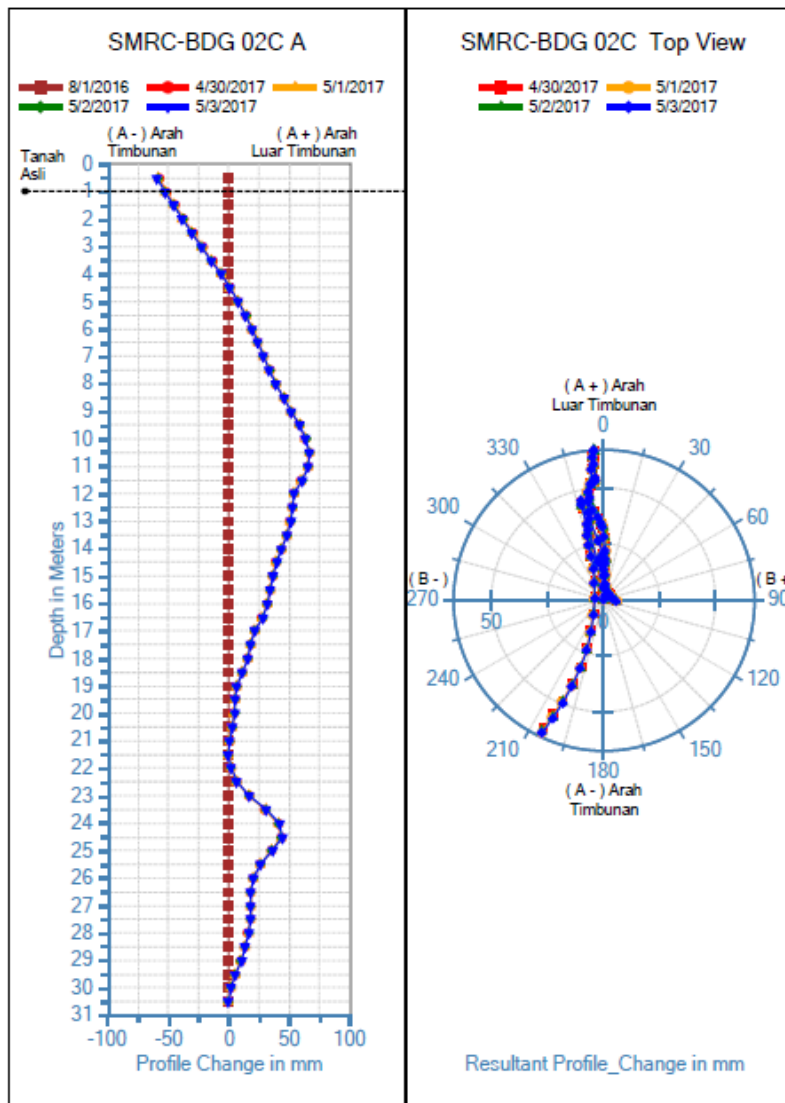
4.1.6 Data *Inclinometer*

Pergeseran lateral tanah dibaca dengan menggunakan *Inclinometer*. IN-02 dibaca dari awal bulan Agustus Hingga awal bulan Mei. Hasil bacaan data *Inclinometer* nantinya akan digunakan untuk mengetahui kestabilan tanah timbunan yang ada di lapangan. Tabel 4.4 menunjukkan data bacaan *Inclinometer* terakhir yang didapat pada tanggal 30 April 2017 hingga 3 Mei 2017 arah A dan (**Gambar 4.9**) merupakan contoh grafik dari bacaan tersebut. Data selengkapnya dari pengamatan dan pemasangan *Inclinometer* ada pada **Lampiran 5**.

Tabel 4.4
Data *Inclinometer* 02 Arah A pada Tanggal 30 April Hingga 3 Mei 2017

Kedalaman (m)	1-Aug-16	30-Apr-17	1-May-17	2-May-17	3-May-17
0.5	0.00	-92.82	-90.61	-92.05	-94.07
1.0	0.00	-79.65	-77.42	-78.99	-80.76
1.5	0.00	-66.42	-64.90	-65.99	-67.38
2.0	0.00	-53.41	-51.75	-52.90	-54.00
2.5	0.00	-40.25	-38.40	-39.53	-40.57
3.0	0.00	-27.14	-25.24	-26.32	-27.58
3.5	0.00	-16.08	-14.23	-14.73	-16.77
4.0	0.00	-6.56	-4.68	-5.13	-7.16
4.5	0.00	1.89	3.71	3.26	1.21
5.0	0.00	9.90	11.10	10.77	8.80
5.5	0.00	16.58	17.66	17.28	15.50
6.0	0.00	22.65	23.55	23.36	21.65
6.5	0.00	28.68	29.38	29.35	27.13
7.0	0.00	34.17	35.06	35.09	32.96
7.5	0.00	39.39	40.29	40.43	38.51
8.0	0.00	44.51	45.29	45.11	43.63
8.5	0.00	49.43	50.20	49.85	48.94
9.0	0.00	54.03	54.72	54.64	53.68
9.5	0.00	58.62	59.29	59.16	58.93
10.0	0.00	63.36	64.01	63.86	63.65
10.5	0.00	67.46	68.18	68.02	67.86
11.0	0.00	71.00	71.74	71.58	71.46
11.5	0.00	73.78	74.51	74.37	74.27
12.0	0.00	75.60	76.36	76.23	76.13
12.5	0.00	75.86	76.63	76.52	76.44
13.0	0.00	74.50	75.29	75.20	75.12
13.5	0.00	72.05	72.85	72.76	72.70
14.0	0.00	68.41	69.21	69.10	69.05
14.5	0.00	63.40	64.18	64.05	63.99

Kedalaman (m)	1-Aug-16	30-Apr-17	1-May-17	2-May-17	3-May-17
15.0	0.00	57.20	57.95	57.08	57.72
15.5	0.00	50.53	51.25	51.07	50.97
16.0	0.00	43.98	44.67	44.44	44.35
16.5	0.00	37.47	38.15	37.89	37.78
17.0	0.00	31.37	32.03	31.75	31.63
17.5	0.00	25.75	26.39	26.10	25.97
18.0	0.00	20.87	21.50	21.21	21.08
18.5	0.00	16.90	17.50	17.21	17.08
19.0	0.00	14.04	14.60	14.32	14.18
19.5	0.00	11.76	12.31	12.03	11.87
20.0	0.00	9.81	10.33	10.05	9.92
20.5	0.00	8.18	8.67	8.41	8.26
21.0	0.00	6.68	7.16	6.88	6.73
21.5	0.00	5.37	5.86	5.58	5.45
22.0	0.00	5.82	6.33	6.05	5.95
22.5	0.00	6.95	7.46	7.20	7.12
23.0	0.00	8.89	9.42	9.15	9.10
23.5	0.00	11.18	11.70	11.45	11.42
24.0	0.00	13.53	14.03	13.79	13.77
24.5	0.00	15.36	15.88	15.63	15.62
25.0	0.00	16.79	17.31	17.05	17.07
25.5	0.00	17.86	18.41	18.14	18.16
26.0	0.00	18.52	19.06	18.81	18.84
26.5	0.00	18.73	19.27	19.03	19.07
27.0	0.00	18.34	18.87	18.65	18.68
27.5	0.00	17.39	17.91	17.71	17.73
28.0	0.00	17.73	18.24	18.05	18.06
28.5	0.00	16.35	16.82	16.66	16.65
29.0	0.00	14.68	15.16	14.99	14.99
29.5	0.00	11.87	11.88	11.93	11.96
30.0	0.00	5.05	5.03	5.05	5.04
30.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



Gambar 4.9 Grafik Bacaan *Inclinometer* 02 Arah A pada Tanggal 30 April Hingga 3 Mei 2017

Sumber: PT. Teknindo Geosistem Unggul

4.2 Hasil Pengolahan Data

Dari hasil pengumpulan data, data diolah untuk mendapatkan hasil akhir penurunan tanah, derajat konsolidasi, kestabilan timbunan serta parameter-parameter tanah yang sesuai dengan keadaan di lapangan.

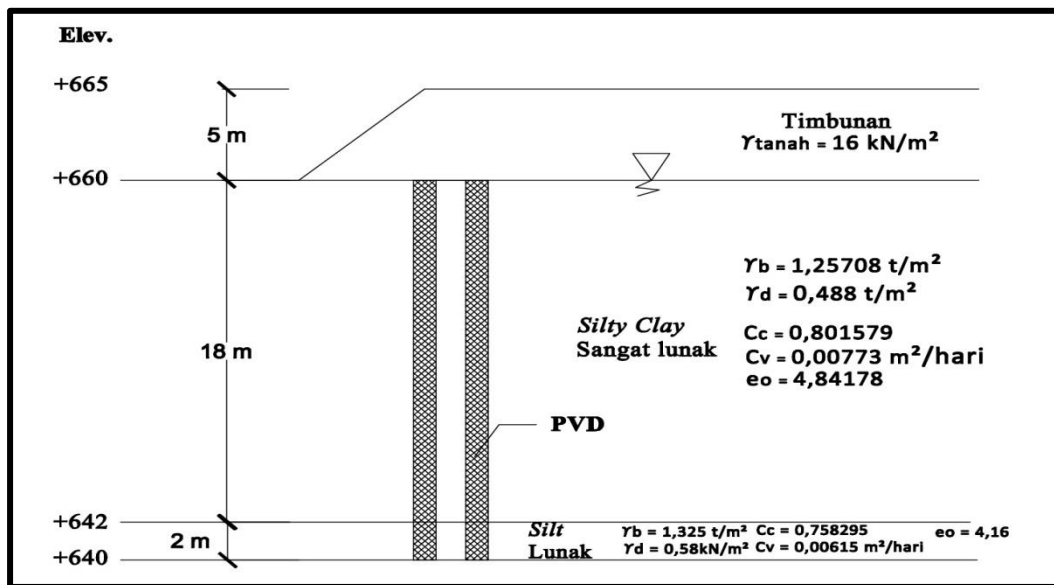
4.2.1 Penentuan Parameter Tanah

Sampel tanah dari DB-01, DB-02 dan DB-03 diambil hingga kedalaman 25 meter. Dari hasil sampel tanah tersebut terlihat bahwa muka air tanah terbaca mulai kedalaman 0,0 meter. Tanah pada kedalaman 0,0–18 m merupakan tanah dengan klasifikasi *clayey silt* dengan nilai SPT kisaran 0 dan 1. Untuk tanah pada kedalaman 18 – 25 m merupakan

tanah lanau berwarna cokelat keabu-abuan dengan nilai SPT kisaran 4 dan 14. Penampang melintang tanah tergambar pada (**Gambar 4.10**).

Pada nilai C_c , parameter tersebut dilakukan perubahan dengan metode korelasi yang dihitung dengan menggunakan Persamaan (2-24). Hal ini dilakukan untuk menyesuaikan hasil akhir pada perhitungan penurunan.

Setelah jenis tanah pada masing-masing lubang bor diketahui, maka dilakukan evaluasi berdasarkan data tanah yang ada. Hasil rekapitulasi data tanah dasar yang akan digunakan dapat dilihat pada **Tabel 4.5**. Nilai parameter tanah yang ada pada tabel tersebut merupakan data hasil tes laboratorium yang kemudian digunakan dalam analisa perhitungan *Settlement* awal (*initial*). Nilai C_r diambil $\frac{1}{8} C_c$ sedangkan nilai $C_h = 2C_v$.



Gambar 4.10 Penampang melintang tanah timbunan

Tabel 4.5
Rekapitulasi Data Tanah Dasar

Kedalaman (m)	G_s	Density (kN/m^3)		n	e_0	C_c	C_v (m^2/hari)	C_s
		γ_{sat}	γ_d					
0 - 18	2.498	12.571	4.696	0.800	4.842	0.801579	0.00773	0.100197
18 - 20	2.305	13.250	5.800	0.770	4.160	0.758295	0.00615	0.957786
Rata-Rata	2.402	12.910	5.248	0.785	4.501	0.779937	0.00723	0.097492

4.2.2 Prediksi Awal Penurunan Konsolidasi Secara Teoritis

Perhitungan penurunan konsolidasi dilakukan pada lapisan tanah *silty clay* dan lanau, yaitu pada kedalaman 0 – 20 m atau setebal 20 m (mengikuti kedalaman PVD yang dipasang).

4.2.2.1 Prediksi Awal Penurunan Konsolidasi Total

Prediksi penurunan yang terjadi dihitung berdasarkan teori *one dimensional Settlement*. Kondisi tanah adalah *over consolidated* yaitu dimana $\sigma_c' > \sigma_0'$, oleh karena itu besar penurunan dapat dihitung dengan Persamaan (2-6) atau Persamaan (2-7) dengan lapisan tanah H per 1 m hingga mencapai kedalaman PVD (20 m) pada tiap *Preloading* atau *surchage*.

Contoh penurunan akibat *Preloading* 1 bacaan SP-16:

Diketahui:

Kedalaman (m)	Cc	e ₀	γ _w (t/m ³)	γ _{sat} (t/m ³)	γ _{timbunan} (t/m ³)	Cs
0 – 18	0,801579	4,84178	0,981	1,25708	1,6	0,301139
18 – 20	0.758295	4,16		1,325		0,22

tinggi timbunan adalah 0,674 m, jika $\gamma_{\text{timbunan}} = 1,6 \text{ t/m}^3$ maka,

$$\Delta\sigma' = \text{Tinggi timbunan} \times \gamma_{\text{Timbunan}}$$

$$\Delta\sigma' = 0,674 \times 1,6 = 1,0784 \text{ t/m}^2$$

Tegangan efektif, σ_0' , yang diterima tanah pada kondisi awal/belum dibebani dihitung sebagai berikut:

- Untuk kedalaman 0 – 18 m

$$\begin{aligned}\sigma_0' &= ((\gamma_{\text{silty clay}} - \gamma_w) \times Z) \\ &= ((1,25708 - 0,981) \times 0,5) \\ &= 0,13804 \text{ t/m}^2\end{aligned}$$

- Untuk kedalaman 18 – 20 m

$$\begin{aligned}\sigma_0' &= ((\gamma_{\text{silty clay}} - \gamma_w) \times 18) + ((\gamma_{\text{silty}} - \gamma_w) \times 0,5) \\ &= ((1,25708 - 0,981) \times 18) + ((1,325 - 0,981) \times 0,5) \\ &= 5,1414 \text{ t/m}^2\end{aligned}$$

Tegangan prakonsolidasi akibat beban, σ_c' , dapat dihitung dengan $2 + \sigma_0'$ (2 merupakan fluktuasi muka air tanah)

- Untuk kedalaman 0 – 18 m

$$\begin{aligned}\sigma_c' &= 2 + 0,13804 \\ &= 2,13804 \text{ t/m}^3\end{aligned}$$

- Untuk kedalaman 18 – 20 m

$$\begin{aligned}\sigma_c' &= 2 + 6,364 \\ &= 8,364 \text{ t/m}^3\end{aligned}$$

Bila tanah tersebut diberi timbunan awal setinggi 0,674 m dan nilai tegangan efektif dan tegangan prakonsolidasi serta perubahannya telah diketahui maka penurunan yang terjadi pada kedalaman 1 m adalah sebagai berikut:

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

$$S_c = \frac{0,301139 \times 1}{1 + 4,84178} \log \left(1 + \frac{1,0784}{0,13804} \right)$$

$$S_c = 0,04103 \text{ m}$$

Penurunan akibat *Preloading* 1 dihitung hingga kedalaman 20 m. Hasil perhitungan ditampilkan pada **Tabel 4.6**

Tabel 4.6

Perhitungan Penurunan Konsolidasi Akibat *Preloading* 1 Pada SP-16

No Layer	H (m)	z (m)	σ'_0	σ'_c	$\sigma'_0 + \Delta\sigma$	$(\sigma'_0 + \Delta\sigma)/\sigma'_0$	Sc (m)
1	1	0.5	0.13804	2.13804	1.21644	0.56895	0.04103
2	1	1.5	0.41412	2.41412	1.49252	0.61825	0.02417
3	1	2.5	0.6902	2.6902	1.76860	0.65742	0.01774
4	1	3.5	0.96628	2.96628	2.04468	0.68931	0.01413
5	1	4.5	1.24236	3.24236	2.32076	0.71576	0.01178
6	1	5.5	1.51844	3.51844	2.59684	0.73807	0.01012
7	1	6.5	1.79452	3.79452	2.87292	0.75712	0.00887
8	1	7.5	2.0706	4.0706	3.14900	0.77360	0.00790
9	1	8.5	2.34668	4.34668	3.42508	0.78798	0.00713
10	1	9.5	2.62276	4.62276	3.70116	0.80064	0.00649
11	1	10.5	2.89884	4.89884	3.97724	0.81187	0.00596
12	1	11.5	3.17492	5.17492	4.25332	0.82191	0.00551
13	1	12.5	3.451	5.451	4.52940	0.83093	0.00513
14	1	13.5	3.72708	5.72708	4.80548	0.83908	0.00479
15	1	14.5	4.00316	6.00316	5.08156	0.84648	0.00450
16	1	15.5	4.27924	6.27924	5.35764	0.85323	0.00424
17	1	16.5	4.55532	6.55532	5.63372	0.85941	0.00401
18	1	17.5	4.8314	6.8314	5.90980	0.86509	0.00380
19	1	18.5	5.14144	7.14144	6.21984	0.88981	0.00244
20	1	19.5	5.41752	7.41752	6.49592	0.89417	0.00232
Total Penurunan <i>Preloading</i> 1							0.19206

Jadi, total penurunan akibat *Preloading* 1 setinggi 0,674 m adalah sebesar 0,19206 m atau 192,06 mm. Tabel penurunan konsolidasi teoritis selengkapnya disajikan dalam **Lampiran 6**.

Timbunan dari bacaan SP-16 dibagi ke dalam 9 periode (*Preloading* 1 – *Preloading* 8 dan *surcharge*). Sebelum penimbunan *Preloading* 2 dilaksanakan, terlebih dahulu

dilakukan *preloading* 1 dimana dari penimbunan tersebut diprediksi (prediksi awal) akan terjadi penurunan sebesar 192,06 mm.

Hasil perhitungan besar penurunan konsolidasi dari bacaan SP-16 yang diakibatkan tahapan timbunan *Preloading* 1 dijumlahkan dengan besar penurunan konsolidasi akibat 8 penimbunan dan *surcharge* tahap selanjutnya menjadi total penurunan seperti yang terlihat pada **Tabel 4.7**.

Tabel 4.7

Prediksi Awal Total Penurunan Konsolidasi SP-16 untuk $U = 100\%$

Tahap	Waktu Penimbunan		Tinggi Timbunan (mm)	Penurunan (mm)
	Dari hari ke-	Sampai hari ke-		
Tanah Awal	0	0	0	0
<i>Preloading</i> 1	1	73	674	192.0582
<i>Preloading</i> 2	74	106	828	220.5754
<i>Preloading</i> 3	107	125	867	227.3778
<i>Preloading</i> 4	126	139	727	202.1927
<i>Preloading</i> 5	140	160	725	201.8167
<i>Preloading</i> 6	161	162	277	100.7235
<i>Preloading</i> 7	163	167	678	192.8358
<i>Preloading</i> 8	168	222	264	97.0673
<i>Surcharge</i>	223	309	478	150.9974
Total			5518	1585.6448

Jadi, besar penurunan konsolidasi akhir yang didapat dari data timbunan bacaan SP-16 adalah sebesar 1585.6448 mm atau 1,586 m.

Hal ini dilakukan pula terhadap data SP-26, SP-27, SP-28 dan SP-31 sehingga didapat nilai penurunan akhir secara teoritis seperti terlihat pada **Tabel 4.8**.

Tabel 4.8

Hasil Penurunan Akhir Secara Teoritis

<i>Settlement Plate</i>	Penurunan s.d. hari ke 382 (mm)	Penurunan Akhir (mm)	Derajat Konsolidasi (%)	Residual	
				(%)	mm
SP-16	1299	1585.6448	81.9225	18.0775	286.6448
SP-26	2363	2692.3204	87.7682	12.2318	329.3204
SP-27	2196	2477.6194	88.6335	11.3665	281.6194
SP-28	1434	1654.8364	86.6551	13.3449	220.8364
SP-31	2324	2738.2262	84.8725	15.1275	414.2262
Rata-rata	1923	2229.7294	85.9703	14.0297	306.5294

4.2.2.2 Perhitungan Derajat Konsolidasi pada Prediksi Awal

Pada saat penimbunan *Preloading* 1 hingga penimbunan *surchage*, *vertical drains* telah dipasang oleh karena itu perhitungan derajat konsolidasi sudah menggunakan persamaan-persamaan yang berhubungan dengan *vertical drains*.

Jarak pemasangan *vertical drains* adalah 1,3 m dengan pola segitiga sehingga dengan menggunakan persamaan $D = 1,05 S$ dapat diketahui diameter zona pengaruh drain.

$$D = 1,05 S$$

$$D = 1,05 \times 1,3$$

$$D = 1,365 \text{ m}$$

Jadi, diameter pengaruh zona drain adalah sebesar 1,365 m

Vertical drains yang digunakan merupakan jenis CeTeau Drain CT-D822 yang memiliki lebar 0,1 m dan dengan ketebalan 0,004 m. Dari data yang diketahui dapat dihitung nilai *diameter well* dan faktor jarak *drain* (F_n).

$$d_w = \frac{2(a+b)}{\pi}$$

$$d_w = \frac{2(0,1 + 0,004)}{\pi}$$

$$d_w = 0,0662 \text{ m}$$

dan faktor jarak drain (F_n)

$$F_n = \ln\left(\frac{D}{d_w}\right) - \frac{3}{4}$$

$$F_n = \ln\left(\frac{1,365}{0,0662}\right) - \frac{3}{4}$$

$$F_n = 2,2765$$

Berdasarkan nilai-nilai yang telah diperoleh dari perhitungan di atas, maka dapat dicari pengaruh dari adanya *vertical drains* yaitu faktor dan derajat konsolidasi untuk drainase arah radial (horizontal) dan vertikal sehingga dapat diketahui derajat konsolidasi yang telah terjadi pada selang waktu tertentu.

Berikut ini merupakan contoh perhitungan saat proses penimbunan berjalan 382 hari, dengan $C_h = 2 C_v = 0,01446 \text{ m}^2/\text{hari}$

- Derajat konsolidasi arah radial (horizontal)

$$T_h = \frac{t \times C_h}{D^2}$$

$$T_h = \frac{382 \times 0,01446}{1,365^2}$$

$$T_h = 2,9646$$

pada perhitungan awal nilai F_s dan F_r diabaikan, maka nilai U_h saat *Preloading* 1 berumur 382 hari dapat dihitung sebagai berikut

$$U_h = 1 - \exp\left(\frac{-8T_h}{F_n}\right)$$

$$U_h = 1 - \exp\left(\frac{-8 \times 2,9646}{2,28}\right)$$

$$U_h = 0,997 \approx 99,7\%$$

- Derajat konsolidasi arah vertikal

Tanah dibawah tanah lanau merupakan tanah lempung sehingga diasumsikan drainase arah vertikal hanya berjalan ke arah permukaan tanah (*one way drainage*).

Nilai $C_v = 0,00723 \text{ m}^2/\text{hari}$ sehingga

$$T_v = \frac{t \times C_v}{H^2}$$

$$T_v = \frac{382 \times 0,00723}{20^2}$$

$$T_v = 0,0069$$

Nilai U_v dihitung dengan menggunakan Persamaan (2-29)

$$U_v = \left(2 \sqrt{\frac{T_v}{\pi}}\right) \times 100\%$$

$$U_v = \left(2 \sqrt{\frac{0,0069}{\pi}}\right) \times 100\%$$

$$U_v = 0,0938 \approx 0,0938 \%$$

- Derajat konsolidasi

Setelah derajat konsolidasi arah horizontal dan arah vertikal diperoleh maka dapat dihitung derajat konsolidasi rata-ratanya dengan Persamaan (2-28)

$$U = 1 - (1 - U_h)(1 - U_v)$$

$$U = 1 - (1 - 0,997)(1 - 0,0938)$$

$$U = 0,9973 \approx 99,73\%$$

Jadi, pada saat $t = 382$ hari konsolidasi mencapai 99,73%

4.2.2.3 Perhitungan Prediksi Awal Penurunan Konsolidasi yang Terjadi

Besar penurunan total (konsolidasi 100%) telah diketahui sebesar 1585,6448 mm. Pada saat $t = 382$ hari diketahui $U = 99,73 \%$, sehingga besarnya penurunan yang terjadi saat *konsolidasi* berjalan 382 hari adalah:

$$S_{c(t)} = U\% \times S_{c \text{ total}}$$

$$S_{c(t)} = 99,73 \% \times 1585,6448 \text{ mm}$$

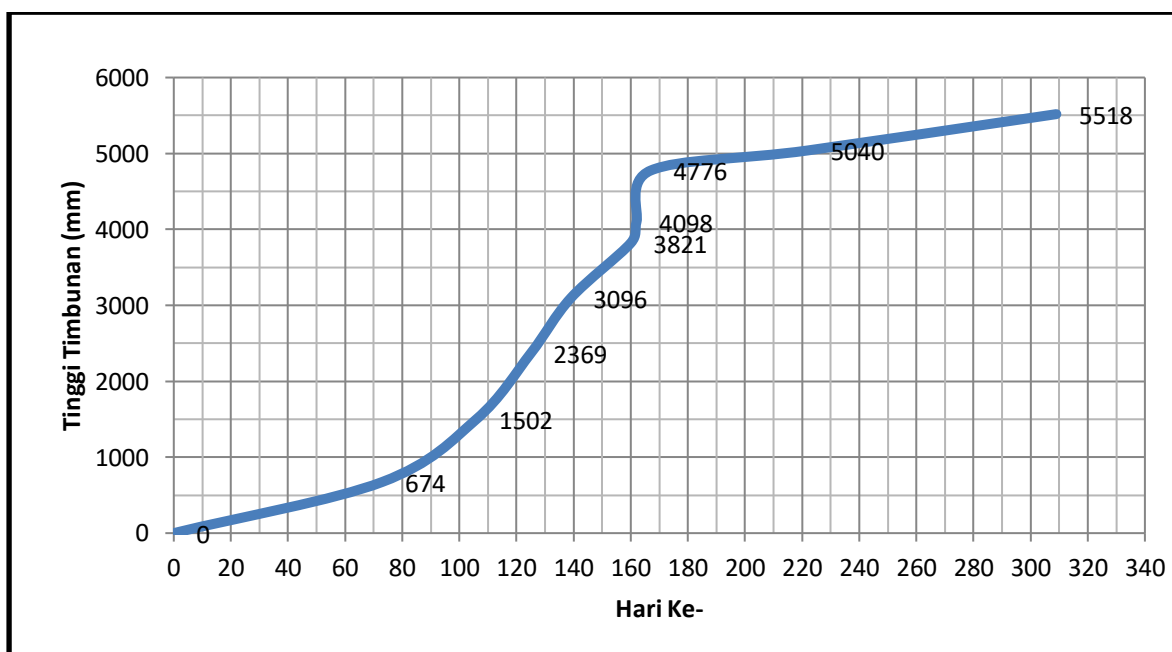
$$S_{c(t)} = 1585,6019 \text{ mm}$$

Tabel 4.9 menunjukkan hasil perhitungan penurunan teoritis hari ke-382 kelima *Settlement Plate* serta perbandingan penurunan aktual dengan penurunan teoritis. (**Gambar 4.12**) menunjukkan grafik penurunan lapangan dan penurunan teoritis SP-16 dengan (**Gambar 4.11**) menunjukkan tinggi tahapan penimbunan.

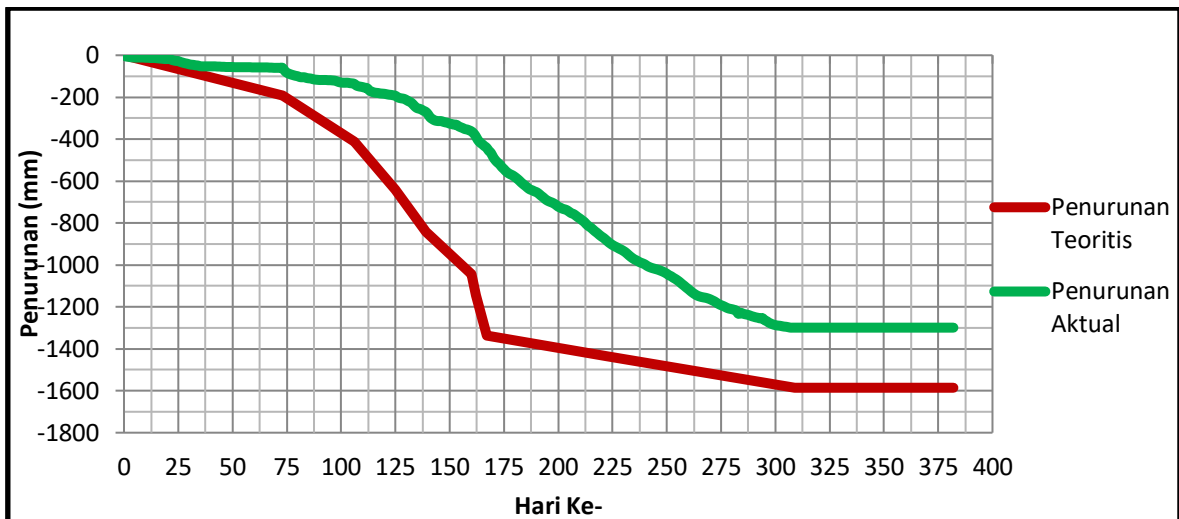
Tabel 4.9

Perbandingan Penurunan Aktual dan Penurunan Teoritis Hingga Hari Ke-382

<i>Settlement Plate</i>	Penurunan s.d. hari ke 382 (mm)	Penurunan Teoritis hingga hari ke-382 (m)	Perbandingan $S_{c \text{ aktual}}$ dengan $S_{c \text{ teoritis}}$
SP-16	1299	1585.6019	0.81925
SP-26	2363	2692.2475	0.87771
SP-27	2196	2477.5523	0.88636
SP-28	1434	1654.7915	0.86657
SP-31	2324	2738.1520	0.84875
Rata-rata	1923	2229.6690	0.86255



Gambar 4.11 Grafik tahapan penimbunan SP-16



Gambar 4.12 Grafik penurunan tanah dengan perhitungan teoritis dan penurunan aktual pada SP-16

Grafik perbandingan penurunan teoritis dan aktual juga diterapkan pada SP-26, SP-27, SP-28 dan SP-31. Hasil grafik dapat dilihat pada **Lampiran 7**.

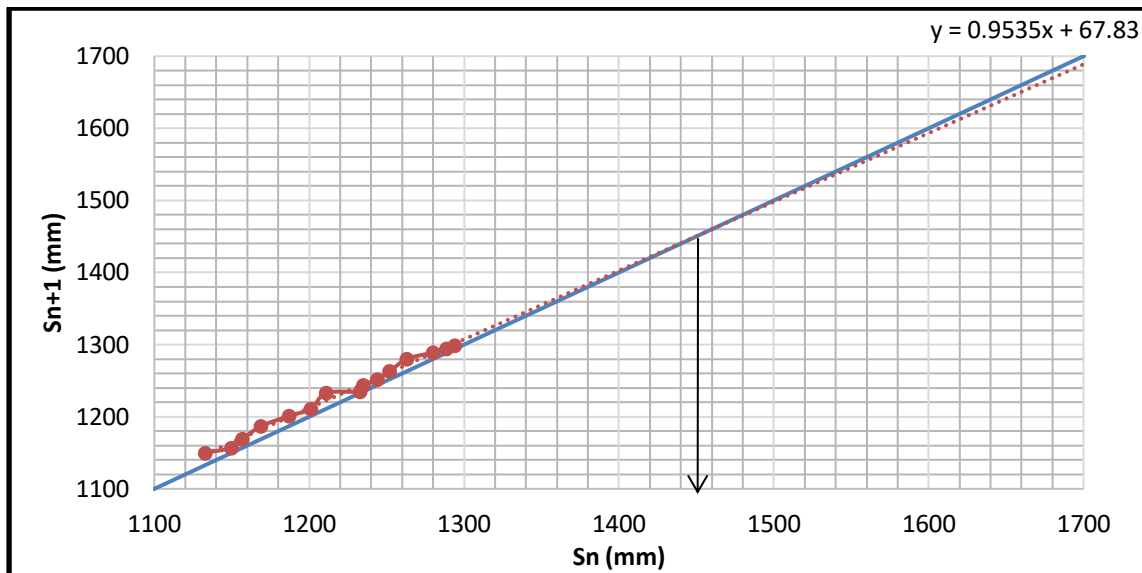
4.2.3 Prediksi Penurunan Metode Asaoka

Prediksi besarnya penurunan konsolidasi dapat juga dilakukan dengan metode Asaoka. Prediksi penurunan metode Asaoka dihitung berdasarkan data *Settlement Plate* yang ada. Sebagai contoh digunakan data *Settlement Plate* SP-16 yang dimulai pada hari ke-262 hingga hari ke-307 dengan interval Δt 3 hari.

Tabel 4.10

Besar penurunan hari ke-n (S_n —sumbu x) dan besar penurunan hari ke n+1 (S_{n+1} — sumbu y)

Hari Ke-n	Interval Ke-n	S_n	Sumbu X	Sumbu Y
262	1	1133	1133	1150
265	2	1150	1150	1157
268	3	1157	1157	1169
271	4	1169	1169	1187
274	5	1187	1187	1201
277	6	1201	1201	1211
280	7	1211	1211	1233
283	8	1233	1233	1235
286	9	1235	1235	1244
289	10	1244	1244	1252
292	11	1252	1252	1263
295	12	1263	1263	1280
298	13	1280	1280	1289
301	14	1289	1289	1294
304	15	1294	1294	1299
307	16	1299		



Gambar 4.13 Prediksi penurunan akhir metode Asaoka berdasarkan data SP-16

Dari perolehan data *Settlement Plate* maka dapat dibuat kurva hubungan waktu dan penurunan seperti yang ada pada (**Gambar 4.6**). Dari kurva hasil bacaan *Settlement Plate* SP-16 pada hari ke-262 sampai dengan hari ke-307 dapat ditentukan berapa penurunan yang terjadi pada hari tertentu (hari ke- n) seperti ditunjukkan pada **Tabel 4.10**, sehingga kurva S_n terhadap S_{n+1} dapat dibuat.

Selanjutnya dilakukan prediksi penurunan akhir menggunakan metode Asaoka dengan bantuan program Microsoft Excel dalam mencari nilai regresinya sehingga diketahui prediksi penurunan akhir yang dapat tercapai seperti terlihat pada (**Gambar 4.13**). berdasarkan metode Asaoka penurunan yang tercapai pada saat konsolidasi 99,99% akibat timbunan *Preloading (Preloading 1 – surcharge)* adalah 1457,6918 mm.

Hal ini dilakukan pula terhadap data SP-26, SP-27, SP-28 dan SP-31 sehingga didapat estimasi penurunan akhir seperti terlihat pada **Tabel 4.11**. Grafik metode Asaoka dilampirkan pada **Lampiran 8**.

Tabel 4.11
Hasil Estimasi Penurunan Akhir Metode Asaoka

<i>Settlement Plate</i>	Penurunan s.d. hari ke 382 (mm)	Penurunan Akhir (mm)
SP-16	1299	1457.6918
SP-26	2363	2694.3003
SP-27	2196	2495.1829
SP-28	1434	1533.8951
SP-31	2324	2774.3513
Rata-rata	1923	2191.0843

4.2.4 Penentuan Derajat Konsolidasi Aktual

Penentuan derajat konsolidasi aktual dapat dihitung berdasarkan data bacaan *Settlement Plate* dan *Piezometer* yang dijabarkan sebagai berikut.

4.2.4.1 Penentuan Derajat Konsolidasi Berdasarkan Bacaan *Settlement Plate*

Penentuan nilai derajat konsolidasi dapat dilakukan dari bacaan *Settlement Plate* (U_{v-sp}) yaitu dengan membandingkan besar penurunan aktual pada waktu tertentu (t) terhadap penurunan konsolidasi total yang diperoleh dari metode Asaoka, seperti pada Persamaan (2-12).

Contoh perhitungan diambil dari data Asaoka SP-16, dimana berdasarkan metode Asaoka diketahui penurunan konsolidasi akhir adalah 1457,6918 mm, sedangkan pada hari ke-382 (sejak timbunan *Preloading* 1 hingga *surcharge*) penurunan konsolidasi yang dicapai berdasarkan bacaan *Settlement Plate* adalah 1299 mm. Sehingga derajat konsolidasi yang tercapai pada hari ke-382 adalah sebagai berikut:

$$U_{v-sp} = \frac{S_t}{S_c}$$

$$U_{v-sp} = \frac{1299}{1457,6918}$$

$$U_{v-sp} = 0,8911 \approx 89,11\%$$

Perhitungan juga dilakukan pada SP-26, SP-27, SP-28 dan SP-31. Nilai derajat konsolidasi dari masing-masing data *Settlement Plate* ditampilkan pada **Tabel 4.12**.

Tabel 4.12

Derajat Konsolidasi Berdasarkan Bacaan *Settlement Plate*

<i>Settlement Plate</i>	Penurunan s.d. hari ke 382 (mm)	Penurunan Akhir (mm)	Derajat Konsolidasi (%)	Residual	
				(%)	Mm
SP-16	1299	1457.6918	89.1135	10.8865	158.692
SP-26	2363	2694.3003	87.7037	12.2963	331.3
SP-27	2196	2495.1829	88.0096	11.99042	299.183
SP-28	1434	1533.8951	93.4875	6.512509	99.8951
SP-31	2324	2774.3513	83.7673	16.23267	450.351
Rata-rata	1923	2191.0843	88.4163	11.5837	267.8843

4.2.4.2 Penentuan Derajat Konsolidasi Berdasarkan Bacaan *Piezometer*

Derajat konsolidasi juga dapat ditentukan melalui bacaan *Piezometer* dimana pada SP-16, SP-26, SP-27, SP-28 dan SP-31 digunakan data bacaan *Piezometer* PP-05. Ilustrasi pemasangan *Piezometer* dapat dilihat pada (**Gambar 4.13**).

Dari data bacaan rata-rata *Piezometer* PP-05 dapat dilihat bahwa puncak tegangan air pori berlebih dari tip 1, tip 2 dan tip 3 berturut-turut adalah sebesar 209,5 kPa, 163,5 kPa

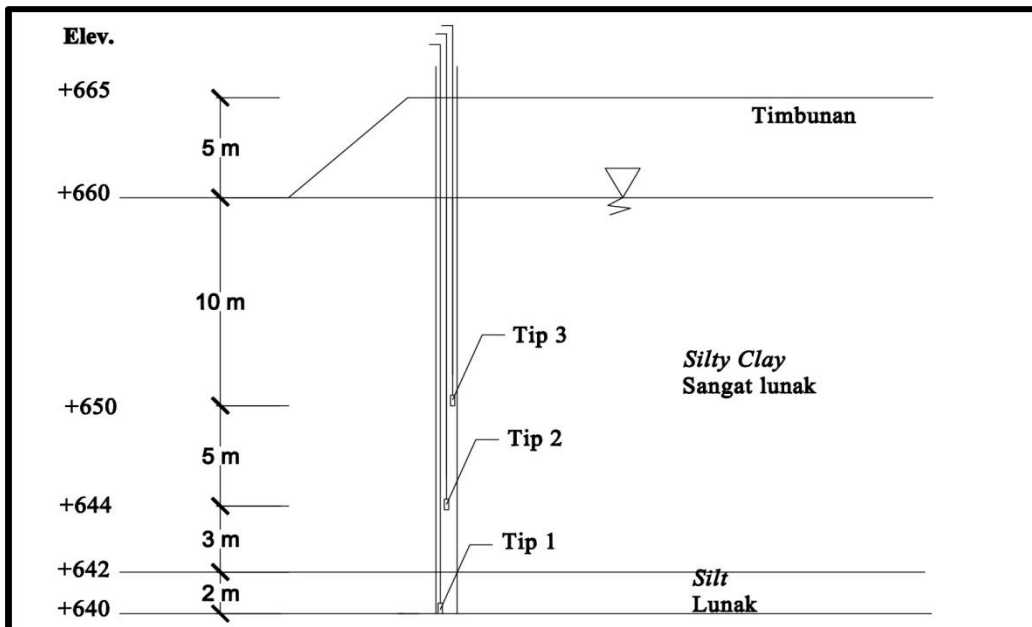
dan 114 kPa (**Gambar 4.14**). Lewat bacaan tersebut dapat dihitung derajat konsolidasi yang tercapai pada hari ke-271 setelah pemasangan *Piezometer* PP-05, yaitu sebagai berikut:

$$U_{pp} = \frac{\text{Luas daerah arsir}}{\text{Luas jajar genjang}} \times 100\%$$

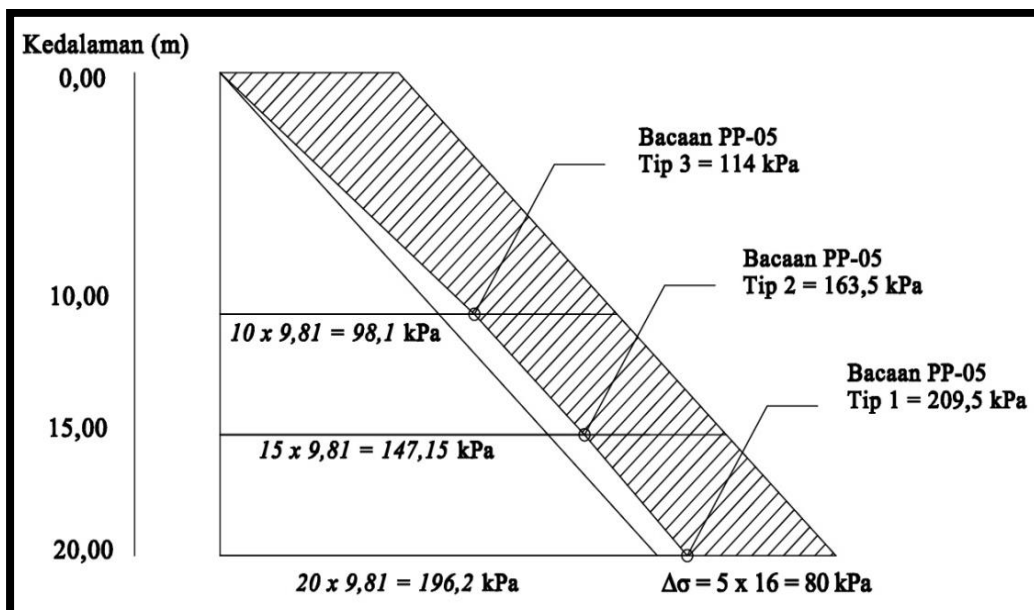
$$U_{pp} = \frac{136,575}{160} \times 100\%$$

$$U_{pp} = 85,359\%$$

Jadi, pada hari ke-271 derajat konsolidasi yang tercapai adalah 85,359%.



Gambar 4.14 Ilustrasi pemasangan PP-05



Gambar 4.15 Kelebihan tegangan air pori pada hari ke-271

4.2.5 Kestabilan Tanah pada Timbunan

Kestabilan tanah timbunan dapat ditentukan melalui bacaan *Inclinometer* dimana digunakan data bacaan *Inclinometer* IN-02 yang terletak dekat dengan SP-28.

Dari bacaan *Inclinometer* IN-02 pada **Tabel 4.4** dapat dilihat bahwa puncak pergeseran tanah lateral terjadi pada kedalaman 12,5 m untuk arah A dan 10,5 untuk arah B. Lewat bacaan tersebut dapat dihitung kestabilan timbunan dengan memasukkan syarat sesuai dengan Persamaan (2-14) dan (2-15).

- Syarat Kestabilan 1 ($Y_z < Y_{z \max}$)

$$H_{\text{timbunan SP-28}} = 5348 \text{ mm}$$

$$S_c \text{ teoritis SP-28} = 1783,41 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} Y_{z \max} &= 0,16 \times S_c \\ &= 0,16 \times 1783,41 \\ &= 285,345 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$Y_z = \frac{Y_{z \max}}{SF}$$

$$Y_z = \frac{285,345}{1,3}$$

$$Y_z = 219,496 \text{ mm}$$

Karena $Y_z < Y_{z \max}$ maka timbunan yang digunakan dinyatakan aman dari kelongsoran.

- Syarat Kestabilan 2 ($\Delta_n < \dots < \Delta_3 < \Delta_2 < \Delta_1$)

Untuk arah A diketahui:

$$Y_0 = 0 \text{ mm}$$

$$Y_1 = 75,86 \text{ mm}$$

$$Y_2 = 76,63 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= |Y_1 - Y_2| \\ &= |75,86 - 0| \\ &= 75,86 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta_2 &= |Y_2 - Y_1| \\ &= |76,63 - 75,86| \\ &= 0,77 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$Y_3 = 76,52 \text{ mm}$$

$$Y_4 = 76,44 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \Delta_3 &= |Y_3 - Y_2| \\ &= |76,52 - 76,63| \\ &= 0,11 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta_4 &= |Y_4 - Y_3| \\ &= |76,44 - 76,52| \\ &= 0,08 \text{ mm} \end{aligned}$$

Karena $\Delta_4 < \Delta_3 < \Delta_2 < \Delta_1$ maka tanah timbunan pada arah A dinyatakan aman dari longsor.

Untuk arah B diketahui:

$$Y_0 = 0 \text{ mm}$$

$$Y_3 = 44,25 \text{ mm}$$

$$Y_1 = 43,96 \text{ mm}$$

$$Y_4 = 44,13 \text{ mm}$$

$$Y_2 = 44,47 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= |Y_1 - Y_2| \\ &= |43,96 - 0| \\ &= 43,96 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta_3 &= |Y_3 - Y_2| \\ &= |44,25 - 44,47| \\ &= 0,2 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta_2 &= |Y_2 - Y_1| \\ &= |44,47 - 43,96| \\ &= 0,51 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta_4 &= |Y_4 - Y_3| \\ &= |44,13 - 44,25| \\ &= 0,12 \text{ mm} \end{aligned}$$

Karena $\Delta_4 < \Delta_3 < \Delta_2 < \Delta_1$ maka tanah timbunan pada arah B dinyatakan aman dari longsor.

Dari kedua perhitungan syarat kestabilan timbunan dapat dilihat bahwa tanah timbunan aman dari kelongsoran baik untuk arah A maupun arah B.

4.2.6 Analisa Balik Parameter Tanah Untuk Desain *Preloading* dengan *Vertical Drains*

Perhitungan analisa balik meliputi parameter tanah koefisien konsolidasi tanah arah horizontal (C_h), koefisien kompresibilitas volume (m_v), permeabilitas tanah arah vertikal (k_v) dan indeks pemampatan (C_c) yang dijabarkan sebagai berikut

4.2.6.1 Nilai Koefisien Konsolidasi Arah Horizontal (C_h) Berdasarkan Kemiringan Grafik Asaoka

Dari (**Gambar 4.13**) dapat diketahui besarnya nilai β untuk dimasukkan ke dalam Persamaan (2-40)

$$\begin{aligned} \frac{\pi^2 C_v}{8H^2} + \frac{8C_h}{D^2 F_n} &= -\frac{\ln \beta}{\delta_t} \\ \frac{\pi^2 0,00723}{8 \times 20^2} + \frac{8C_h}{1,365^2 \times 2,28} &= -\frac{\ln 0,9535}{3} \\ C_h &= 0,00841 \end{aligned}$$

Sehingga dapat diketahui pula bahwa berdasarkan data SP-16,

$$C_h = 1,1630C_v$$

Hal ini juga dilakukan pada SP-26, SP-27, SP-28 dan SP-31, hasil akhir parameter tertera pada **Tabel 4.13**.

4.2.6.2 Nilai Koefisien Kompresibilitas Volume (m_v)

Pada Persamaan (2-21) dimana S_c merupakan penurunan akhir hasil estimasi dari metode Asaoka (sebenarnya), oleh karena itu apabila H_0 dan $\Delta\sigma$ diketahui maka nilai m_v dapat dihitung balik seperti contoh dari SP-26 berikut:

$$m_v = \frac{S_c}{\Delta\sigma \cdot H_0}$$

$$m_v = \frac{1,4577}{88,288 \times 20}$$

$$m_v = 0,000826 \text{ m}^2/\text{kN}$$

Jadi, berdasarkan data SP-16 diketahui nilai koefisien kompresibilitas volume adalah sebesar $0,000826 \text{ m}^2/\text{kN}$. Nilai koefisien kompresibilitas berdasarkan data SP-26, SP-27, SP-28 dan SP-31 masing masing dihitung yang hasilnya tertera pada **Tabel 4.13**.

4.2.6.3 Nilai Permeabilitas Tanah Arah Vertikal (k_v)

Pada Persamaan (2-25) dengan k yang dimaksud adalah permeabilitas tanah arah vertikal. Apabila nilai C_v diketahui sebesar $0,00723 \text{ m}^2/\text{hari}$, γ_w adalah $9,81 \text{ kN/m}^3$ dan nilai m_v yang didapat adalah sebesar $0,000826 \text{ m}^2/\text{kN}$ maka nilai k dapat diperoleh dengan cara sebagai berikut:

$$C_v = \frac{k}{\gamma_w \cdot m_v}$$

$$k = C_v \times \gamma_w \times m_v$$

$$k = 0,00723 \times 9,81 \times 0,000826$$

$$k = k_v = 5,8552 \times 10^{-5} \text{ m/hari}$$

Jadi, nilai permeabilitas tanah arah vertikal adalah sebesar $5,8552 \times 10^{-5} \text{ m/hari}$. Nilai permeabilitas tanah arah vertikal berdasarkan data SP-26, SP-27, SP-28 dan SP-31 masing-masing dihitung yang hasilnya ada pada **Tabel 4.13**.

4.2.6.4 Nilai Indeks Pemampatan (C_c)

Setelah parameter-parameter tanah dari analisa balik berdasarkan kondisi lapangan didapatkan maka dilakukan perhitungan ulang penurunan menggunakan Persamaan (2-5).

Berdasarkan data lapangan dari *Settlement Plate* SP-16:

$$S_c = 1,4577 \text{ m} \qquad \sigma_0' = 56,5744 \text{ kN/m}^2$$

$$H_0 = 20 \text{ m} \qquad \Delta\sigma' = 88,288 \text{ kN/m}^2$$

$$e_0 = 4,5009$$

Sehingga dengan menggunakan persamaan $S_c = \frac{Cc \cdot H}{1+e_0} \log\left(\frac{\sigma_0' + \Delta\sigma'}{\sigma_0'}\right)$ nilai C_c dapat dihitung balik.

$$C_c = \frac{S_c}{\left(\frac{H_o}{1+e_o} \times \log \frac{\sigma'_o + \Delta\sigma}{\sigma'_o} \right)}$$

$$C_c = \frac{1,4577}{\left(\frac{20}{1+4,5009} \times \log \frac{56,5744 + 88,288}{56,5744} \right)}$$

$$C_c = 1,01954$$

Berdasarkan data lapangan SP-16 dapat diketahui nilai koefisien kompresibilitas tanah sebesar 1,921. Nilai indeks kompresibilitas tanah berdasarkan data SP-16, SP-27, SP-28 dan SP-31 tertera pada **Tabel 4.13**.

Tabel 4.13

Parameter Tanah Hasil Analisa Balik

<i>Settlement Plate</i>	Ch (m ² /hari)	Ch/Cv	m_v (m ² /kN)	Kv (m/hari)	Cc
SP-16	0.00841	1.1630	0.000826	5.85519E-05	1.01954
SP-26	0.01541	2.1308	0.000889	6.30799E-05	1.34626
SP-27	0.01993	2.7570	0.000937	6.64796E-05	1.34484
SP-28	0.00952	1.3171	0.000916	6.35714E-05	1.11183
SP-31	0.01593	2.2035	0.000924	6.92478E-05	1.39373
Rata - Rata	0.01384	1.91426	0.000898	0.000064	1.24324

4.2.7 Prediksi Waktu Tunggu untuk Konsolidasi Mencapai 90%

Berdasarkan hasil perhitungan *back analysis method*, diperoleh nilai Ch baru yang digunakan untuk menghitung prediksi waktu tunggu konsolidasi mencapai 90%. Hasil prediksi waktu tunggu disajikan dalam **Tabel 4.14**.

Tabel 4.14

Prediksi Waktu Tercapainya Konsolidasi 90%

<i>Settlement Plate</i>	Ch (m ² /hari)	Sisa Hari Menuju Konsolidasi 90%	Prediksi Waktu Tunggu Konsolidasi Mencapai 90%	
			Hari	Tanggal
SP-16	0.00841	6 Hari	Achived	24 Agustus 2017
SP-26	0.01541	21 Hari	Achived	8 September 2017
SP-27	0.01993	24 Hari	Achived	11 September 2017
SP-28	0.00952	-	Achived	30 Juni 2017
SP-31	0.01593	43 Hari	Achived	30 September 2017

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

- Berdasarkan perhitungan secara teoritis penurunan tanah yang terjadi hingga hari ke-382 sebesar 1,586 m untuk SP-16, 2,692 m untuk SP-26, 2,477 m untuk SP-27, 1,654 m untuk SP-28 dan 2,738 m untuk SP-28. Dengan penurunan teoritis rata-rata pada area Cluster Amanda dan Btari proyek Summarecon Bandung adalah sebesar 2,2297 m. Sedangkan dari bacaan *Settlement Plate* diketahui penurunan sebesar 1,299 m untuk SP-16, 2,363 m untuk SP-26, 2,196 m untuk SP-27, 1,434 untuk SP-28 serta 2,324 m untuk SP-31 dengan penurunan rata-rata hingga hari ke-382 sebesar 1,923 m.
- Dari perbandingan besarnya penurunan aktual dan penurunan teoritis dapat diketahui bahwa penurunan secara aktual lebih kecil dari penurunan teoritis dengan nilai perbandingan SP-16, SP-26, SP-27, SP-28 dan SP-31 berturut-turut adalah sebesar 0,819, 0,878, 0,886, 0,867 dan 0,849 dan perbandingan rata-rata sebesar 0,862.
- Dari teori pendekatan Asaoka diketahui besar prediksi penurunan akhir SP-16, SP-26, SP-27, SP-28 dan SP-31 sesuai dengan Tabel 4.11 berturut-turut adalah sebesar 1457,69 mm, 2694,3 mm, 2495,18 mm, 1533,89 mm dan 2774,35 mm. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penurunan masih terus berjalan sekitar 6 – 43 hari mengingat konsolidasi rata-rata masih dibawah 90% dengan penurunan yang akan terjadi berkisar 100 – 450 mm.
- Pada akhir pembacaan *Pneumatic Piezometer* atau pada tanggal 18 Agustus 2017 derajat konsolidasi yang tercapai adalah sebesar 85,359% dan derajat konsolidasi rata-rata dari bacaan *Settlement Plate* sebesar 88,416%. Sehingga diketahui air pori pada bacaan *Settlement Plate* masih tertahan dengan selisih perbedaan bacaan derajat konsolidasi sebesar 3,057%. Derajat konsolidasi *Settlement Plate* yang lebih besar terjadi karena adanya air pori yang terjebak (belum keluar), sehingga *Settlement Plate* tidak turun. Karena hal ini, maka konsolidasi yang terbaca seakan-akan sudah selesai (> 90%).

- Pada timbunan di Area Amanda dan Btari pergeseran lateral maksimum yang terjadi di bawah tanah tidak mengindikasikan adanya kelongsoran baik arah A maupun arah B. Sehingga timbunan tetap aman untuk dikerjakan.

- Dari analisa balik didapatkan parameter-parameter tanah baru sebagai berikut:

$$C_h = 0,01384$$

$$C_h/C_v = 1,914$$

$$m_v = 0,000898 \text{ m}^2/\text{kN}$$

$$k_v = 0,000064 \text{ m/hari}$$

$$C_c = 1,24324$$

Parameter tanah tersebut dapat digunakan sebagai referensi apabila ada proyek perluasan lahan selanjutnya dengan lokasi lahan disekitar obyek penelitian, yaitu dengan jenis tanah *silty clay* hingga *clay* dengan nilai SPT berkisar 0 hingga 4.

5.2 Saran

- Untuk menemukan parameter tanah dasar perlu dilakukan pengecekan ulang pada nilai-nilai tersebut. Apabila parameter tanah kurang sesuai maka perlu dilakukan perubahan parameter dengan metode korelasi.
- Apabila konsolidasi belum mencapai 90% maka tidak boleh dilakukan pekerjaan konstruksi. Harus diberikan waktu yang cukup pada lahan sehingga tanah terkonsolidasi secara optimal.
- Pada pekerjaan timbunan tidak boleh dilakukan pembongkaran sebelum konsolidasi mencapai 90%
- Untuk kasus bacaan derajat konsolidasi yang berbeda antara *Settlement Plate* dan *Piezometer* harus dilakukan percepatan konsolidasi seperti pemasangan pompa dan sumur serta memperbaiki saluran drainase disekeliling lahan

DAFTAR PUSTAKA

- Asaoka, A., 1978, *Observational Procedure Of Settlement Prediction*, Soils and Foundation, No. 4
- Balasubramaniam, et al. 2007. *Interpretation and Analysis of Test Embankments in Soft Clays with and without Ground Improvement*. Griffith University, Australia.
- Das, B.M. (2006). *Buku Mekanika Tanah*, Jilid 1
- Hansbo, S., 1979. dalam buku *Modul Ajar Metode Perbaikan Tanah*. Surabaya: ITS Press.
- Mochtar, Noor Endah, 2012
- Hardiyatmo, Hary C., 2002, *Mekanika Tanah I*, Yogyakarta: UGM Press
- Hotlan, P.T., Iskandar, R., 2003. *Analisa Penurunan pada Tanah Lunak Akibat Timbunan*, vol 1203-1214.
- Kuswanda, Wahyu P. 2015. *Problematika pembangunan insfrastruktur pada tanah lempung lunak dan alternative metoda penangannya*, Pro-ceedings Seminar Nasional Teknik Sipil Universitas Lampung, Lampung,
- Kuswanda, Wahyu P. 2016. *Perbaikan Tanah Lempung Lunak Metoda Preloading Pada Pembangunan Infrastruktur Transportasi Di Pulau Kalimantan*, Seminar Nasional Teknik Sipil Universitas Lambung Mangkurat, Banjarmasin, 2016
- Maspanji, Dede A, 2016. *Prediksi Penurunan Metode Asaoka Pada Tanah Lunak yang Diperbaiki Dengan Prefabricated Vertical Drain Studi Kasus: Timbunan Pda Jalan Tol Pejagan – Pemalang Kabupaten Brebes*. Skripsi. Yogyakarta. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Munawir, As'ad. *Bahan Kuliah Perbaikan Tanah*. Malang. Universitas Brawijaya
- Nawir, H., Apoji, D., Fatimatuzahro, R., Pambudji, M.D., 2012, *Prediksi penurunan tanah menggunakan prosedur Asaoka Studi Kasus: timbunan di Bontang Kalimantan Timur*, jurnal teknik sipil, rekayasa sipil vol. 19,pp-133-148.

Pedoman Kimpraswil No: Pt T-8-2002-B, 2001, *Panduan Geoteknik I Proses Pembentukan dan Sifat-Sifat Dasar Tanah Lunak*, Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah

Pedoman Konstruksi dan Bangunan No: Pd T-06-2004-B, *Perencanaan Konstruksi Timbunan Jalan di Atas Gambut dengan Metode Prapembebanan*, 2004, Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah

Wahyudi, Herman, 1997. *Diktat Teknik Reklamasi*. Surabaya

Yunias, Lishia. 2010. *Analisa Balik Parameter Desain Preloading Dengan Vertical Drains – Studi Kasus Perbaikan Tanah PT. Pupuk Kaltim Bontang*. Skripsi. Jakarta. Universitas Bina Nusantara