

**SKRIPSI**

**EVALUASI PERBAIKAN TANAH LUNAK DENGAN  
*VACUUM CONSOLIDATION* BERDASARKAN UJI  
CPTU**



**YOSUA FIGO SAMPUTRA  
NPM : 6101901130**

**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 LAM Teknik No.0216/SK/LAM Teknik/AS/VIII/2023)  
BANDUNG  
JANUARI 2024**

**SKRIPSI**

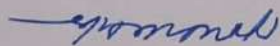
**EVALUASI PERBAIKAN TANAH LUNAK DENGAN  
*VACUUM CONSOLIDATION* BERDASARKAN UJI  
CPTU**



**YOSUA FIGO SAMPUTRA  
NPM : 6101901130**

**BANDUNG, 26 JANUARI 2024**

**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 LAM Teknik No.0216/SK/LAM Teknik/AS/VIII/2023)  
BANDUNG  
JANUARI 2024**

**SKRIPSI**

**EVALUASI PERBAIKAN TANAH LUNAK DENGAN  
VACUUM CONSOLIDATION BERDASARKAN UJI  
CPTU**



**YOSUA FIGO SAMPUTRA  
NPM : 6101901130**

**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 LAM Teknik No.0216/SK/LAM Teknik/AS/VIII/2023)  
BANDUNG  
JANUARI 2024**

## LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : YOSUA FIGO SAMPUTRA

Tempat, tanggal lahir : Bandung, 1 Maret 2001

NPM : 6101901130

Judul skripsi : **EVALUASI PERBAIKAN TANAH LUNAK**

**DENGAN VACUUM CONSOLIDATION**

**BERDASARKAN UJI CPTU**

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.

Bandung, 26 Januari 2024



Yosua Figo Samputra

# EVALUASI PERBAIKAN TANAH LUNAK DENGAN *VACUUM CONSOLIDATION* BERDASARKAN UJI CPTU

**YOSUA FIGO SAMPUTRA**  
**NPM: 6101901130**

**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 LAM Teknik No.0216/SK/LAM Teknik/AS/VIII/2023)  
**BANDUNG**  
**JANUARI 2024**

## **ABSTRAK**

Pembangunan diatas tanah lunak seringkali menghadapi tantangan geoteknik akibat proses konsolidasi tanah pada tanah lunak, yang mencakup *settlement*, daya dukung rendah, dan kekuatan geser tanah. Pendekatan yang dapat dilakukan untuk mengatasi masalah geoteknik ini adalah melalui perbaikan tanah menggunakan metode *vacuum preloading*. Efektivitas perbaikan tanah dengan vacuum preloading dapat dinilai melalui penggunaan alat uji CPTu sebelum dan setelah penerapan perbaikan tanah tersebut. Data yang dihasilkan dari pengujian ini kemudian digunakan untuk menganalisis kekuatan geser dan tegangan pra-konsolidasi tanah. Interpretasi data harian dari instrument *settlement plate* juga dapat digunakan untuk mengetahui derajat konsolidasi yang terjadi. Dilakukan analisis parameter tanah hasil dari instrument uji CPTu setelah perbaikan tanah. Kemudian dilakukan analisis kekuatan geser tanah berdasarkan data CPTu melibatkan pendekatan melalui konsep tegangan efektif (Santoso & Rahardjo, 2016), pendekatan faktor tahanan konus, dan penilaian peningkatan kekuatan geser. Sementara itu, evaluasi tegangan pra-konsolidasi dilakukan dengan mempertimbangkan metode  $B_q$  vs OCR (Rahardjo et.al, 2016),  $B_q^*$  vs OCR (Setiawan & Rahardjo, 2017) dan konsep tegangan efektif (Santoso & Rahardjo, 2016) dan melakukan evaluasi. Uji *settlement plate* juga dilakukan untuk evaluasi derajat konsolidasi dari hasil instrument CPTu.

**Kata Kunci:** CPTu, Kekuatan Tanah, Konsolidasi, OCR, *Settlement Plate*.



# **EVALUATION OF SOFT SOIL IMPROVEMENT WITH VACUUM CONSOLIDATION BASED ON CPTU TEST**

**Yosua Figo Samputra**  
**NPM: 6101901130**

**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 LAM Teknik No.0216/SK/LAM Teknik/AS/VIII/2023)**  
**BANDUNG**  
**JANUARY 2024**

## **ABSTRACT**

Development on soft ground often faces geotechnical challenges due to soil consolidation processes in soft ground, including settlement, low bearing capacity, and soil shear strength. One approach to address these geotechnical issues is through soil improvement using vacuum preloading methods. The effectiveness of soil improvement with vacuum preloading can be assessed by using Cone Penetration Test with pore pressure measurement (CPTu) before and after the implementation of soil improvement. Data generated from these tests are then utilized to analyze soil shear strength and pre-consolidation stress. Daily data interpretation from settlement plate instruments can also be employed to determine the degree of consolidation that occurs. An analysis of soil parameters resulting from CPTu tests after soil improvement is conducted. Subsequently, an analysis of soil shear strength based on CPTu data involves approaches through effective stress concept (Santoso & Rahardjo, 2016), cone resistance factor methods, and an assessment of shear strength improvement. Meanwhile, the evaluation of pre-consolidation stress is carried out by considering the  $B_q$  vs OCR method (Rahardjo et al., 2016),  $B_q^*$  vs OCR (Setiawan & Rahardjo, 2017), and the effective stress concept (Santoso & Rahardjo, 2016), followed by an evaluation. Settlement plate tests are also performed to assess the degree of consolidation based on the CPTu instrument results.

Keywords: CPTu, Consolidation, OCR, Soil Strength, Settlement Plate.

## PRAKATA

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul Evaluasi Perbaikan Tanah Lunak Dengan *Vacuum Consolidation* Berdasarkan Uji CPTu. Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk kelulusan di tingkat Sarjana Program Studi Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan, dimana mata kuliah Skripsi merupakan mata kuliah yang wajib ditempuh dan merupakan salah satu mata kuliah yang menentukan kelulusan.

Dalam proses penulisan skripsi ini, penulis mendapatkan banyak saran, kritik, bantuan, serta bimbingan dari berbagai pihak sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan kerja praktek ini. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Ayah, Ibu dan segenap keluarga penulis yang selalu membiayai penulis dan mendukung penulis selama penulis hidup serta memfasilitasi penulis untuk kuliah di Unpar hingga penulis bisa menyelesaikan skripsi ini;
2. Bapak Prof. Paulus Pramono Rahardjo, Ir., MSCE., Ph.D selaku dosen pembimbing utama skripsi yang telah membimbing penulis dengan memberikan informasi, literatur, kritik dan saran selama penulis menyelesaikan skripsi ini;
3. Bapak Ir. Stefanus Diaz Alvi, selaku ko-pembimbing yang telah membimbing penulis dengan memberikan informasi, literatur, kritik dan saran selama penulis menyelesaikan skripsi ini;
4. Para Bapak dan Ibu Dosen yang selalu memberikan ilmu selama penulis kuliah di jurusan Teknik Sipil Unpar hingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini;
5. Vigilius Zemy, Javier Nathanael selaku teman seperjuangan skripsi yang telah banyak membantu penulis hingga skripsi ini selesai;
6. Andrian Wijaya, Charels Earthquake, Muhammad Althaf Vokal, Davaray, Muhammad Shidqi, Coky Dio yang telah banyak membantu penulis selama proses perkuliahan hingga mata kuliah skripsi bisa penulis ambil dan selesai;

7. Yohana Simarmata, Shellen, Astrid, Maria, Elsha, David, Athira, Boy, Daniel dan teman-teman dari Gereja Tiberias Indonesia cabang Bandung yang memberikan dukungan dan semangat selama penulis menyelesaikan skripsi ini;
8. Teman-teman teknik sipil angkatan 2019 Universitas Katolik Parahyangan;
9. Pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu-satu yang membantu penulis secara langsung maupun tidak langsung.

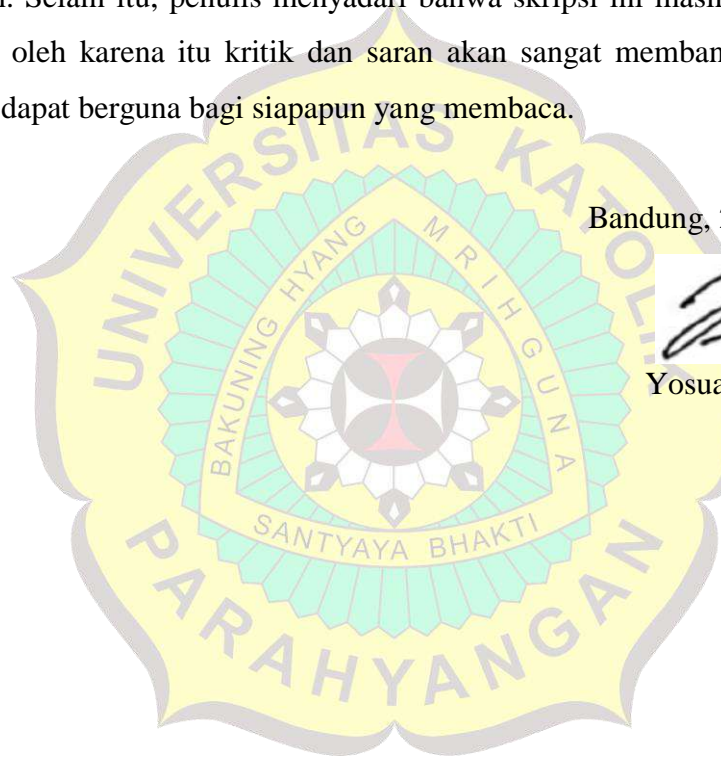
Penulis meminta maaf jika ada kesalahan dalam pengartian maupun pengetikan. Selain itu, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, oleh karena itu kritik dan saran akan sangat membantu penulis agar skripsi ini dapat berguna bagi siapapun yang membaca.

Bandung, 26 Januari 2024



Yosua Figo Samputra

6101901130





# DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN .....	i
ABSTRAK .....	ii
ABSTRACT .....	iii
PRAKATA .....	iv
DAFTAR ISI .....	vi
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN .....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR TABEL .....	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Inti Permasalahan .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Ruang Lingkup Penelitian .....	3
1.5 Metode Penelitian .....	4
1.6 Sistematika Penulisan .....	4
1.7 Diagram Alir Penelitian .....	6
BAB 2 DASAR TEORI .....	7
2.1 Karakteristik Tanah Lunak .....	7
2.2 Konsolidasi .....	8
2.2.1 Penurunan Konsolidasi ( <i>Primary Consolidation</i> ) .....	8
2.3 Perbaikan Tanah Lunak .....	10
2.3.1 Prabeban (Preloading) .....	11
2.3.2 Perencanaan Prefabricated Vertical Drains (PVD) .....	12
2.3.2.1 Zona Pengaruh PVD .....	14
2.3.2.2 Derajat Konsolidasi Rata-Rata U .....	14

2.3.2.3	Penentuan Koefisien Konsolidasi .....	14
2.3.2.4	Penentuan $U_v$ dan $U_h$ .....	15
2.3.2.5	PVD Spacing Factor.....	16
2.3.2.6	PVD Smear Factor .....	17
2.3.2.7	PVD Drain Resistance Factor .....	18
2.3.3	<i>Vacuum Consolidation Method</i> .....	19
2.4	Uji <i>Cone Penetration Test</i> dengan <i>Pore Pressure Measurement (CPTu)</i> ..	21
2.4.1	Prosedur Uji CPTu.....	23
2.4.2	Parameter dari Hasil Uji CPTu.....	25
2.4.3	Klasifikasi Tanah Berdasarkan Parameter Hasil Uji CPTu.....	25
2.4.4	Perkiraan Berat Isi Tanah Berdasarkan Parameter Hasil Uji CPTu ...	27
2.4.5	Interpretasi Derajat Konsolidasi ( $U\%$ ) dan Rasio Overkonsolidasi (OCR) .....	27
2.4.5.1	Interpretasi Nilai OCR berdasarkan Konsep Tegangan Efektif	28
2.4.6	Kuat Geser Tanah Kohesif.....	29
2.4.7	Kompresibilitas Tanah.....	30
2.4.7.1	Permeabilitas Tanah	30
2.5	<i>Settlement Plate</i> .....	31
2.5.1	Metode Asaoka .....	32
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....		34
3.1	Diagram Alir Penelitian .....	34
3.2	Studi Literatur .....	35
3.3	Pengumpulan Data .....	35
3.3.1	Data Penyelidikan Tanah.....	35
3.3.2	Informasi Perbaikan Tanah.....	36

3.3.3 Informasi Hasil Instrumentasi Perbaikan Tanah .....	36
3.4 Analisis Penurunan Konsolidasi .....	37
3.4.1 Analisis Penurunan Akhir dengan Metode Asaoka .....	37
BAB 4 ANALISIS DATA .....	38
4.1 Deskripsi Lokasi Tinjauan .....	38
4.2 Data Penyelidikan Tanah .....	39
4.2.1 Kondisi Geologi.....	39
4.2.2 Hasil Penyelidikan Tanah Terdahulu.....	40
.....	41
4.2.3 Hasil Uji Laboratorium (Penyelidikan Terdahulu).....	42
4.2.3.1 Klasifikasi Jenis Tanah.....	43
4.2.3.2 Berat Isi Tanah .....	43
4.2.3.3 Indeks Properties Tanah.....	44
4.2.3.4 Kuat Geser Tanah Kohesif .....	45
4.2.3.5 Hasil Uji Konsolidasi .....	47
4.3 Uji CPTu Sebelum Perbaikan Tanah .....	48
4.3.1 Grafik dan Pembahasan Hasil Uji CPTu Sebelum Perbaikan Tanah .	49
4.4 Interpretasi Hasil Uji CPTu Sebelum Perbaikan Tanah.....	52
4.4.1 Kuat Geser Tanah Sebelum Perbaikan Tanah .....	52
4.4.2 <i>Constrained Modulus</i> Tanah Sebelum Perbaikan Tanah.....	54
4.4.3 OCR Sebelum Perbaikan Tanah Berdasarkan Metode $B_q$ vs OCR (Rahardjo et al., 2016) .....	55
4.4.4 OCR Sebelum Perbaikan Tanah Berdasarkan Metode $B_q^*$ vs OCR (Rahardjo & Setiawan, 2017) .....	56
4.4.5 OCR Sebelum Perbaikan Tanah Berdasarkan Konsep Tegangan Efektif (Rahardjo & Santoso, 2016) .....	56
4.5 Uji CPTu Setelah Perbaikan Tanah.....	58

4.5.1 Grafik Hasil Uji CPTu Setelah Perbaikan Tanah.....	58
4.6 Interpretasi Hasil Uji CPTu Setelah Perbaikan Tanah.....	62
4.6.1 Kuat Geser Tanah Setelah Perbaikan Tanah .....	62
4.6.2 Constrained Modulus Tanah Setelah Perbaikan Tanah.....	63
4.6.3 OCR Setelah Perbaikan Tanah Berdasarkan Metode $B_q$ vs OCR (Rahardjo et al., 2016) .....	64
4.6.4 OCR Setelah Perbaikan Tanah Berdasarkan Metode $B_q^*$ vs OCR (Rahardjo & Setiawan, 2017) .....	65
4.6.5 OCR Setelah Perbaikan Tanah Berdasarkan Konsep Tegangan Efektif (Rahardjo & Santoso, 2016) .....	66
4.7 Evaluasi Parameter Hasil Uji CPTu Sebelum dan Setelah Perbaikan Tanah .....	67
4.7.1 Perbandingan Parameter Hasil Uji CPTu .....	68
4.7.2 Pembahasan Parameter Hasil Uji CPTu .....	69
4.8 Evaluasi Interpretasi Hasil Uji CPTu Sebelum dan Setelah Perbaikan Tanah .....	70
4.8.1 Perbandingan Hasil Kuat Geser Tanah.....	70
4.8.2 Perbandingan <i>Constrained Modulus</i> .....	71
4.8.3 Perbandingan Hasil Pendekatan Nilai OCR .....	72
4.8.4 Pembahasan Nilai OCR .....	76
4.9 Interpretasi Derajat Konsolidasi dari Uji CPTu Setelah Perbaikan Tanah .	76
4.10 Data <i>Settlement Plate</i> .....	79
4.10.1 Tinjauan Kode Tanah yang Diperbaiki.....	79
4.10.2 Monitoring Harian Nilai Penurunan Tanah yang Diperbaiki dari Instrumen <i>Settlement Plate</i> .....	79
4.10.3 Perhitungan Tegangan Akibat Tanah Timbunan dan <i>Vacuum Consolidation</i> .....	81

4.10.4 Hasil Analisis Tegangan Total Terhadap Waktu dan Penurunan Terhadap Waktu.....	88
.....	89
4.11 Interpretasi Derajat Konsolidasi dari <i>Settlement Plate</i> .....	91
4.11.1 Penurunan yang Diukur dari <i>Settlement Plate</i> .....	91
4.11.2 Prediksi Penurunan Akhir dengan Metode Asaoka.....	91
4.11.3 Tabulasi Hasil Persentase Derajat Konsolidasi Metode Asaoka .....	92
4.12 Evaluasi Derajat Konsolidasi Berdasarkan Uji CPTu dan <i>Settlement Plate</i> .....	93
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	95
5.1 Kesimpulan .....	95
5.2 Saran.....	96
DAFTAR PUSTAKA.....	98
LAMPIRAN 1 CONTOH PENENTUAN SOIL BEHAVIOR TYPE (ROBERTSON, 1986).....	99
LAMPIRAN 2 PERHITUNGAN TEGANGAN AKIBAT TANAH TIMBUNAN DAN VAKUM.....	100
LAMPIRAN 3 DATA SETTLEMENT PLATE.....	106
LAMPIRAN 4 CONTOH PERHITUNGAN METODE ASAOKA.....	112



## DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

a	: Lebar PVD (100 mm)
$\alpha$	: 2-3 (Gielly et al. 1969 & Sanglerat et al. 1972).
$\Delta P$	: Penambahan tegangan
b	: Tebal PVD (3-5 mm)
CPTu	: <i>Cone Penetration Test With Pore Water Pressure</i>
C <sub>c</sub>	: Indeks kompresi <i>compression</i>
C <sub>r</sub>	: Indeks kompresi <i>rebound</i>
C <sub>h</sub>	: Koefisien konsolidasi akibat drainase horizontal
C <sub>v</sub>	: Koefisien konsolidasi akibat drainase vertikal
d <sub>s</sub>	: Diameter dari <i>smear zone</i>
d <sub>e</sub>	: Zona pengaruh PVD
d <sub>w</sub>	: Diameter ekivalen PVD
e <sub>o</sub>	: Angka pori tanah
e	: Angka Pori
f <sub>s</sub>	: <i>Sleeve Frictio</i>
FR	: <i>Friction Ratio</i>
F <sub>s</sub>	: <i>Smear Factor PVD</i>
Fr	: Drain Resistance Factor
F <sub>n</sub>	: <i>Spacing Factor</i>
H	: Tebal lapisan tanah
H <sub>d</sub>	: Panjang lintasan air
K	: Permeabilitas Tanah
k <sub>h</sub>	: <i>Horizontal permeability of undisturbed zone</i>
k <sub>s</sub>	: <i>Horizontal permeability of the smear zone</i>
l	: Panjang mandrel (50-70 mm)
L	: Panjang drainase PVD
M	: <i>Constrained Modulus</i>
N	: <i>Standart Penetration Test</i>
N <sub>k</sub>	: Faktor Konus ( <i>Cone Factor</i> )
OCR	: <i>Overconsolidation Ratio</i>
PVD	: <i>Prefabricated Vertical Drains</i>

- $P_c'$  : *Pre Consolidation Pressure* (Tekanan maksimum yang pernah dialami sampel tanah)
- $P_o'$  : *Overburden Pressure* (Tekanan vertikal efektif)
- $S_t$  : Penurunan konsolidasi dari bacaan *settlement plate* pada waktu tertentu
- $S_c$  : Penurunan Total
- $S_f$  : Penurunan Akhir (Hasil dari Metode Asaoka)
- $s$  : Jarak titik tengah antar satu vertikal drain ke vertikal drain yang lain
- $S_u$  : *Undrained Shear Strength* ( $\text{kN/m}^2$ )
- $T_h$  : *Time Factor* dari drainase horizontal
- $t_c$  : Waktu konsolidasi
- $T_v$  : *Time Factor* dari drainase vertikal
- $u_2$  : *Pore Pressure* ( $\text{kN/m}^2$ )
- $u_0$  : *Hydrostatic Pore Water Pressure* ( $\text{kN/m}^2$ )
- $U$  : Derajat konsolidasi
- $U_v$  : Derajat konsolidasi akibat drainase vertikal
- $U_h$  : Derajat konsolidasi akibat drainase horizontal
- $\gamma_w$  : Berat Isi Air
- $w$  : Kadar Air
- $\sigma_v$  : Tegangan vertikal total ( $\text{kN/m}^2$ )
- $q_w$  : Kapasitas aliran (*Discharge Capacity*)
- $q_c$  : *Cone Resistance*
- $q_t$  : Tahanan ujung konus terkoreksi

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.1</b> Diagram Alir Penelitian.....	6
<b>Gambar 2.1</b> Konsep Prabeban (Sumber: PT Teknindo Geosistem Unggul) .....	11
<b>Gambar 2.2</b> Tekanan Air Pori Ekses Sebelum dan Ketika diberikan Prabeban (Rahardjo, 2022) .....	11
<b>Gambar 2.3</b> <i>Preabricated Vertical Drains</i> (Sumber: PT Indotex Bangun Mandiri) .....	13
<b>Gambar 2.4</b> Prinsip Kerja PVD .....	13
<b>Gambar 2.5</b> Pola Pemasangan PVD dan Zona Pengaruh PVD (Barron, 1948 dan Hansbo, 1981) .....	14
<b>Gambar 2.6</b> Ilustrasi Diameter Ekvivalen PVD (Indraratna et. al. (2005)).....	17
<b>Gambar 2.7</b> <i>Smear Zone</i> .....	17
<b>Gambar 2.8</b> Ilustrasi Aplikasi Metode <i>Vacuum</i> (Masse et. al., 2001).....	20
<b>Gambar 2.9</b> <i>The Fugro Electrical Friction Cone</i> (de Ruiter, 1971).....	22
<b>Gambar 2.10</b> Penampang Melintang <i>Piezecone</i> dengan Elemen Pori di Muka (Rahardjo, 2008) .....	23
<b>Gambar 2.11</b> Jenis-jenis <i>Piezecone</i> .....	24
<b>Gambar 2.12</b> Contoh Sistem CPTu ( <i>Geotech Cordless CPT</i> ).....	24
<b>Gambar 2.13</b> Grafik <i>Soil Behavior Type</i> .....	26
<b>Gambar 2.14</b> Interpretasi Nilai Derajat Konsolidasi (U%) dan Rasio Overkonsolidasi (OCR) Berdasarkan Nilai $B_q$ pada Uji CPTu (Setionegoro, 2013 dan Rahardjo, 2014).....	27
<b>Gambar 2.15</b> Hubungan antara Indeks Plastisitas dengan Nilai $N_k$ (Lunne, 1976) .....	29
<b>Gambar 2.16</b> Alat Monitoring <i>Settlement Plate</i> (Sumber: PT Teknindo Geosistem Unggul) .....	31
<b>Gambar 2.17</b> <i>Settlement Plate</i> (Sumber: PT Global Intan Teknindo).....	32
<b>Gambar 2.18</b> Prediksi Penurunan Akhir (pf) Metode Asaoka (Saputro et al., 2018) .....	33
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir Penelitian.....	34
<b>Gambar 4.1</b> Lokasi Proyek Blibli Marunda (Sumber: <i>Google Earth</i> , 2001) .....	38

<b>Gambar 4.2</b> Ilustrasi Potongan Bangunan Kawasan Bilibli Marunda.....	38
<b>Gambar 4.3</b> Peta Geologi Lokasi Tinjauan [Sumber : Peta Geologi Jakarta & Kepulauan Seribu, T. Turkadi dkk, 1992].....	39
<b>Gambar 4.4</b> Denah Penyelidikan Tanah Bilibli Marunda (sumber: Laporan Hasil Penyelidikan Tanah Warehouse Marunda oleh Testana Indoteknika, 2018).....	40
<b>Gambar 4.5</b> Stratifikasi Tanah Cross Section A-A (sumber: Laporan Hasil Penyelidikan Tanah Warehouse Marunda oleh Testana Indoteknika, 2018).....	41
<b>Gambar 4.6</b> Stratifikasi Tanah Cross Section B-B (sumber: Laporan Hasil Penyelidikan Tanah Warehouse Marunda oleh Testana Indoteknika, 2018) .....	41
<b>Gambar 4.7</b> Stratifikasi Tanah Cross Section C-C (sumber: Laporan Hasil Penyelidikan Tanah Warehouse Marunda oleh Testana Indoteknika, 2018).....	41
<b>Gambar 4.8</b> Penentuan Jenis Tanah Berdasarkan <i>Plasticity Chart</i> .....	43
<b>Gambar 4.9</b> Hasil Uji Berat Isi Tanah .....	43
<b>Gambar 4.10</b> Hasil Uji Batas-batas Atterberg (LL, PL, $W_n$ ), Indeks Plastisitas (IP), <i>Liquidity Index</i> (LI), dan <i>Void Ratio</i> ( $e$ ).....	44
<b>Gambar 4.11</b> Nilai Kuat Geser Tanah berdasarkan Uji Triaxial UU .....	45
<b>Gambar 4.12</b> Kuat Geser Tak Teralir .....	46
<b>Gambar 4.13</b> Sebaran Nilai $c'$ dan $\phi'$ terhadap kedalaman.....	46
<b>Gambar 4.14</b> Korelasi Antara Nilai $\phi'$ Terhadap Index Plastisitas (Kenney, 1959; Bjerrum and Simons, 1960; Ladd et al., 1977, Gybson, 1953).....	47
<b>Gambar 4.15</b> Data Hasil Uji Konsolidasi .....	48
<b>Gambar 4.16</b> Lokasi Uji CPTu dengan kode CPTu-03, CPTu-04 dan CPTu-05.....	49
<b>Gambar 4.17</b> Grafik Parameter Hasil dari Uji CPTu Terhadap Kedalaman (Kode CPTu-03).....	50
<b>Gambar 4.18</b> Grafik Parameter Hasil dari Uji CPTu Terhadap Kedalaman (Kode CPTu-04).....	50
<b>Gambar 4.19</b> Grafik Parameter Hasil dari Uji CPTu Terhadap Kedalaman (Kode CPTu-05).....	51
<b>Gambar 4.20</b> Kuat Geser Tanah Tak Terdrainase ( $S_u$ ) Terhadap Kedalaman untuk Kode CPTu- 03, CPTu-04 dan CPTu-05 Sebelum Perbaikan Tanah .....	53
<b>Gambar 4.21</b> Nilai Modulus Terkekang (M) Terhadap Kedalaman untuk Kode CPTu-03, CPTu-04, dan CPTu-05 Sebelum Perbaikan Tanah .....	54



<b>Gambar 4.22</b> Nilai OCR Terhadap Kedalaman dengan Metode $B_q$ vs OCR (Rahardjo et al., 2016) untuk Kode CPTu-03, CPTu-04 dan Kode CPTu-05 Sebelum Perbaikan Tanah.....	55
<b>Gambar 4.23</b> Nilai OCR Terhadap Kedalaman dengan Metode $B_q^*$ vs OCR (Setiawan & Rahardjo, 2017) untuk CPTu-03, Kode CPTu-04 dan Kode CPTu-05 Sebelum Perbaikan Tanah.....	56
<b>Gambar 4.24</b> Nilai OCR Terhadap Kedalaman Konsep Tegangan Efektif (Rahardjo & Santoso, 2016) untuk CPTu-03, Kode CPTu-04 dan Kode CPTu-05 Sebelum Perbaikan Tanah.....	57
<b>Gambar 4.25</b> Grafik Parameter Hasil dari Uji CPTu Terhadap Kedalaman (Kode CPTu-Add 03) Setelah Perbaikan Tanah.....	59
<b>Gambar 4.26</b> Grafik Parameter Hasil dari Uji CPTu Terhadap Kedalaman (Kode CPTu-11) Setelah Perbaikan Tanah.....	60
<b>Gambar 4.27</b> Grafik Parameter Hasil dari Uji CPTu Terhadap Kedalaman (Kode CPTu-06) Setelah Perbaikan Tanah.....	61
<b>Gambar 4.28</b> Kuat Geser Tanah Tak Terdrainase ( $S_u$ ) Terhadap Kedalaman untuk Kode CPTu-11, CPTu-Add 03 dan CPTu-06 Setelah Perbaikan Tanah.....	63
<b>Gambar 4.29</b> Nilai Modulus Terkekang (M) Terhadap Kedalaman untuk Kode CPTu-11, CPTu-Add 03, dan CPTu-06 Setelah Perbaikan Tanah.....	64
<b>Gambar 4.30</b> Nilai OCR Terhadap Kedalaman dengan Metode $B_q$ vs OCR (Rahardjo et. al., 2016) untuk Kode CPTu-11, CPTu-Add 03 dan Kode CPTu-06 Setelah Perbaikan Tanah.....	65
<b>Gambar 4.31</b> Nilai OCR Terhadap Kedalaman dengan Metode $B_q^*$ vs OCR (Rahardjo & Setiawan, 2017) untuk Kode CPTu-11, CPTu-Add 03 dan Kode CPTu-06 Setelah Perbaikan Tanah.....	66
<b>Gambar 4.32</b> Nilai OCR Terhadap Kedalaman dengan Konsep Tegangan Efektif (Rahardjo & Santoso, 2016) untuk Kode CPTu-11, CPTu-Add 03 dan Kode CPTu-06 Setelah Perbaikan Tanah.....	67
<b>Gambar 4.33</b> Kondisi Tahanan Ujung Konus ( $q_c$ ) dan Tahanan Ujung Terkoreksi ( $q_t$ ) Sebelum dan Setelah <i>Vacuum</i> .....	68
<b>Gambar 4.34</b> Kondisi Nilai $f_s$ Sebelum dan Setelah <i>Vacuum</i> .....	69
<b>Gambar 4.35</b> Kondisi Nilai $S_u$ Sebelum dan Setelah <i>Vacuum</i> .....	71



<b>Gambar 4.36</b> Kondisi Nilai M Sebelum dan Setelah <i>Vacuum</i> .....	72
<b>Gambar 4.37</b> Grafik OCR Terhadap Kedalaman Metode $B_q$ vs OCR (Rahardjo et. al., 2016) Sebelum dan Sesudah <i>Vacuum</i> .....	73
<b>Gambar 4.38</b> Grafik OCR Terhadap Kedalaman Metode $B_q^*$ vs OCR (Rahardjo & Setiawan, 2017) Sebelum dan Sesudah <i>Vacuum</i> .....	74
<b>Gambar 4.39</b> Grafik OCR Terhadap Kedalaman Metode Konsep Tegangan Efektif (Rahardjo & Santoso, 2016) Sebelum dan Setelah <i>Vacuum</i> .....	75
<b>Gambar 4.40</b> Derajat Konsolidasi Setelah Perbaikan Tanah Metode $B_q$ vs OCR (Rahardjo et. al., 2016) Kode CPTu-11, CPTu-Add 03, CPTu-06 .....	76
<b>Gambar 4.41</b> Derajat Konsolidasi Setelah Perbaikan Tanah Metode $B_q^*$ vs OCR (Rahardjo dan Setiawan, 2017) Kode CPTu-11, CPTu-Add 03, CPTu-06 .....	77
<b>Gambar 4.42</b> Derajat Konsolidasi Setelah Perbaikan Tanah Metode Konsep Tegangan Efektif (Rahardjo dan Santoso, 2016) Kode CPTu-11, CPTu-Add 03, CPTu-06.....	78
<b>Gambar 4.43</b> Grafik Hubungan Tegangan Terhadap Waktu dan Penurunan Terhadap Waktu dan Lokasi Beban Konstan (SP-02) .....	89
<b>Gambar 4.44</b> Grafik Hubungan Tegangan Terhadap Waktu dan Penurunan Terhadap Waktu dan Lokasi Beban Konstan (SP-04) .....	90
<b>Gambar 4.45</b> Grafik Plot Metode Asaoka (SP-02 dan SP-04) .....	92

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Hubungan Nilai N dengan Konsistensi Tanah Kohesif (Alvi, 2022).....	7
<b>Tabel 2.2</b> Hubungan Nilai $q_c$ dengan Konsistensi Tanah Lempung (Terzaghi dan Peck, 1993).....	7
<b>Tabel 2.3</b> Perbandingan Besar Nilai $k_v$ dengan nilai $k_h$ (Rixner, 1986).....	15
<b>Tabel 2.4</b> Penentuan nilai $k_{hks}$ dan $d_s$ (Indraratna et. al., 2005) .....	18
<b>Tabel 2.5</b> Penentuan Nilai $q_w$ .....	19
<b>Tabel 2.6</b> Klasifikasi Zona Grafik <i>Soil Behavior Type</i> .....	26
<i>*Overconsolidated or cemented</i> .....	26
<b>Tabel 2.7</b> Estimasi Modulus Terkekang (Mitchell & Gardner, 1975) .....	30
<b>Tabel 4.1</b> Berat Isi Tanah Terhadap Kedalaman .....	44
<b>Tabel 4.2</b> Nilai Liquidity Index (LI) dan Angka Pori (e) terhadap Kedalaman ...	44
<b>Tabel 4.3</b> Kohesi pada Tegangan Efektif ( $c'$ ) untuk Tanah Butir Halus (Briaud)	46
<b>Tabel 4.4</b> Tabulasi Derajat Konsolidasi Setelah Perbaikan Tanah.....	78
<b>Tabel 4.5</b> Monitoring Penurunan Tanah dengan <i>Settlement Plate</i> (Untuk $t = 0$ hingga $t = 10$ hari) kode SP-02 .....	80
<b>Tabel 4.6</b> Perhitungan Tegangan Total (Untuk Kode SP-02) .....	82
<b>Tabel 4.7</b> Penurunan Aktual dari <i>Settlement Plate</i> (SP-02 dan SP-04).....	91
<b>Tabel 4.8</b> Prediksi Penurunan Akhir ( $S_f$ ) dengan Metode Asaoka.....	92
<b>Tabel 4.9</b> Tabulasi Hasil Persentase Derajat Konsolidasi Metode Asaoka.....	93
<b>Tabel 4.10</b> Tabulasi Derajat Konsolidasi Berdasarkan Uji CPTu dan <i>Settlement Plate</i> .....	93

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Tabel L2.1</b> Perhitungan Tegangan Total (Untuk Kode SP-04).....	100
<b>Tabel L3.1</b> Monitoring Penurunan Tanah Terhadap Waktu $t$ (Hari) .....	106
<b>Tabel L4.1</b> Data $S_t$ dan $S_{(t+\Delta t)}$ dengan Interval 14 Hari .....	112



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Tanah lunak merupakan tanah yang memiliki kuat geser rendah, daya dukung rendah dan memiliki kompresibilitas tanah yang tinggi. Akibat kuat geser rendah, daya dukung dan stabilitas rendah, serta kompresibilitas tanah yang tinggi, dapat menjadi permasalahan untuk pembangunan infrastruktur di atasnya karena dapat menyebabkan penurunan (*Settlement*). Tekanan air pori eksese dapat muncul akibat beban infrastruktur yang ada di atasnya, menyebabkan longsoran terjadi. Penurunan dapat terjadi karena tanah mengalami proses konsolidasi. Konsolidasi tanah terjadi akibat tanah lunak jenuh mengalami kompresi dalam jangka waktu tertentu akibat pembebanan. Penurunan tanah lunak yang besar dalam periode waktu yang panjang dapat menjadi permasalahan meliputi resiko longsoran, dan merusak infrastruktur jika tanah turun. Oleh karena itu, diperlukan teknik perbaikan tanah lunak untuk meningkatkan kuat geser, daya dukung, mengurangi kompresibilitas tanah dan mempercepat konsolidasi tanah.

Salah satu teknik perbaikan tanah lunak yaitu dengan metode prabeban atau preloading. Metode preloading adalah metode dengan menaruh timbunan tanah di atas tanah lunak. Timbunan tanah di atas tanah lunak bekerja sebagai beban yang berguna untuk “memaksa” tanah lunak dibawahnya untuk mengalami penurunan lebih awal. Namun metode preloading memiliki resiko yaitu kegagalan stabilitas global jika timbunan yang dibangun cukup tinggi. Tidak hanya memiliki resiko kegagalan stabilitas global, metode preloading membutuhkan waktu lama dalam disipasi tekanan eksese. Untuk memecahkan masalah ini, metode preloading perlu dikombinasikan dengan metode perbaikan tanah lainnya. Metode tersebut adalah dengan mengkombinasikan metode preloading dengan drainase vertikal yaitu *Prefabricated Vertical Drains* (PVD) dan metode *vacuum* yang pertama kali dikenalkan oleh Kjellman tahun 1952 (Suhendra, et al., 2011).

Metode *vacuum* adalah suatu sistem yang mengkombinasikan *preloading* pada tanah lunak dan *Prefabricated Vertical Drains* (PVD), dimana terdapat

tekanan udara dari mesin vakum yang bersifat negatif lalu tersambung dengan pipa horizontal, kemudian tersambung pada *Prefabricated Vertical Drains* (PVD) di dalam tanah. Tekanan udara mesin vakum bersifat negatif, menyebabkan air dan udara yang ada dalam tanah masuk kedalam PVD, kemudian air dan udara dalam tanah dapat dikeluarkan akibat hisapan yang diberikan oleh mesin vakum. Metode *vacuum* bertujuan untuk mempercepat proses konsolidasi tanah. Akibatnya, penurunan tanah dapat terjadi secara cepat, yang seharusnya, tanah akan selesai terkonsolidasi setelah bertahun-tahun jika hanya menggunakan metode prabeban saja. Akibatnya, disipasi tekanan air pori juga dapat lebih cepat dan daya dukung tanah meningkat untuk menerima beban infrastruktur di atasnya.

Setelah perbaikan tanah lunak sudah selesai, dilakukan uji *Cone Penetration Test with pore water pressure* (CPTu) atau percobaan penetrasi kerucut dengan tekanan air pori. Uji CPTu adalah percobaan penetrasi statis layaknya uji sondir, untuk mendapatkan parameter-parameter perlawanan penetrasi di lapangan dengan pengukuran tekanan air yang dilengkapi dengan instrumen elektrik. Menurut Rahardjo & Alvi (2019), uji ini dapat memperkirakan parameter tanah dengan lebih baik dan sebagai alat uji lapangan dapat memberikan profil tanah secara kontinu. Tanah lunak yang sudah diperbaiki dilakukan evaluasi dengan uji CPTu untuk mengetahui parameter tanah untuk mengetahui tekanan air pori eksese, mengetahui kekuatan tanah, mengetahui kompresibilitas tanah, dan memperkirakan derajat konsolidasi setelah perbaikan tanah.

Dengan melihat tanah lunak yang memiliki kuat geser rendah, daya dukung rendah, proses konsolidasi yang lama, dan memiliki kompresibilitas tanah yang tinggi, maka dilakukan perbaikan tanah lunak dengan kombinasi prabeban dengan PVD dan mesin vakum. Setelah perbaikan tanah lunak sudah selesai, dilakukan uji CPTu untuk evaluasi tanah lunak tersebut.

## **1.2 Inti Permasalahan**

Inti dari permasalahan dalam penelitian ini dijelaskan sebagai berikut:

1. Proses konsolidasi tanah tanpa menerapkan teknik perbaikan tanah memerlukan waktu yang cukup lama, yang berpotensi menghambat pembangunan infrastruktur.



2. Untuk mengatasi masalah kuat geser rendah, daya dukung rendah, kompresibilitas tinggi, dan konsolidasi yang lambat pada tanah lunak, diperlukan teknik perbaikan tanah yang efektif. Salah satu pendekatannya adalah menggunakan kombinasi metode *preloading* dengan drainase vertikal *Prefabricated Vertical Drains* (PVD) dan metode *vacuum*.
3. Setelah perbaikan tanah lunak dengan metode *vacuum* selesai, penting untuk melakukan evaluasi dari instrument (*CPTu* & *Settlement Plate*) dalam mengukur parameter-parameter tanah yang dapat memberikan data-data mengenai tekanan air pori eksese, kekuatan tanah, kompresibilitas tanah, dan derajat konsolidasi setelah tanah diperbaiki.

### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui bagaimana kondisi tanah setelah dilakukan analisis perbaikan tanah lunak dengan metode *vacuum*.
2. Mengetahui kekuatan tanah, mengetahui kompresibilitas tanah sebelum dan setelah diperbaiki dengan metode *vacuum* berdasarkan uji CPTu.
3. Memperkirakan derajat konsolidasi setelah diperbaiki dengan metode *vacuum* berdasarkan uji CPTu dan *settlement plate*.
4. Melakukan evaluasi derajat konsolidasi dari instrument CPTu dan *settlement plate* setelah perbaikan tanah dengan metode *vacuum*.

### 1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan studi literatur mengenai tanah lunak, metode prabeban (*preloading*), PVD, metode *vacuum*, *Settlement Plate* dan uji CPTu;
2. Melakukan studi perbaikan tanah di daerah Marunda;
3. Mengumpulkan data-data *Soil Test* dan informasi hasil instrumentasi perbaikan tanah;
4. Mengkaji informasi hasil instrumentasi perbaikan tanah dengan CPTu dan *Settlement Plate*;

5. Menganalisa data hasil uji CPTu dan *Settlement Plate* dari proyek perbaikan tanah yang dilakukan dengan *vacuum consolidation*;
6. Evaluasi kekuatan tanah, parameter tanah sebelum dan setelah perbaikan tanah;
7. Evaluasi derajat konsolidasi dari instrument CPTu dan *Settlement Plate*;
8. Melakukan diskusi hasil pengolahan data dan menyusun kesimpulan.

### **1.5 Metode Penelitian**

Metode penelitian diawali dengan studi literatur. Studi literatur dilakukan untuk mencari literatur yang relevan untuk mendukung dalam pengolahan data dan mencari dasar teori yang dapat digunakan dalam mendukung pengolahan dan analisis data. Setelah dilakukan studi literatur kemudian dilakukan pengumpulan data yang diperlukan untuk dianalisis lebih lanjut. Pengumpulan data dalam penelitian ini didapat dari suatu kawasan di daerah Marunda. Pengumpulan data tersebut merupakan data hasil penyelidikan tanah (*Soil Test*), informasi perbaikan tanah dan informasi hasil instrumentasi perbaikan tanah melalui CPTu dan *Settlement Plate*. Setelah data-data yang diperlukan sudah didapatkan, dilakukan proses analisis dan pengolahan data. Analisis dalam penelitian ini adalah perbaikan tanah lunak dengan *vacuum consolidation*. Ketika perbaikan tanah lunak sudah dilakukan, dilakukan evaluasi parameter kekuatan tanah sebelum dan setelah perbaikan tanah, kemudian evaluasi derajat konsolidasi dari instrument CPTu dan *Settlement Plate*, dan terakhir menyusun kesimpulan dan saran.

### **1.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan skripsi ini terbagi sebagai berikut:

#### **1. BAB 1 PENDAHULUAN**

Pada bab ini berisi tentang latar belakang skripsi ini, inti permasalahan skripsi, tujuan penelitian dari skripsi, ruang lingkup penelitian, metode penelitian yang dipakai dalam skripsi, sistematika penulisan skripsi, dan diagram alir penelitian yang berisi alur penyusunan skripsi.

#### **2. BAB 2 DASAR TEORI**

Di bagian ini, akan dijelaskan prinsip-prinsip dasar teori yang terkait dan akan digunakan sebagai panduan dalam proses analisis data dalam skripsi ini.

### 3. BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Di dalam bab ini, akan dijabarkan langkah-langkah yang ditempuh dalam proses analisis data saat menyusun skripsi dengan tujuan untuk mencapai hasil penelitian sesuai dengan tujuan penelitian yang telah ditetapkan.

### 4. BAB 4 ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

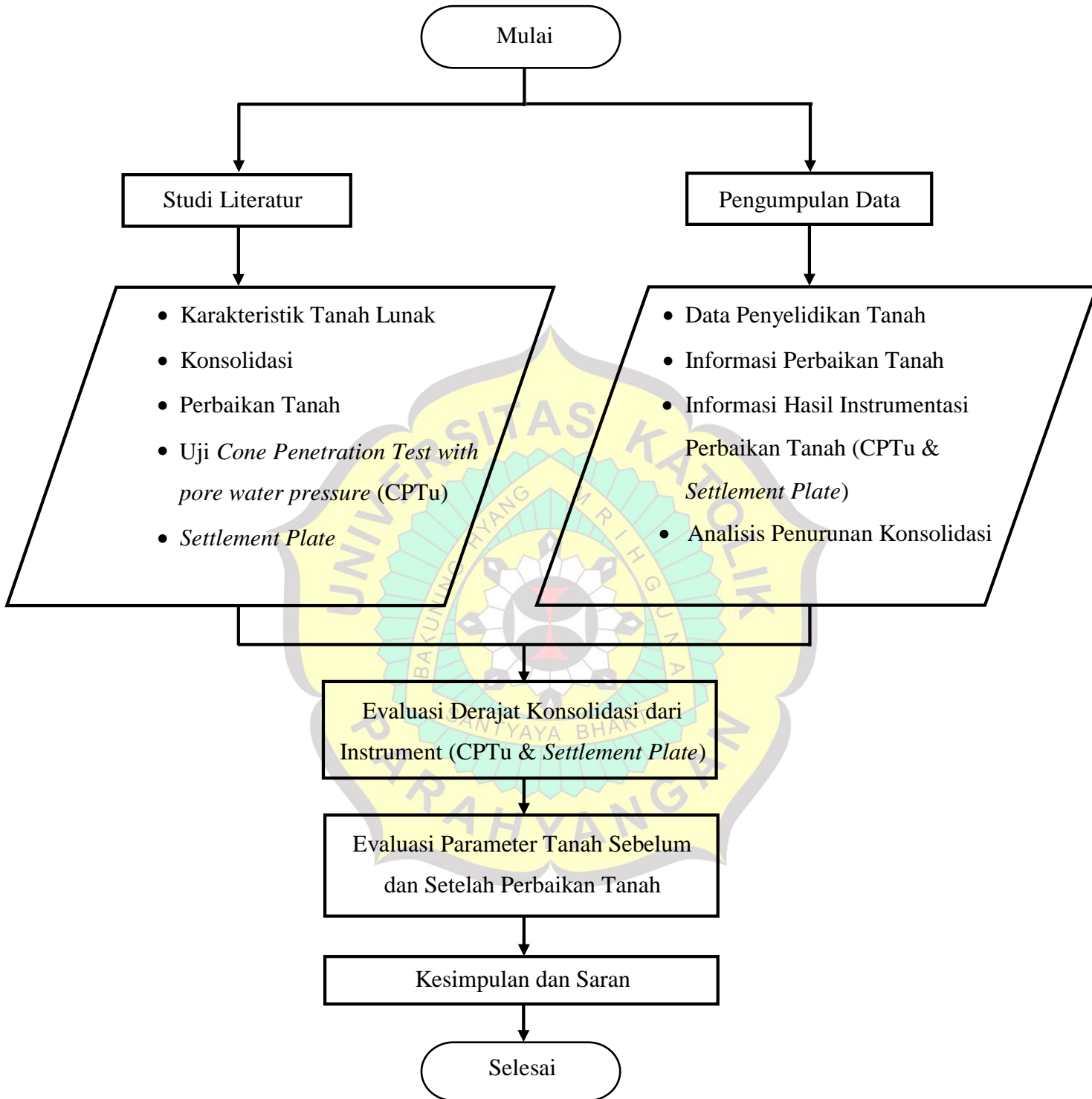
Di dalam bab ini, akan dijabarkan mengenai lokasi yang akan menjadi acuan studi skripsi ini, data penyelidikan tanah terdahulu sebelum tanah diperbaiki, uji CPTu sebelum dan setelah perbaikan tanah, evaluasi parameter hasil uji CPTu sebelum dan setelah perbaikan tanah, evaluasi derajat konsolidasi dari instrument CPTu & *Settlement Plate* setelah perbaikan tanah lunak.

### 5. BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Di dalam bab ini, akan disajikan hasil kesimpulan yang muncul dari hasil analisis data yang telah dilakukan, serta rekomendasi berdasarkan kesimpulan tersebut.



### 1.7 Diagram Alir Penelitian



**Gambar 1.1** Diagram Alir Penelitian