

SKRIPSI

EVALUASI PERBAIKAN TANAH
MENGGUNAKAN PRELOADING DENGAN *PVD*
PADA ENDAPAN DANAU (*LACUSTRINE SOILS*)
DI BANDUNG
BERDASARKAN DATA INSTRUMENTASI



RAYMOND DEPRISTA
NPM : 6101901151

**PEMBIMBING: Prof. Paulus Pramono Rahardjo, Ir., MSCE.,
Ph.D.**
KO-PEMBIMBING: Ir. Stefanus Diaz Alvi, S.T. M.T.

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)
BANDUNG
JULI 2023

SKRIPSI

EVALUASI PERBAIKAN TANAH
MENGGUNAKAN PRELOADING DENGAN PVD
PADA ENDAPAN DANAU (*LACUSTRINE SOILS*)
DI BANDUNG
BERDASARKAN DATA INSTRUMENTASI



RAYMOND DEPRISTA
NPM : 6101901151

BANDUNG, 26 JULI 2023

PEMBIMBING:

KO-PEMBIMBING:

Prof. Paulus Pramono
Rahardjo, Ir., MSCE., Ph.D.

Ir. Stefanus Diaz Alvi, S.T.
M.T.

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)
BANDUNG
JULI 2023

SKRIPSI
EVALUASI PERBAIKAN TANAH
MENGGUNAKAN PRELOADING DENGAN PVD
PADA ENDAPAN DANAU (*LACUSTRINE SOILS*)
DI BANDUNG
BERDASARKAN DATA INSTRUMENTASI



NAMA: RAYMOND DEPRISTA
NPM: 6101901151

PEMBIMBING: Prof. Paulus Pramono Rahardjo,
Ir., MSCE., Ph.D.

KO-PEMBIMBING: Ir. Stefanus Diaz Alvi, S.T. M.T.

PENGUJI 1: Ir. Siska Rustiani, M.T.

PENGUJI 2: Ir. Anastasia Sri Lestari, M.T.

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)
BANDUNG
JULI 2023

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : RAYMOND DEPRISTA

Tempat, tanggal lahir : Jakarta, 31 Desember 2000

NPM : 2000410999

Judul skripsi : **EVALUASI PERBAIKAN TANAH
MENGUNAKAN PRELOADING DENGAN
PVD PADA ENDAPAN DANAU (LACUSTRINE
SOILS) DI BANDUNG BERDASARKAN DATA
INSTRUMENTASI**

Dengan ini Saya menyatakan bahwa karya tulis ini adalah benar hasil karya tulis saya sendiri dan bebas plagiat. Adapun kutipan yang tertuang sebagian atau seluruh bagian pada karya tulis ini yang merupakan karya orang lain (buku, makalah, karya tulis, materi perkuliahan, internet, dan sumber lain) telah selayaknya saya kutip, sadur, atau tafsir dan dengan jelas telah melampirkan sumbernya. Bahwa tindakan melanggar hak cipta dan yang disebut plagiat merupakan pelanggaran akademik yang sanksinya dapat berupa peniadaan pengakuan atas karya ilmiah ini dan kehilangan hak keserjanaan.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan tanpa paksaan dari pihak manapun.

(Kutipan pasal 25 ayat 2 UU no. 20 tahun 2003)

Bandung, 25 Juli 2023



Raymond Deprista

**EVALUASI PERBAIKAN TANAH
MENGUNAKAN PRELOADING DENGAN PVD
PADA ENDAPAN DANAU (LACUSTRINE SOILS)
DI BANDUNG
BERDASARKAN DATA INSTRUMENTASI**

**Raymond Deprista
NPM: 6101901151**

**Pembimbing: Prof. Paulus Pramono Rahardjo, Ir., MSCE., Ph.D.
Ko-Pembimbing: Ir. Stefanus Diaz Alvi, S.T. M.T.**

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)
BANDUNG
JULI 2023**

ABSTRAK

Tanah lacustrine merupakan jenis tanah yang terbentuk dari hasil deposit sedimen dan mengandung material organik. Tanah lacustrine berciri-ciri memiliki *plastic limit*, *liquid limit*, kadar air, angka pori, dan koefisien kompresibilitas yang tinggi. Sehingga, hal tersebut menimbulkan permasalahan *primary consolidation* pada saat masa layan bangunan. Gedebage yang terletak di Cekungan Bandung merupakan kawasan yang terkenal dengan kedalaman tanah *lacustrine*-nya. Banyak bangunan di kawasan ini mengalami kerusakan akibat dari *secondary settlement*, salah satunya adalah proyek Stadion di Gedebage. Perbaikan tanah sudah dilakukan dengan menggunakan metode *PVD* di saat pematangan lahan. Hal tersebut menjadi sebuah pertanyaan mengenai keefektifan penggunaan *PVD* dalam mengatasi permasalahan *settlement* di tanah *lacustrine*. Hasil penelitian dari 2 lokasi proyek yang berada di tanah lacustrine menunjukkan bahwa *PVD* efektif mempercepat waktu konsolidasi, namun tidak berpengaruh terhadap fenomena *creep*. Penelitian dilanjutkan dengan melakukan *back-analysis* menggunakan program berbasis Metode Elemen Hingga untuk mengevaluasi hasil perbaikan tanah dalam mengatasi permasalahan *secondary settlement* di tanah *lacustrine*.

Kata Kunci: *lacustrine*, *PVD*, *secondary settlement*.

**EVALUATION OF SOIL IMPROVEMENT
USING PRELOADING AND PVD
ON LAKE DEPOSIT (LACUSTRINE SOILS) IN BANDUNG
BASED ON INSTRUMENTATION DATA**

**Raymond Deprista
NPM: 6101901151**

**Advisor: Prof. Paulus Pramono Rahardjo, Ir., MSCE., Ph.D.
Co-Advisor: Ir. Stefanus Diaz Alvi, S.T. M.T.**

**PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
BACHELOR PROGRAM**

(Accredited by SK BAN-PT Number: 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)

**BANDUNG
JULY 2023**

ABSTRACT

Lacustrine soil is a type of soil that is formed from sediment deposits and contains organic matter. Lacustrine soils are characterized by having a plastic limit, liquid limit, water content, void ratio, and high compressibility coefficient. Thus, this creates *primary consolidation* problems during the service life of the building. Gedebage, which is in the Bandung Basin, is an area famous for its lacustrine soil depth. Some buildings, stadiums, and infrastructures in this area are damaged due to settlement issues including primary consolidation and soil creep. Soil improvement has been carried out using PVD during the construction period. This raises a question regarding the effectiveness of PVD in overcoming secondary settlement in lacustrine soils. The results from 2 projects located on lacustrine soils show that PVD is effective in accelerating consolidation time but has no effect on creep phenomena. In this study, a back-analysis will be carried out based on instrumentation data using a Finite Element Method program to assess the effectiveness of PVD in overcoming secondary settlement problems in lacustrine soils.

Keywords: *lacustrine, PVD, secondary settlement.*

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan ke Tuhan Yang Maha Esa, karena dengan berkat, rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini yang berjudul “EVALUASI PENGGUNAAN *PVD* PADA ENDAPAN DANAU (*LACUSTRINE*) DI BANDUNG BERDASARKAN DATA INSTRUMENTASI”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana di Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan, Bandung.

Penulisan skripsi ini tidak mungkin terwujud tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Paulus Pramono Rahardjo, Ir., MSCE., Ph.D., selaku dosen pembimbing, atas bimbingan, arahan, dan dorongan yang diberikan selama proses penulisan ini. Bimbingan dan masukan yang berharga telah memberikan pengaruh besar terhadap perbaikan maupun pengembangan skripsi ini.
2. Bapak Ir. Stefanus Diaz Alvi, S.T. M.T., selaku ko-pembimbing, atas bimbingan, saran, masukan, arahan, dan juga dorongan yang selalu diberikan dari awal proses penulisan skripsi sampai selesai. Beliau juga selalu menyempatkan waktu untuk membimbing penulis di selang waktunya yang sangat sibuk.
3. Bapak Aswin Lim, Ph.D., Bapak Ignatius Tommy Pratama, S.T. M.S., Ibu Siska Rustiani, Ir., Ibu Anastasia Sri Lestari, Ir., M.T., M.T., Bapak Budijanto Widjaja, Ph.D., Bapak Eric Ng Yin Kuan, Ir., M.T., Bapak Soerjadedi Sastraatmadja, Ir., Bapak Aflizal Arafianto, S.T., M.T., Bapak Ryan Alexander Lyman, S.T., M.T., Bapak Martin Wijaya, Ph.D., Bapak Andra Andriana, S.T., Bapak Yudi selaku para dosen Pusat Studi Geoteknik Universitas yang telah memberikan masukan serta saran dan membantu dengan membimbing saya selama menempuh Pendidikan di Universitas Katolik Parahyangan.

4. Seluruh dosen maupun asisten dosen Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan yang telah membimbing penulis selama menempuh Pendidikan di Universitas Katolik Parahyangan.
5. Yockie Sunaryo, Melani, Ricky Noprianto, dan Ricko Noperiza, selaku keluarga yang selalu memberikan semangat, dukungan moral dan juga waktu serta doa kepada penulis selama masa pembuatan skripsi ini hingga selesai.
6. Devina Beatrice, selaku kekasih penulis yang selalu memberikan semangat dan dorongan dengan cara memberikan teguran keras agar penulis tidak lupa untuk menyelesaikan skripsinya.
7. Ravi Anthony, dan Atharayhan anandito, selaku sahabat penulis yang selalu mendengarkan dan memberikan saran terhadap keluh kesah penulis di waktu perkuliahan hingga akhir penyusunan skripsi selesai.
8. Reypurdys, Kenneth, Kimsui, Eric, Abang, Hendri dan seluruh anggota Bokarang selaku sahabat penulis yang selalu menghibur disaat penulis sedang kehilangan motivasi untuk terus berjuang.
9. Seluruh teman-teman dari Angkatan 2019, kakak tingkat, adik tingkat, dan pihak-pihak lain yang penulis tidak cukup untuk disebutkan karena telah membantu penulis selama menempuh studinya di Universitas Katolik Parahyangan
10. Seluruh Civitas Akademika Universitas Katolik Parahyangan, khususnya Program Studi Teknik Sipil

Bandung, 29 Juni 2023



Raymond Deprista

6101901151

DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
PRAKATA	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR NOTASI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB 1 Pendahuluan	1-1
1.1 Latar Belakang	1-1
1.2 Inti Permasalahan	1-2
1.3 Tujuan Penulisan	1-3
1.4 Ruang Lingkup Penelitian.....	1-3
1.5 Metodologi Penelitian	1-3
1.6 Diagram Alir Penelitian	1-5
BAB 2 LANDASAN TEORI	2-1
2.1 Karakteristik Tanah Lacustrine	2-1
2.2 Penyelidikan Tanah	2-4
2.2.1 SPT.....	2-4
2.2.1.1 Kuat Geser Tanah	2-6
2.2.1.2 Modulus Tanah	2-7
2.2.2 CPTu	2-7
2.2.2.1 Interpretasi nilai OCR Berdasarkan Nilai B_q dan B_q^*	2-9
2.2.2.2 Kuat Geser Tanah Non-Kohesif	2-10

2.2.2.3	Kuat Geser Pada Tanah Kohesif	2-10
2.2.2.4	Permeabilitas Tanah	2-10
2.2.2.5	Kompresibilitas Tanah	2-11
2.3	<i>Settlement</i>	2-12
2.3.1	Penurunan Konsolidasi	2-12
2.3.2	<i>Secondary Settlement (creep)</i>	2-14
2.4	<i>PVD (Prefabricated Vertical Drain)</i>	2-16
2.4.1	Derajat Konsolidasi.....	2-17
2.4.2	Penentuan nilai U_v dan U_h	2-17
2.4.3	Penentuan Nilai F_n , F_s , dan F_r	2-18
2.4.4	Penentuan <i>PVD Influence Zone Diameter</i>	2-20
2.4.5	Penentuan Koefisien Konsolidasi	2-21
2.5	<i>Vacuum Consolidation Method</i>	2-22
2.6	Instrumen Monitoring	2-24
2.6.1	Inklinometer	2-24
2.6.2	<i>Settlement Plate</i>	2-25
2.6.3	Piezometer	2-26
2.6.4	<i>Layer Settlement</i>	2-27
2.6.5	Sumur Pantau	2-27
2.7	Konsep Metode Elemen Hingga	2-28
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		3-1
3.1.	Interpretasi Data Instrumentasi Monitoring	3-1
3.1.1.	Interpretasi <i>Settlement Plate</i> Metode Asaoka	3-1
3.1.2.	Interpretasi <i>Settlement Plate</i> Metode $1t$	3-2
3.1.3.	Interpretasi <i>Settlement Plate</i> Metode $1\sqrt{t}$	3-3
3.1.4.	Interpretasi <i>Settlement Plate</i> Metode Hiperbola	3-4

3.2.	Analisis dengan PLAXIS 2D	3-4
3.2.1.	Penentuan <i>Borehole</i>	3-5
3.2.2.	Pemodelan Tanah.....	3-6
3.2.3.	Pembebanan	3-7
3.2.4.	Pembuatan <i>Vertical Drain</i>	3-7
3.2.5.	Diskretisasi dan Penentuan Titik Nodal.....	3-8
3.2.6.	Hasil Analisis	3-9
BAB 4 Analisis Data.....		4-1
4.1.	Studi Kasus Stadion di Bandung.....	4-1
4.1.1.	Lokasi Proyek	4-1
4.1.2.	Data Geologi dan Data Penyelidikan Tanah.....	4-1
4.1.3.	Interpretasi Pelapisan Tanah dan Parameter Tanah.....	4-4
4.1.4.	Informasi Pematangan Lahan	4-5
4.1.5.	Interpretasi Data Instrumentasi selama Pematangan Lahan	4-6
4.1.5.1.	Interpretasi <i>Settlement Plate</i> Metode Asaoka	4-7
4.1.5.2.	Interpretasi <i>Settlement Plate</i> Metode 1T.....	4-10
4.1.5.3.	Interpretasi <i>Settlement Plate</i> Metode $1\sqrt{T}$	4-11
4.1.5.4.	Interpretasi <i>Settlement Plate</i> Metode Hiperbola.....	4-12
4.1.5.5.	Rekapitulasi Analisis	4-16
4.1.6.	Back-Analysis Pematangan Lahan dengan FEM.....	4-16
4.1.7.	Interpretasi Hasil <i>Back-Analysis</i>	4-18
4.1.8.	Studi Alternatif Jenis Perbaikan Tanah Lainnya	4-21
4.1.8.1.	Preloading	4-21
4.1.8.2.	Vacuum Consolidation + PVD	4-23
4.1.9.	Pengaruh Permeabilitas terhadap penurunan pada Lapisan <i>Soft Soil Creep</i>	4-25

4.2.	Studi Kasus Proyek Bangunan Riset di Gedebage.....	4-27
4.2.1.	Lokasi Proyek	4-27
4.2.2.	Data Geologi dan Data Parameter Tanah	4-28
4.2.3.	Interpretasi Pelapisan Tanah dan Parameter Tanah.....	4-31
4.2.4.	Informasi Pematangan Lahan	4-32
4.2.5.	Interpretasi Data Instrumentasi selama Pematangan Lahan	4-34
4.2.5.1.	Interpretasi Settlement Plate Metode Asaoka.....	4-35
4.2.5.2.	Interpretasi Settlement Plate Metode 1T	4-37
4.2.5.3.	Interpretasi Settlement Plate Metode $1\sqrt{T}$	4-39
4.2.5.4.	Interpretasi Settlement Plate Metode Hiperbola.....	4-40
4.2.5.5.	Rekapitulasi Analisis.....	4-43
4.2.6.	Back-Analysis Pematangan Lahan dengan FEM.....	4-44
4.2.7.	Interpretasi Hasil Analisis.....	4-45
	BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	5-1
	DAFTAR PUSTAKA	xviii
	LAMPIRAN 1.....	L1-1

DAFTAR NOTASI

A	: Lebar <i>PVD</i> (2-3mm)
A	: Luas Jangkauan Satu <i>PVD</i>
A_s	: Luas Ekuivalen Silinder
b	: Ketebalan <i>PVD</i> (100mm)
B_q	: <i>Pore Pressure Ratio</i>
C_α	: Koefisien Penurunan Sekunder
C_c	: Indeks Kompresi <i>Compression</i>
c_h	: Koefisien Konsolidasi Horizontal
C_r	: Indeks Kompresi <i>Rebound</i>
C_v	: Koefisien Konsolidasi akibat <i>Vertical Drainage</i>
c_v	: Koefisien Konsolidasi Vertikal
D	: Diameter Zona Pengaruh <i>PVD</i>
d_s	: <i>Diameter of Disturbed (Smear) Zone</i>
d_w	: <i>Equivalent Well Diameter</i>
e_0	: Angka Pori
E_f	: Efisiensi Terukur
ER	: <i>Energy Ratio</i>
F_s	: <i>Sleeve Resistance</i>
F_n	: <i>PVD Spacing Factor</i>
F_r	: <i>PVD Resistance Factor</i>
F_s	: <i>Smear Effect Factor</i>
H	: Tebal Lapisan Tanah (m)
H_d	: Panjang Lintasan Air (m)
I_c	: <i>Soil Behaviour Type Index</i>
kh	: Koefisien Permeabilitas <i>Horizontal</i> (m/day)
kv	: Koefisien Permeabilitas <i>Vertikal</i> (m/day)
L	: Panjang Drainase <i>PVD</i> (m)
m_v	: Koefisien Kemampuan Volume
N_{60}	: Efisiensi 60%
N_m	: Nilai N Terukur di Lapangan

N_{kt}	: <i>Cone Factor</i>
OCR	: <i>Over Consolidation Ratio</i>
P_0'	: Tegangan Vertikal Efektif (kN/m^2)
P_c	: Tegangan Prakonsolidasi (kN/m^2)
qc	: <i>Cone Resistance</i> (kN/m^2)
qn	: <i>Net Cone Resistance</i> (kN/m^2)
qt	: <i>Corrected Cone Resistance</i> (kN/m^2)
q_w	: Kapasitas Debit PVD
Fr	: <i>Friction Ratio</i>
S	: Jarak Pemasangan PVD
S_u	: <i>Undrained Shear Strength</i> (kN/m^2)
t_c	: Waktu Konsolidasi
T_h	: <i>Time Factor</i> untuk <i>Horizontal Drainage</i>
T_v	: <i>Time Factor</i> untuk <i>Vertical Drainage</i>
U_h	: Derajat Konsolidasi Akibat <i>Horizontal Drainage/Radial Drainage</i>
U_v	: Derajat Konsolidasi Akibat <i>Vertical Drainage</i>
u_0	: Tegangan Air Pori Hidrostatik (kN/m^2)
σ_v	: Tegangan Vertikal (kN/m^2)
σ_v'	: Tegangan Vertikal Efektif (kN/m^2)
Δe	: Perubahan Angka Pori
ΔP	: Penambahan Tegangan (kN/m^2)
Δu	: Perubahan Tekanan Air Pori (kN/m^2)
κ^*	: Fungsi Koefisien <i>Swelling</i> (C_s)
λ^*	: Fungsi Koefisien Kompresi (C_c)
μ^*	: Fungsi Koefisien Penurunan Sekunder C_α
γ	: Berat Isi Tanah (kN/m^2)
γ_{sat}	: Berat Isi Tanah Jenuh (kN/m^2)
γ_{unsat}	: Berat Isi Tanah Tidak Jenuh (kN/m^2)
γ_w	: Berat Isi Air (kN/m^2)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Peta Persebaran Tanah Lunak Bandung.....	1–2
Gambar 2.1 Distribusi Kadar Air terhadap kedalaman (Desiani & Rahardjo, 2017)	2–2
Gambar 2.2 Distribusi Angka Pori terhadap Kedalaman (Desiani & Rahardjo, 2017)	2–2
Gambar 2.3 Distribusi <i>Liquid Limit</i> terhadap Kedalaman (Desiani & Rahardjo, 2017)	2–3
Gambar 2.4 Distribusi <i>Plastic Limit</i> terhadap Kedalaman (Desiani & Rahardjo, 2017)	2–3
Gambar 2.5 Klasifikasi USCS (Desiani & Rahardjo, 2017).....	2–4
Gambar 2.6 Skema Urutan <i>Standard Penetration Test</i> (SNI 4153:2008)	2–5
Gambar 2.7 Hubungan nilai N-SPT terhadap S_u (Terzaghi & Peck, 1967; Sowers, 1979)	2–6
Gambar 2.8 <i>SBT Chart</i> (Robertson, 2010).....	2–8
Gambar 2.9 Bentuk PVD	2–16
Gambar 2.10 Prinsip Kerja PVD.....	2–17
Gambar 2.11 <i>Smear Zone</i>	2–19
Gambar 2.12 Permeability ratio of disturbed zone	2–19
Gambar 2.13 Potensi Keuntungan menggunakan <i>PVD</i>	2–20
Gambar 2.14 Konfigurasi Pola Pemasangan <i>PVD</i>	2–21
Gambar 2.15 Detail <i>Vacuum Pump</i> (PT Geotekindo).....	2–22
Gambar 2.16 Instrumen Monitoring Inklinometer.....	2–25
Gambar 2.17 Instrumen Monitoring <i>Settlement Plate</i>	2–26
Gambar 2.18 Instrumen Monitoring Piezometer	2–26
Gambar 2.19 Instrumen Monitoring <i>Layer Settlement</i>	2–27
Gambar 2.20 Instrumen Monitoring Sumur Pantau.....	2–28
Gambar 2.21 Perhitungan Luas Lingkaran dengan Pendekatan Elemen Segitiga dari Dalam Lingkaran	2–28
Gambar 2.22 Model Axisymmetry	2–30
Gambar 2.23 Model <i>Plane Strain</i>	2–31

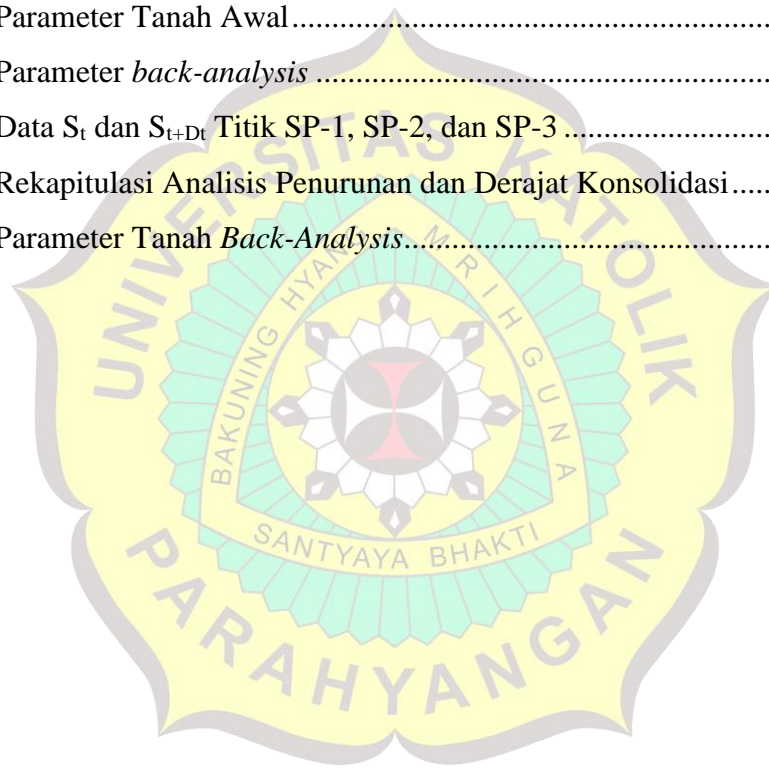
Gambar 2.24 Model <i>Plane Stress</i>	2–31
Gambar 3.1 Analisis Settlement dengan Metode Asaoka (Alvi & Rahardjo, 2022)	3–1
Gambar 3.2 Analisis Settlement dengan metode $1t$ (Tamsir, Arafianto, & Rahardjo, 2020)	3–2
Gambar 3.3 Analisis Settlement dengan Metode $1\sqrt{t}$	3–3
Gambar 3.4 Analisis Settlement dengan Metode Hiperbola	3–4
Gambar 3.5 <i>User Interface</i> PLAXIS 2D	3–5
Gambar 3.6 Penentuan Titik Borehole.....	3–5
Gambar 3.7 Pembuatan Stratifikasi Tanah dan Input Material.....	3–6
Gambar 3.8 Tampilan <i>Input Parameter</i> Material Tanah	3–6
Gambar 3.9 Tampilan Fitur Pembuatan <i>Vertical Drain</i>	3–7
Gambar 3.9 Pemodelan <i>Vertical Drain</i>	3–8
Gambar 3.11 Tampilan Pilihan <i>Mesh</i>	3–8
Gambar 3.12 Distribusi Elemen Model <i>Super Fine Mesh</i>	3–9
Gambar 3.13 Penentuan Titik Nodal.....	3–9
Gambar 3.14 Hasil <i>Displacement</i> Arah Y	3–9
Gambar 3.15 Kurva <i>Settlement vs Time</i>	3–10
Gambar 4.1 Lokasi Uji Penyelidikan Tanah di Stadion.....	4–2
Gambar 4.2 Uji CPTu-01	4–2
Gambar 4.3 Uji SPT BH-01	4–3
Gambar 4.4 Plotting Data.....	4–3
Gambar 4.5 Sketsa Stratifikasi Tanah Potongan A-A'	4–4
Gambar 4.6 Grafik Tinggi Timbunan dan Penurunan	4–5
Gambar 4.7 Grafik Penurunan terhadap Waktu Titik H06, H10, dan H14.....	4–6
Gambar 4.8 Grafik Penurunan terhadap Log Waktu Titik H06, H10, H14.....	4–6
Gambar 4.9 Analisis Asaoka Titik H06	4–8
Gambar 4.10 Analisis Asaoka Titik H10	4–8
Gambar 4.11 Analisis Asaoka Titik H14	4–9
Gambar 4.12 Analisis $1/T$ Titik H06	4–10
Gambar 4.13 Analisis $1/T$ Titik H10	4–10
Gambar 4.14 Analisis $1/T$ Titik H14	4–11

Gambar 4.15 Analisis $1/\sqrt{T}$ Titik H06	4-11
Gambar 4.16 Analisis $1/\sqrt{T}$ Titik H10	4-12
Gambar 4.17 Analisis $1/\sqrt{T}$ Titik H14	4-12
Gambar 4.18 Analisis Hiperbola Titik H06	4-13
Gambar 4.19 Analisis Hiperbola Titik H10	4-13
Gambar 4.20 Analisis Hiperbola Titik H14	4-14
Gambar 4.21 Ekstrapolasi Titik H06	4-14
Gambar 4.22 Ekstrapolasi Titik H10	4-15
Gambar 4.23 Ekstrapolasi Titik H14	4-15
Gambar 4.24 Pemodelan Geometri dalam <i>Back-Analysis</i>	4-17
Gambar 4.25 Tahapan Konstruksi untuk Proses <i>Back-Analysis</i>	4-18
Gambar 4.26 Hasil <i>Displacement</i> Arah Vertikal	4-19
Gambar 4.27 Grafik <i>Time vs Settlement</i>	4-19
Gambar 4.28 <i>Plotting</i> Kurva Hasil Analisis vs <i>Settlement Plate</i>	4-20
Gambar 4.29 Hasil <i>Displacement</i> Arah Vertikal	4-21
Gambar 4.30 Grafik <i>Time vs Settlement</i>	4-22
Gambar 4.31 <i>Shifting</i> Kurva Hasil Analisis vs <i>Settlement Plate</i>	4-22
Gambar 4.32 Hasil <i>Displacement</i> Arah Vertikal	4-23
Gambar 4.33 Grafik <i>Time vs Settlement</i>	4-24
Gambar 4.34 <i>Plottingg</i> Kurva Hasil Analisis vs <i>Settlement Plate</i>	4-24
Gambar 4.35 Kurva <i>Settlement</i> vs Kedalaman dengan Permeabilitas 10^{-4} <i>CmSecond</i>	4-25
Gambar 4.36 Kurva <i>Settlement</i> vs Kedalaman dengan Permeabilitas 10^{-6} <i>CmSecond</i>	4-25
Gambar 4.37 Kurva <i>Settlement</i> vs Kedalaman dengan Permeabilitas 10^{-8} <i>CmSecond</i>	4-26
Gambar 4.38 Lokasi Proyek Bangunan Riset di Gedebage (Sumber: Google Earth)	4-27
Gambar 4.39 Lokasi Penyelidikan Tanah	4-28
Gambar 4.40 Hasil Uji <i>Index Properties</i> Tanah.....	4-29
Gambar 4.41 <i>Cassagrande Platicity Chart</i>	4-30
Gambar 4.42 Nilai Kuat Geser Tanah Kohesif	4-30

Gambar 4.43 Nilai Kompresibilitas Tanah	4-31
Gambar 4.44 Stratifikasi Tanah Potongan A-A	4-32
Gambar 4.45 Stratifikasi Tanah Potongan B-B.....	4-32
Gambar 4.46 Grafik Tinggi Timbunan dan <i>Settlement Plate</i>	4-33
Gambar 4.47 Grafik Penurunan terhadap Waktu Titik SP-1, SP-2, dan SP-3.	4-34
Gambar 4.48 Grafik Penurunan terhadap log Waktu Titik SP-1, SP-2, dan SP-3...	4-35
Gambar 4.49 Analisis Asaoka Titik SP-01	4-36
Gambar 4.50 Analisis Asaoka Titik SP-02	4-36
Gambar 4.51 Analisis Asaoka Titik SP-03	4-37
Gambar 4.52 Analisis Metode 1/T Titik SP-01	4-38
Gambar 4.53 Analisis Metode 1/T Titik SP-02	4-38
Gambar 4.54 Analisis Metode 1/T Titik SP-03	4-39
Gambar 4.55 Analisis Metode 1/ \sqrt{T} Titik SP-01	4-39
Gambar 4.56 Analisis Metode 1/ \sqrt{T} Titik SP-02	4-40
Gambar 4.57 Analisis Metode 1/ \sqrt{T} Titik SP-03	4-40
Gambar 4.58 Analisis Metode Hiperbola Titik SP-01	4-41
Gambar 4.59 Analisis Metode Hiperbola Titik SP-02	4-41
Gambar 4.60 Analisis Metode Hiperbola Titik SP-03	4-42
Gambar 4.61 Ekstrapolasi Titik SP-01	4-42
Gambar 4.62 Ekstrapolasi Titik SP-02	4-43
Gambar 4.63 Ekstrapolasi Titik SP-03	4-43
Gambar 4.64 Pemodelan Geometri dalam <i>Back-Analysis</i>	4-45
Gambar 4.65 Tahapan Konstruksi untuk Proses <i>Back-Analysis</i>	4-45
Gambar 4.66 Hasil <i>Displacement</i> Arah Vertikal	4-46
Gambar 4.67 Grafik Time vs Settlement	4-46
Gambar 4.68 <i>Plotting</i> Kurva Hasil Analisis vs <i>Settlement Plate</i>	4-47
Gambar 4.69 <i>Plotting</i> Kurva Hasil Back-Analysis dengan Kurva Aktual <i>Settlement Plate</i>	4-47

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai Modulus Tanah (Briaud, 1992).....	2-7
Tabel 2.2 Klasifikasi Zona SBT (Robertson, 2010).....	2-8
Tabel 2.3 Estimasi Modulus Terkekang (Mitchell dan Gardner, 1975)	2-11
.....	2-11
Tabel 2.4 Nilai $C\alpha Cc$ terhadap berbagai jenis material tanah.....	2-15
Tabel 2.5 Ratio of C_h/C_v	2-21
Tabel 4.1 Data S_t dan S_{t+D_t} Titik H06, H10, H14.....	4-7
Tabel 4.2 Rekapitulasi Analisis Penurunan dan Derajat Konsolidasi.....	4-16
Tabel 4.3 Parameter Tanah Awal.....	4-16
Tabel 4.4 Parameter <i>back-analysis</i>	4-18
Tabel 4.5 Data S_t dan S_{t+D_t} Titik SP-1, SP-2, dan SP-3	4-36
Tabel 4.6 Rekapitulasi Analisis Penurunan dan Derajat Konsolidasi.....	4-44
Tabel 4.7 Parameter Tanah <i>Back-Analysis</i>	4-44



DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1.....	L1-1
LAMPIRAN 2.....	L2-1
LAMPIRAN 3.....	L3-1
LAMPIRAN 4.....	L4-1
LAMPIRAN 5.....	L5-1
LAMPIRAN 6.....	L6-1
LAMPIRAN 7.....	L7-1
LAMPIRAN 8.....	L8-1
LAMPIRAN 9.....	L9-1
LAMPIRAN 10.....	L10-1
LAMPIRAN 11.....	L11-1
LAMPIRAN 12.....	L12-1
LAMPIRAN 13.....	L13-1
LAMPIRAN 14.....	L14-1
LAMPIRAN 15.....	L15-1
LAMPIRAN 16.....	L16-1
LAMPIRAN 17.....	L17-1
LAMPIRAN 18.....	L18-1
LAMPIRAN 19.....	L19-1
LAMPIRAN 20.....	L20-1
LAMPIRAN 21.....	L21-1
LAMPIRAN 22.....	L22-1
LAMPIRAN 23.....	L23-1
LAMPIRAN 24.....	L24-1
LAMPIRAN 25.....	L25-1

BAB 1

Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Tanah lunak memiliki beberapa karakteristik, yaitu kadar air dan angka pori yang tinggi, kuat geser tanah yang rendah, serta kemampatan yang tinggi. Selain itu, permasalahan tanah lunak jenuh air yang sering dihadapi adalah penurunan konsolidasi yang besar dalam jangka waktu yang lama, sehingga berpotensi menyebabkan kerusakan dan memerlukan proses perbaikan secara terus-menerus.

Penelitian yang dilakukan oleh Desiani dan Rahardjo (2017) menyebutkan bahwa tanah lunak di Bandung merupakan daerah endapan air tawar yang terbentuk dari vulkanik andesit. Namun, dalam beberapa kasus seperti tanah yang berada di cekungan Bandung Selatan merupakan tanah bekas endapan danau purba atau biasa dikenal dengan tanah *lacustrine*, dimana angka porinya sangat tinggi (berkisar 4-8) dan memiliki *creep* yang sangat besar (Rahardjo, 2021). Tanah Lacustrine merupakan tanah lunak yang cukup problematik karena sifat dari tanah tersebut berbeda dari tanah lunak pada umumnya. Sifat yang berbeda tersebut menjadi sebuah pertanyaan karena tanah *lacustrine* terutama di daerah Bandung Selatan memiliki *Liquid Limit* antara 60%-300% dan *Plastic Limit* antara 25%-200% (Desiani & Rahardjo, 2017).

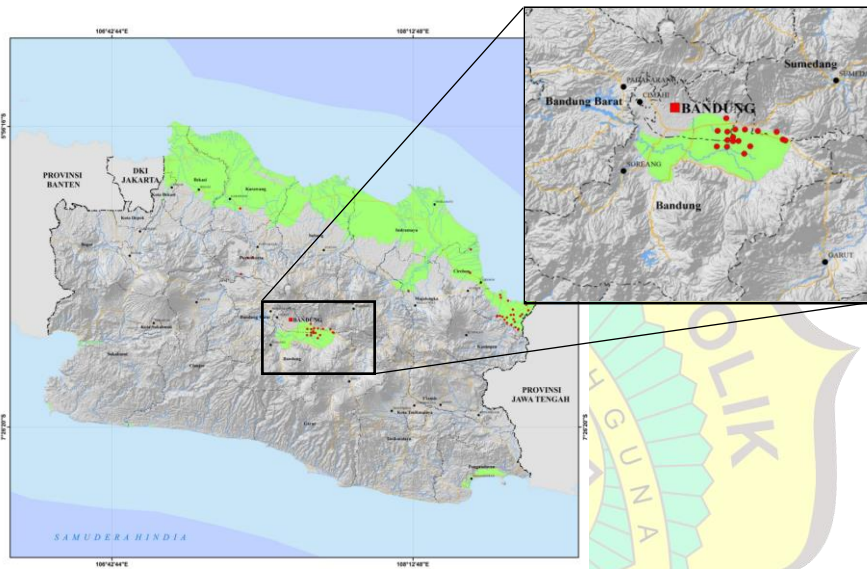
Pembuatan suatu infrastruktur di atas tanah ini merupakan sebuah tantangan yang berat. Hal tersebut disebabkan karena saat ini penggunaan kurva penurunan terhadap waktu untuk mengestimasi penurunan masih belum memperhitungkan besarnya *secondary settlement*. Sehingga, tercipta sebuah miskonsepsi yang cukup krusial dalam dunia konstruksi. Menurut (Alvi & Rahardjo, 2022), interpretasi waktu dimulainya *creep* atau *secondary settlement* sangat penting karena *settlement* yang dihasilkan akan menjadi besar terutama pada masa layan bangunan. Pengaruhnya pada masa layan bangunan jika terdapat potensi *creep* akan menghasilkan *differential settlement* yang besar secara signifikan (Mendoza, Caicedo, & Duque, 2022).

Preloading tanah lunak dengan *PVD (Prefabricated Vertical Drain)* adalah salah satu metode perbaikan tanah paling populer yang digunakan untuk

meningkatkan kekuatan geser tanah lunak dan mempercepat proses konsolidasi.

1.2 Inti Permasalahan

Studi ini dilakukan pada proyek bangunan stadion dan bangunan riset yang berlokasi di Bandung pada tanah lacustrine. Berdasarkan peta persebaran tanah lunak tahun 2019 yang dikeluarkan oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Bandung merupakan salah satu kawasan yang didominasi oleh tanah lunak (Wardoyo & dkk, 2019).



Gambar 1.1 Peta Persebaran Tanah Lunak Bandung

Maka dari itu, dilakukan perbaikan tanah dilakukan pada seluruh area stadion dan bangunan riset dengan menggunakan *PVD* untuk mengatasi permasalahan tanah lunak terutama konsolidasi primer. Bangunan stadion juga dibangun di atas pondasi tiang pancang. Pada area di luar bangunan stadion, masih terjadi penurunan meskipun perbaikan tanah sudah dilakukan.

Berbagai kerusakan juga terjadi, mulai dari jalan akses kendaraan yang bergelombang, banyak retakan pada perkerasan jalan, trotoar dan tangga akses yang miring pada perimeter luar bangunan. Di dalam bangunan sendiri terdeteksi permasalahan akibat *differential settlement* yang berlebih, seperti putusnya rangka batang pada atap, retaknya struktur tangga, retakan diagonal pada dinding, hingga kemiringan pada kusen pintu. Berdasarkan laporan kunjungan lapangan, diduga

terjadi penurunan tambahan akibat dari *creep* atau biasa dikenal dengan *secondary settlement*. *Creep* yang terjadi memberikan dampak penurunan tanah yang cukup besar yang mengakibatkan kerusakan-kerusakan baik itu di dalam maupun di luar bangunan.

1.3 Tujuan Penulisan

Hal tersebut tentu menjadi sebuah pertanyaan dalam melakukan metode perbaikan tanah *PVD* terutama dalam hal keefektifan dari metode tersebut. Sehingga, dalam melakukan penelitian ini ditentukan tujuan sebagai berikut.

1. Memperoleh kinerja *PVD* dengan *preloading* pada tanah *lacustrine* di Bandung berdasarkan data instrumentasi.
2. Memperoleh penurunan *creep* jangka panjang setelah perbaikan tanah melalui proses *back-analyses* dengan *2D Finite Element Method* menggunakan *software* berbasis MEH.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Berikut beberapa ruang lingkup masalah dalam penelitian ini

1. Kondisi tanah merupakan tanah *lacustrine* di Bandung;
2. Jenis perbaikan tanah yang dilakukan adalah *PVD* dan *preloading*;
3. Data yang dipakai adalah data penyelidikan tanah dan instrumentasi monitoring;
4. Instrumentasi monitoring yang digunakan dalam penelitian ini adalah *CPTu* dan *Settlement Plate*;
5. Parameter efektivitas adalah waktu untuk mencapai derajat konsolidasi 90% sesuai dengan target;
6. *Back-analyses* dilakukan dengan simulasi numerik menggunakan *software* berbasis MEH.

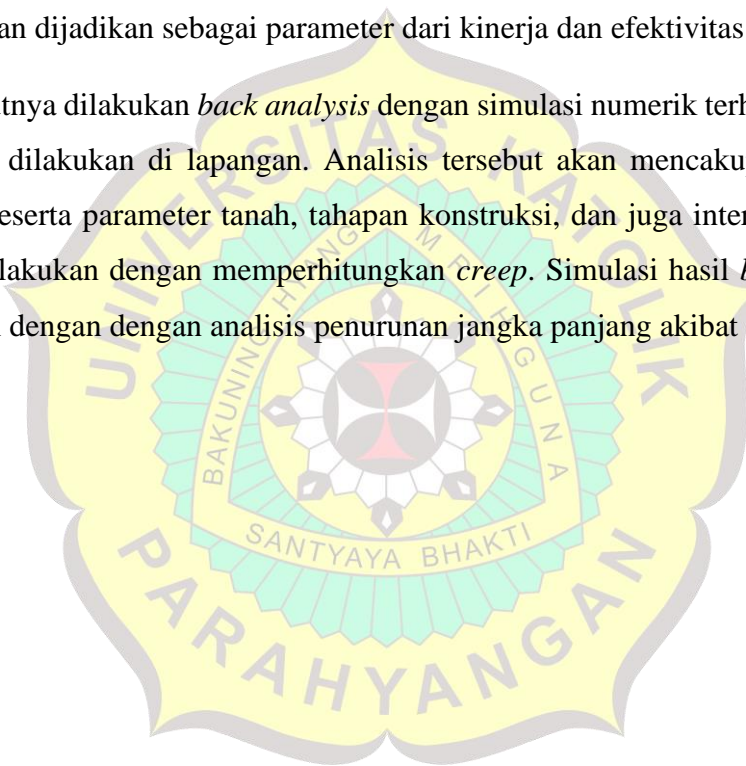
1.5 Metodologi Penelitian

Pada penelitian ini, akan dilakukan studi literatur yang dijadikan sebagai acuan teoritis. Studi literatur mencakup karakteristik tanah *lacustrine* di Bandung, penyelidikan tanah, metode perbaikan tanah dengan *PVD*, monitoring instrumentasi dan juga pemahaman Metode Elemen Hingga / *Finite Element Method*.

Setelah dilakukan studi literatur, pengumpulan data akan dilakukan untuk kepentingan evaluasi dan analisis. Data-data tersebut mencakup: data hasil penyelidikan tanah di lokasi tinjauan, riwayat konstruksi perbaikan tanah, spesifikasi material *PVD*, dan data hasil pembacaan instrumentasi monitoring lapangan.

Berdasarkan data hasil penyelidikan tanah, dilakukan interpretasi pelapisan dan parameter tanah. Interpretasi yang dihasilkan dari data instrumen berupa interpretasi derajat konsolidasi dari pembacaan *settlement plate* dan *CPTu*, peningkatan kuat geser tanah, kompresibilitas tanah, dan *residual settlement*. Hal tersebut akan dijadikan sebagai parameter dari kinerja dan efektivitas *PVD*.

Selanjutnya dilakukan *back analysis* dengan simulasi numerik terhadap metode *PVD* yang dilakukan di lapangan. Analisis tersebut akan mencakup pemodelan geometri beserta parameter tanah, tahapan konstruksi, dan juga interpretasi hasil. Analisis dilakukan dengan memperhitungkan *creep*. Simulasi hasil *back analysis* dilanjutkan dengan analisis penurunan jangka panjang akibat *creep*.



1.6 Diagram Alir Penelitian

