

**EFEK EXCESS PORE PRESSURE TERHADAP DEFORMASI DAN
GAYA-GAYA STRUKTUR PENAHAN PADA TANAH LUNAK YANG
MASIH BERKONSOLIDASI**

TESIS



Oleh:

Davin Alcander

8102101037

Pembimbing Utama:

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

Ko-Pembimbing:

Aswin Lim, Ph.D.

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN

BANDUNG

AGUSTUS 2024

HALAMAN PENGESAHAN

**EFEK EXCESS PORE PRESSURE TERHADAP DEFORMASI DAN
GAYA-GAYA STRUKTUR PENAHAN PADA TANAH LUNAK YANG
MASIH BERKONSOLIDASI**



Oleh:

Davin Alcander

8102101037

Disetujui untuk diajukan sidang pada hari/tanggal:

Rabu, 21 Agustus 2024

Pembimbing 1:

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

Pembimbing 2:

Aswin Lim, Ph.D.

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
BANDUNG
AGUSTUS 2024**

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Yang bertandatangan di bawah ini, saya dengan data diri sebagai berikut:

Nama : Davin Alcander
NPM : 8102101037
Program Studi : Magister Teknik Sipil Konsentrasi Geoteknik
Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan

Menyatakan bahwa tesis dengan judul:

EFEK EXCESS PORE PRESSURE TERHADAP DEFORMASI DAN GAYA-GAYA STRUKTUR PENAHAN PADA TANAH LUNAK YANG MASIH BERKONSOLIDASI

adalah benar-benar karya saya sendiri di bawah bimbingan dosen pembimbing, Saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam karya saya, atau jika ada tuntutan formal atau non formal dari pihak lain berkaitan dengan keaslian karya saya ini, saya siap menanggung segala resiko, akibat, dan/atau sanksi yang dijatuhkan kepada saya, termasuk pembatalan gelar akademik yang saya peroleh dari Universitas Katolik Parahyangan.

Dinyatakan: di Bandung

Tanggal : Rabu, 21 Agustus 2024



EFEK EXCESS PORE PRESSURE TERHADAP DEFORMASI DAN GAYA-GAYA STRUKTUR PENAHAN PADA TANAH LUNAK YANG MASIH BERKONSOLIDASI

Davin Alcander (NPM : 8102101037)
Pembimbing : Prof. Paulus Pramono Rahardjo, Ph.D.
Ko-pembimbing : Aswin Lim, Ph.D.
Magister Teknik Sipil
Bandung
Agustus 2024

ABSTRAK

Dalam reklamasi yang menggunakan material tanah lunak khususnya tanah masih berkonsolidasi (*underconsolidating soil*) umumnya berkaitannya dengan permasalahan geoteknik seperti dari parameter kuat geser tanah, parameter perilaku tanah serta faktor penentu dalam memastikan reklamasi tersebut aman dan dapat dibangun dengan justifikasi berdasarkan derajat konsolidasi dan hubungan antara waktu konsolidasi, dan pengaruh deformasi yang terjadi bila adanya struktural pada reklamasi dengan tanah lunak *underconsolidating*, seperti penggunaan *sheet pile* dengan adanya galian dan timbunan yang berlangsung maka dapat mengakibatkan pengaruh pada nilai derajat konsolidasi serta pergerakan deformasi yang signifikan. Dengan ini maka memahami faktor yang berperan signifikan dalam struktural tanah dan derajat konsolidasi yaitu pengaruh *residual excess pore pressure*.

Residual excess pore pressure merupakan salah satu dari komponen setelah *excess pore pressure* terdisipasi yang tersisa atau tertinggal selama proses disipasi dalam konstruksi yang sedang dilakukan. Dalam evaluasi mengenai kondisi tersebut maka berdasarkan parameter perilaku tanah di lokasi studi dilakukan uji in-situ berupa CPTu dan dilakukan kajian dari metode-metode evaluasi derajat konsolidasi menggunakan metode Schmertmann (1978), metode ekstrapolasi uji disipasi pada tanah *underconsolidating soil* (Rahardjo, 2008), metode B_q vs OCR (Rahardjo & Setionegoro, 2013), metode B_q^* vs OCR (Rahardjo & Setiawan, 2015), dan metode pendekatan tegangan efektif (Rahardjo & Santoso, 2016). Metode tersebut akan menjadi acuan dalam mengetahui efek *residual excess pore pressure* pada evaluasi desain galian dan struktural penahan tanah.

Kata Kunci : reklamasi, *underconsolidating soil*, *residual excess pore pressure*, derajat konsolidasi, kuat geser tanah, CPTu, waktu konsolidasi, deformasi, tegangan efektif, *sheet pile*, perilaku tanah, uji disipasi

EFFECTS OF EXCESS PORE PRESSURE ON DEFORMATION AND FORCES OF RETAINING STRUCTURES IN SOFT UNDERCONSOLIDATING SOIL

Davin Alcander (NPM : 8102101037)
Advisor : Prof. Paulus Pramono Rahardjo, Ph.D.
Co-advisor : Aswin Lim, Ph.D.
Master of Civil Engineering
Bandung
August 2024

ABSTRACT

In reclamation using soft soil materials, especially underconsolidating soils, it is common to encounter problems such as soil shear strength parameters, soil behavior parameters and determining factors in ensuring that reclamation is safe and can be built with justification based on the degree of consolidation and the relationship between consolidation time, and the effect of deformation that occurs when there is structural reclamation with soft underconsolidating soil, such as the use of sheet piles with ongoing excavation and embankment, which can have an effect on the value of the degree of consolidation and significant deformation movements. Thus, we understand the factor that plays a significant role in soil structural and degree of consolidation is the effect of residual excess pore pressure.

Residual excess pore pressure is one of the components after the excess pore pressure is dissipated that remains or is left behind during the dissipation process in the construction being carried out. In the evaluation of these conditions, based on the soil behavior parameters at the study site, an in-situ test in the form of CPTu was conducted and a study of the degree of consolidation evaluation methods using the Schmertmann (1978) method, the extrapolation method of dissipation test on underconsolidating soil (Rahardjo, 2008), the B_q vs OCR method (Rahardjo & Setionegoro, 2013), the B_q^* vs OCR method (Rahardjo & Setiawan, 2015), and the effective stress approach method (Rahardjo & Santoso, 2016). These methods will be used as a reference in determining the effect of residual excess pore pressure on the evaluation of excavation and structural soil retaining designs.

Keywords : reclamation, underconsolidating soil, residual excess pore pressure, degree of consolidation, soil shear strength, CPTu, consolidation time, deformation, effective stress, sheet pile, soil behavior, dissipation test

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat, kekuatan, segala rahmat dan bimbingan-Nya penulis dapat menyelesaikan tesis dengan judul *Efek Excess Pore Pressure Terhadap Deformasi dan Gaya-gaya Struktur Penahan Pada Tanah Lunak yang Masih Berkonsolidasi* ini dapat diselesaikan dengan baik. Tesis ini merupakan salah satu syarat lulus program studi Magister Teknik Sipil, Konsentrasi Geoteknik, Program Pascasarjana Universitas Katolik Parahyangan.

Selama proses penulisan tesis ini, tentunya sering kali tidak berjalan dengan lancar banyak hal yang penulis alami baik secara fisik maupun emosional. Namun, penulis sangat bersyukur atas kehadiran orang-orang yang selalu memberikan semangat, dorongan, dan masukan bagi penulis sehingga segala hambatan tersebut dapat diatasi dan diselesaikan dengan baik. Pada kesempatan ini penulis secara pribadi ingin mengucapkan terima kasih secara khususnya kepada:

1. Kedua orang tua dan abang kandung penulis yang tak pernah lelah dalam memberikan semangat mental dan juga segi emosional, motivasi, nasihat, dan doa yang tulus sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini dengan baik.
2. Bapak Prof. Paulus Pramono Rahardjo, Ph.D, selaku dosen pembimbing dan Bapak Aswin Lim, Ph.D, selaku dosen ko-pembimbing yang telah berkenan menjadi pembimbing yang memberikan ide, saran, masukan, dan juga bantuan selama proses pengerjaan tesis ini.
3. Bapak Budijanto Widjaja, Ph.D., dan Dr. Ir. Rinda Karlinasari, M.T., selaku dosen penguji yang telah berkenan meluangkan waktu untuk membantu memberikan saran-saran yang sangat berguna dalam pengerjaan tesis ini.
4. Seluruh dosen Magister Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan yang telah memberikan ilmu dan pengalamannya kepada penulis selama masa studi penulis di Unpar.

5. Teman-teman Magister Teknik Sipil Unpar konsentrasi Geoteknik yang telah menjadi teman seperjuangan selama masa perkuliahan dan penyusunan tesis ini.
6. Rekan-rekan di PT. Geotechnical Engineering Consultant yang senantiasa memberikan dukungan dan berbagi ilmu yang sangat berharga, serta masukan dan saran-saran selama penyusunan tesis.
7. Karyawan Tata Usaha Magister Teknik Sipil UNPAR yang telah membantu penulis dalam mengurus hal-hal administratif selama proses perkuliahan.

Penulis meyakini bahwa penulisan tesis ini masih jauh dari kata sempurna, mengingat adanya keterbatasan waktu dan kemampuan penulis. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang dapat membangun untuk kedepannya dari perkembangan ilmu pengetahuan nantinya.

Bandung, Agustus 2024

Davin Alcander

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	i
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	iv
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	14
1.1 Latar Belakang	14
1.2 Inti Permasalahan	15
1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian.....	15
1.4 Ruang Lingkup Penelitian.....	16
1.5 Hipotesa.....	17
1.6 Sistematika Penulisan	17
1.7 Diagram Alir	19
BAB 2 STUDI PUSTAKA	20
2.1 Penyelidikan Tanah.....	20
2.1.1 Standar Penetration Test (SPT).....	20
2.1.2 Deskripsi CPTu.....	22
2.1.3 Penentuan Parameter Tanah.....	32
2.2 Consolidation	39
2.3 Excess Pore Pressure (Δu).....	46
2.4 Konsep Tekanan Lateral Tanah	47
2.5 Dewatering	49
2.6 Sheet pile.....	51
2.7 Metode Galian Dalam	53
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	56

3.1	Metode dalam analisa tanah <i>Underconsolidating</i>	56
3.1.1	Penentuan Parameter Kuat Geser Tanah Lempung	57
3.1.2	Penentuan Parameter Sudut Geser Dalam Tanah Lempung.....	62
3.1.3	Sensitivity	63
3.1.4	Karakteristik Deformasi	65
3.1.5	Karakteristik Aliran dan Konsolidasi	68
3.2	Metode Menentukan Derajat Konsolidasi Berdasarkan Uji CPTu.....	74
3.2.1	Metode Schmertmann.....	74
3.2.2	Metode Ekstrapolasi Dari Uji Disipasi.....	76
3.2.3	Metode Penentuan Dari Nilai <i>Pore Pressure Ratio</i> (B_q), dan <i>Modified Pore Pressure Ratio</i> (B_q^*) Terhadap OCR	80
3.3	Metode Elemen Hingga	90
3.3.1	Hyperbolic Model (Hardening Soil Model)	90
BAB 4	STUDI KASUS	95
4.1	Kondisi Geologi.....	95
4.2	Latar Belakang Proyek	96
4.3	Data In-Situ dan Laboratorium Testing.....	98
4.3.1	Uji Laboratorium	101
4.3.2	Interpretasi Data Borhole.....	106
4.3.3	Intepretasi Data Uji CPTu	108
4.4	Evaluasi Derajat Konsolidasi dan Residual Pore Pressure Berdasarkan Data Uji CPT/CPTu.....	118
4.4.1	Hasil CPTu-01	118
4.4.2	Hasil CPTu-02	122
4.4.3	Hasil CPTu-03	125
4.4.4	Hasil CPTu-04	128

4.4.5	Hasil CPTu-05.....	131
4.4.6	Hasil CPTu-06.....	134
4.5	Hasil Kajian Interpretasi Parameter Tanah Desain	142
4.6	Hasil Analisa Menggunakan PLAXIS 2D	143
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN.....	150
5.1	Kesimpulan	150
5.2	Saran.....	153
	Daftar Pustaka	154



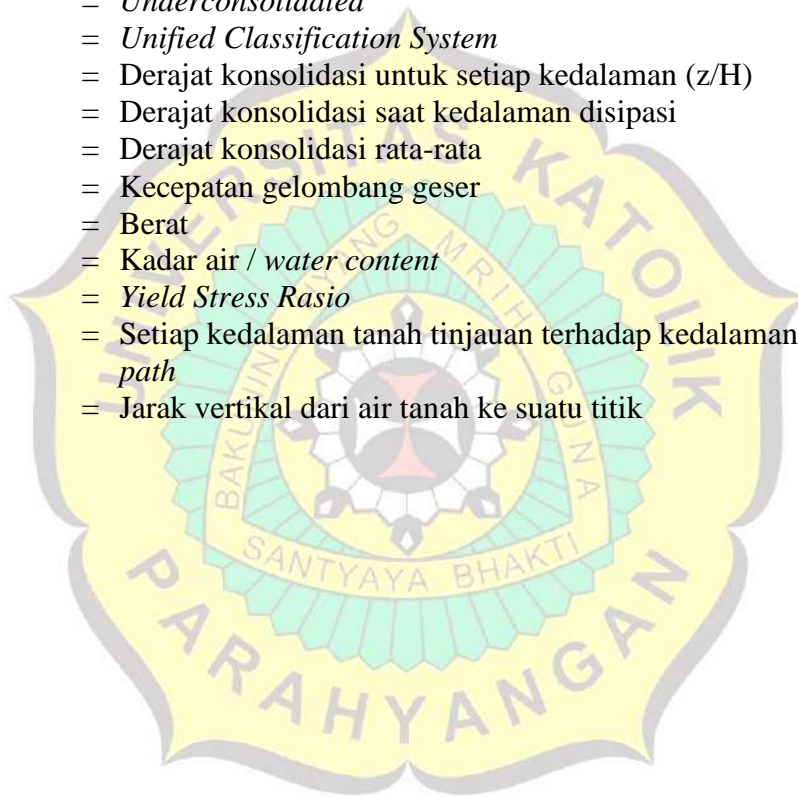
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

A	=	Luas penampang
a	=	Net area ratio atau faktor koreksi konus
α	=	Koefisien empirik, ($\approx \sin \phi'$)
ASTM	=	<i>American Society for Testing and Materials</i>
BH	=	<i>Bor Hole</i>
B_q	=	Rasio tekanan air pori
B_q^*	=	Rasio tekanan air pori modifikasi
CS	=	<i>Cross section</i>
CSSM	=	<i>Critical State Soil Mechanics</i>
c	=	Koefisien konsolidasi
c'	=	Kohesi efektif
$c_u = s_u$	=	kuat geser tak terdrainase / tak teralir
C_c	=	Indeks kompresi
c_h	=	Koefisien konsolidasi horizontal
CH	=	Lempung dengan plastisitas tinggi
CPT	=	<i>Cone Penetration Test</i>
CPTe	=	<i>Cone Penetration Test</i> elektrik
CPTu	=	<i>Cone Penetration Test</i> tambahan batu pori untuk pengukuran tekanan air pori (uji <i>Piezocoone</i>)
CU	=	<i>Consolidated Undrained (triaxial)</i>
c_v	=	Koefisien konsolidasi vertikal
δ_{hm}	=	Deformasi maksimum horizontal
δ_{vm}	=	Deformasi maksimum vertikal
Δu	=	Tekanan air pori eksek
$\Delta \sigma$	=	Penambahan tegangan akibat pembebanan
$\Delta \sigma'$	=	Penambahan tegangan efektif
$\Delta \sigma_z$	=	Tegangan overburden tanah saat kedalaman disipasi
ψ	=	Sudut dilatasi
ε	=	<i>Axial strain</i>
e	=	<i>Void ratio</i>
EA	=	Kekakuan aksial
EI	=	Kekakuan lentur
E	=	Modulus elastis
E_{50}^{ref}	=	Modulus <i>secant elastic reference</i>
E_{50}	=	Modulus <i>secant elastic</i>
E_{ur}^{ref}	=	Modulus <i>unloading-reloading reference</i>
E_{ur}	=	Modulus <i>unloading-reloading</i>
E_{oed}^{ref}	=	Modulus <i>oedometer reference</i>
E_{oed}	=	Modulus <i>oedometer</i>
E_u/S_u	=	<i>Stiffness ratio</i>
f_c'	=	Mutu beton
f_s	=	Tahanan selimut / <i>sleeve friction</i>
GWL	=	<i>Groundwater Level</i>
G	=	Modulus geser
G_o	=	Modulus geser maksimum kondisi initial

γ_d	= Berat isi tanah kering
γ_{sat}	= Berat isi tanah teralir
γ_{unsat}	= Berat isi tanah tak teralir
γ_w	= Berat isi air
$H = H_{exc}$	= Tinggi galian tanah
H_{dr}	= <i>Drainage path</i>
HSM	= <i>Hardening Soil Model</i>
I	= Momen inersia
I_c	= <i>Soil Behaviour Type Index</i>
$IP = I_p = PI$	= Indeks plastisitas / <i>plasticity index</i>
I_r	= <i>Rigidity index</i>
k	= Konstanta pada pendekatan OCR dari σ'_c
k	= Koefisien permeabilitas
κ^*	= Indeks muai termodifikasi
K_a	= Tekanan lateral tanah aktif
k_h	= Koefisien permeabilitas horizontal
k_h/k_v	= Rasio permeabilitas
K_o	= Tekanan lateral tanah <i>at-rest</i> atau <i>In-situ stress ratio</i>
$K_{o,OC}$	= Koefisien lateral tanah saat kondisi diam pada <i>overconsolidated</i>
$K_{o,NC}$	= Koefisien lateral tanah saat kondisi diam pada <i>normally consolidated</i>
K_p	= Tekanan lateral tanah pasif
k_v	= Koefisien permeabilitas vertikal
L	= Panjang <i>sheet pile</i>
λ^*	= Indeks kompresi termodifikasi
LI	= Indeks cair / <i>liquidity index</i>
LL	= Batas cair
MEH	= Metode Elemen Hingga
M	= Modulus terkekang satu dimensi (<i>constraint modulus</i>); <i>bending moment</i>
m	= Fungsi dari I_c untuk jenis tanah
μ^*	= Indeks rangkai termodifikasi
m_v	= Koefisien kompresibilitas volume
n	= Eksponen tegangan
$N = N_{SPT}$	= Jumlah pukulan pada <i>Standar Penetration Test</i>
NC	= <i>Normally Consolidated</i>
$N_{\Delta u}$	= Faktor koreksi tekanan air pore eksek
NGI	= <i>Norwegian Geotechnical Institute</i>
N_{ke}	= Faktor koreksi konus “efektif”
N_{kt}	= Faktor koreksi konus
N_q^*	= Faktor daya dukung ujung konstant
N_s	= Konstanta <i>sensitivity</i>
v	= <i>poisson ratio</i>
OC	= <i>Over Consolidated</i>
OCR	= <i>Overconsolidated Ratio</i>
OH	= Lempung organik dengan plastisitas tinggi
OL	= Lempung organik dengan plastisitas rendah

P_a	= Atmospheric pressure
PL	= Batas plastis
PLAXIS	= Plain strain and axialsymmetry
PPSV	= Normalized pore pressure difference
ϕ	= Sudut geser dalam
ϕ'	= Sudut geser dalam efektif
PVD	= Prefabricated Vertical Drain
Q_a	= Endapan Alluvium
q_c	= Tahanan ujung konus
q_e	= Tahanan ujung konus “efektif”
q_t	= Tahanan ujung konus terkoreksi
$q_{t,target}$	= Tahanan ujung konus saat normally consolidated (equivalent line)
$Q_t = Q_{tn}$	= Normalized Cone Resistance
r	= Jari-jari probe
R_f	= Friction ratio
SBT	= Soil Behaviour Type
SBTn	= Soil Behaviour Type Normalized
S_c	= Primary consolidation settlement
S_e	= Elastic settlement
S_s	= Secondary consolidation settlement
S_T	= Total settlement
S_t	= Sensitivitas/Sensitivity
S_{uc}	= kuat geser undrained dari uji triaksial compression
S_{ud}	= kuat geser undrained dari uji direct simple shear
S_{ue}	= kuat geser undrained dari uji triaksial extension
S_{ur}	= Undrained shear strength remolded
S_{uu}	= Undrained shear strength unremolded
S_u/σ'_{vo}	= Undrained shear strength ratio
$S_{u(lab)}$	= Kuat geser tak teralir rata-rata dari uji lab
$\sigma_1 - \sigma_3$	= Deviatoric stress
$(\sigma_1 - \sigma_3)_f$	= Ultimate deviatoric failure
$(\sigma_1 - \sigma_3)_{ult}$	= Ultimate deviatoric stress
σ_a	= Tekanan aktif
σ'_c	= Tegangan prakonsolidasi
σ'_h	= Tegangan lateral efektif
$\sigma'_o = \sigma'_v$	= Tegangan vertikal efektif (overburden pressure)
σ_p	= Tekanan pasif
σ_{vo}	= Tekanan overburden
σ'_{vo}	= Tekanan overburden efektif
SNI	= Standar Nasional Indonesia
SPT	= Standar Penetration Test
SSM	= Soft Soil Model
t	= Waktu atau periode
t_{50}	= Waktu saat disipasi 50%
T^*	= Modified dimensionless time factor
u	= Tekanan air pori total
u_{cone}	= Tekanan air pori terbentuk akibat penusukan konus

u_f	= Tekanan air pori final; <i>residual excess pore pressure</i> selama terkonsolidasi tanah endapan <i>underconsolidating</i>
u_i	= Tekanan air pori initial/ awal waktu $t = 0$
u_o	= Tekanan air pori hidrostatik
$u_{residual}$	= <i>Residual excess pore pressure</i>
u_t	= Tekanan air pori pada waktu t
u_T	= <i>Measured pore pressure</i>
u_x	= <i>Total lateral displacements</i>
u_w	= Tekanan hidrostatik <i>in-situ</i> pada uji disipasi
u_1	= Tekanan air pori terukur di ujung konus
u_2	= Tekanan air pori terukur di belakang konus
u_{100}	= Tekanan hidrostatik pada <i>underconsolidating soil</i>
U	= Derajat konsolidasi
UC	= <i>Underconsolidated</i>
$USCS$	= <i>Unified Classification System</i>
$U_{t,z}$	= Derajat konsolidasi untuk setiap kedalaman (z/H)
U_z	= Derajat konsolidasi saat kedalaman disipasi
\bar{U}	= Derajat konsolidasi rata-rata
V_s	= Kecepatan gelombang geser
W	= Berat
$w = w_n$	= Kadar air / <i>water content</i>
YSR	= <i>Yield Stress Ratio</i>
z/H	= Setiap kedalaman tanah tinjauan terhadap kedalaman <i>drainage path</i>
z_w	= Jarak vertikal dari air tanah ke suatu titik



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Prosedur Pengujian dengan SPT (sumber: geengineer.org)	21
Gambar 2.2 Klasifikasi tanah dengan uji CPTu (Janbu & Senneset, 1984)	23
Gambar 2.3 Terminologi alat <i>Cone Penetrometer</i> pembacaan tekanan pori (Lunne et al., 1997)	24
Gambar 2.4 Konfigurasi tampang melintang <i>piezocone</i> (Randolph, 2004)	24
Gambar 2.5 Notasi dan simbol pada CPTu (Senneset et al., 1989)	25
Gambar 2.6 Sistem klasifikasi berdasarkan <i>soil behaviour type</i> (Douglas dan Olsen, 1981)	27
Gambar 2.7 Kurva klasifikasi <i>soil behaviour type</i> (Robertson et al., 1986)	29
Gambar 2.8 Kurva klasifikasi <i>soil behaviour type</i> (Robertson et al., 1986, updated by Robertson, 2010)	29
Gambar 2.9 Kurva klasifikasi <i>soil behaviour type</i> dengan parameter CPT/CPTu ternormalisasi (Robertson et al., 1990)	30
Gambar 2.10 <i>Normalized CPT/CPTu</i> dengan <i>Soil Behavior Type Index, I_c</i> (Robertson, 1990, updated by Robertson, 2010)	30
Gambar 2.11 Perbandingan menggunakan profil data CPTu yang sama (a) <i>updated SBT</i> (Robertson, 2010) dengan (b) <i>SBTn</i> (Robertson, 1990)	31
Gambar 2.12 Korelasi nilai <i>S_u</i> tanah kohesif berdasarkan nilai <i>N_{SPT}</i> (Sowers, 1979)	33
Gambar 2.13 Korelasi <i>stiffness ratio, E/s_u</i> , terhadap fungsi OCR (Duncan & Buchignani, 1976)	33
Gambar 2.14 Batas-batas Atterberg Limits (M. Das, 2015; Atterberg, 1911)	35
Gambar 2.15 OCR dan <i>K_o</i> dari <i>s_u/σ'vo</i> dan <i>I_p</i> (After Andresen et al., 1979 dan Brooker dan Ireland, 1965)	37
Gambar 2.16 Estimasi <i>K_o</i> dari data CPTu (Kulhawy dan Mayne, 1990)	38
Gambar 2.17 <i>Normalized pore pressure difference (PPSV)</i> vs <i>K_o</i> (Sully and Campanella, 1991)	39
Gambar 2.18 Prinsip dari konsolidasi (Das, 1995)	40
Gambar 2.19 Plot waktu vs deformasi selama konsolidasi dengan pemberian beban (Braja M. Das, 1995)	41
Gambar 2.20 Skema keadaan <i>excess pore pressure</i> saat <i>Immediate Settlement</i> (Budhu, 2007)	41
Gambar 2.21 Skema keadaan <i>excess pore pressure</i> saat <i>Consolidation Settlement</i> (Budhu, 2007)	43
Gambar 2.22 Variasi nilai tegangan efektif, tekanan air pori eksese dan tegangan total dari lapisan tanah lempung akibat pembebanan di atasnya (Braja M. Das, 1995)	44
Gambar 2.23 Kurva <i>e-log σ'</i> dari hasil uji konsolidasi (Cassagrande, 1936)	45
Gambar 2.24 Skema Tekanan Lateral Tanah akibat galian (Ou, 2006)	47
Gambar 2.25 Ilustrasi <i>dewatering</i> pada galian (Rahardjo, 2018)	50
Gambar 2.26 (a) Penurunan <i>dewatering</i> pada <i>cut of wall penetration</i> lapisan tanah kedap (b) atau <i>grout</i> pada bawah galian dengan lapisan kedap jauh dibawah (Rahardjo, 2018)	50

Gambar 2.27 Metode <i>Sheet pile</i> baja (Ou, 2006).....	51
Gambar 2.28 (a) <i>Corrugated Sheet pile</i> (b) <i>Steel Sheet pile</i> (GEC, 2023 & Indoprecast, 2020) ...	53
Gambar 2.29 <i>Type of Ground surface settlements</i> (Ou, 2006)	55
Gambar 3.1 Hubungan faktor koreksi konus, N_{kt} terhadap <i>plasticity index</i> , I_P (Aas et al., 1986) .	58
Gambar 3.2 Hubungan N_{kt} terhadap B_q (Karlsrud et al., 1996).....	59
Gambar 3.3 Hubungan faktor koreksi konus, N_{ke} terhadap B_q (Karlsrud et al., 1996).....	60
Gambar 3.4 Hubungan $N_{\Delta u}$ terhadap B_q (Karlsrud et al., 1996).....	61
Gambar 3.5 Estimasi nilai kuat geser efektif pada kondisi <i>overconsolidated</i> , c'_{oc} , dengan kuat geser tak teralir, c_u (Sorensen & Okkels, 2013).....	62
Gambar 3.6 Rasio friksi, R_f terhadap sensitifitas, S_r (Rad dan Lunne, 1986)	64
Gambar 3.7 Korelasi Tahanan ujung sondir dengan indeks kompresi, C_c (modified from Sanglerat, 1972)	66
Gambar 3.8 Kurva klasifikasi tanah berdasarkan tahanan konus ternormalisasi dan modulus geser pada regangan kecil (Robertson et al., 1995)	68
Gambar 3.9 Pendekatan teoritis untuk tekanan air pori terdisipasi yang ternormalisasi terhadap faktor waktu, T^* (Houlsby dan Teh, 1991)	71
Gambar 3.10 Kurva untuk menentukan c_h terhadap t_{50} (Robertson et al., 1992)	73
Gambar 3.11 Kurva evaluasi nilai k_h terhadap t_{50} pada CPTu luas penampang probe 10 cm ² (Robertson et al., 1992).....	74
Gambar 3.12 Contoh Interpretasi dari <i>Degree of consolidation</i> , lapisan pasir dan lempung (a) <i>Normally Consolidation</i> (b) <i>Overconsolidation</i> , (c) <i>Underconsolidating</i> (Schmertmann, 1978) ...	75
Gambar 3.13 <i>Dissipation test</i> pada tanah <i>underconsolidating</i> (Rahardjo, 2008)	77
Gambar 3.14 Pengaruh <i>stress history</i> pada kurva disipasi (Rahardjo et al., 2005).....	77
Gambar 3.15 Persepsi dari tekanan pori pada tanah endapan untuk kondisi <i>underconsolidating</i> dan <i>full-consolidated</i> (Lim et al, 2014).....	78
Gambar 3.16 Ilustrasi hasil uji disipasi (Lim et al., 2014).....	78
Gambar 3.17 Metode <i>Inverse Time</i> (Lim et al., 2014) dan Metode <i>Inverse Square Root Time</i> (Liu et al., 2014).....	79
Gambar 3.18 Korelasi derajat konsolidasi berdasarkan nilai B_q (Rahardjo et al., 2015)	81
Gambar 3.19 Prediksi nilai <i>pore water pressure</i> pada tanah lunak dengan timbunan dari uji CPTu (Tanaka dan Sakagami, 1989).....	82
Gambar 3.20 Hubungan antara tegangan vertikal efektif dan tekanan air pori eksese pada tanah lunak dengan timbunan (Rahardjo dan Santoso, 2016).....	83
Gambar 3.21 Contoh penentuan bagian lapisan yang <i>underconsolidating</i> dengan mengasumsikan perkiraan profil qt pada $U = 100\%$ (Arafianto, 2017)	84
Gambar 3.22 Contoh <i>Isochrone</i> berdasarkan pendekatan tegangan efektif (Arafianto, 2017)	85
Gambar 3.23 Evaluasi hasil uji sondir dengan kuat geser tanah lempung berdasarkan hasil uji <i>vane shear</i> (Begemann, 1963)	87

Gambar 3.24 <i>Dissipation Test</i> penentuan <i>degree of consolidation</i> terhadap B_q (Setionegoro & Rahardjo, 2013)	88
Gambar 3.25 <i>Dissipation Test</i> penentuan <i>degree of consolidation</i> terhadap B_q^* (Rahardjo & Setiawan, 2015)	89
Gambar 3.26 Hubungan B_q dan B_q^*	89
Gambar 3.27 Perbedaan hubungan tegangan-regangan pada <i>Hardening Soil</i> (Al-Shayea et.al, 2003).....	91
Gambar 3.28 (a) Hubungan tegangan-regangan pada triaksial untuk parameter <i>hyperbolic model</i> ; (b) Hasil uji triaksial diplot pada sumbu untuk memperoleh E_i dan $(\sigma_1 - \sigma_3)_{ult}$; (c) Perhitungan nilai 'K' dan 'n' pada uji triaksial (Asadi et.al, 2017)	91
Gambar 4.1 Material tanah (a) timbunan (b) lempung <i>alluvium</i> atau <i>marine clay</i> disertai cangkang hewan laut (GEC, 2023)	95
Gambar 4.2 Peta geologi Kota Semarang (Dinas Penataan Ruang Kota Semarang, 2023)	96
Gambar 4.3 Lokasi dan kondisi area tinjauan pada kunjungan Lapangan (GEC, 2023)	97
Gambar 4.4 Dokumentasi kegagalan <i>sheet pile</i> pasca dilakukan galian kanal (GEC, 2023)	98
Gambar 4.5 Denah penyelidikan tanah dan posisi <i>cross section</i> (Politeknik Negeri Semarang, 2021)	100
Gambar 4.6 Lokasi titik pengujian CPTu (GEC, 2023)	101
Gambar 4.7 Hasil uji laboratorium pada berat jenis (γ)	102
Gambar 4.8 Hasil uji laboratorium untuk parameter kuat geser	102
Gambar 4.9 Hasil uji laboratorium untuk <i>water content</i> , <i>Liquid Limit</i> , dan <i>Plastic Limit</i>	103
Gambar 4.10 Hasil uji laboratorium untuk indeks plastisitas, dan indeks likuiditas	104
Gambar 4.11 Hasil uji laboratorium pada indeks kompresi (C_c), dan koefisien konsolidasi vertikal (C_v)	105
Gambar 4.12 Hasil uji laboratorium untuk klasifikasi USCS	105
Gambar 4.13 Perkiraan stratifikasi tanah data uji bor teknis <i>Cross Section 1</i> (GEC, 2023)	106
Gambar 4.14 Perkiraan stratifikasi tanah data uji bor teknis <i>Cross Section 2</i> (GEC, 2023)	107
Gambar 4.15 Perkiraan stratifikasi tanah data uji bor teknis <i>Cross Section 3</i> (GEC, 2023)	108
Gambar 4.16 Hasil Pengujian CPTu-01	110
Gambar 4.17 Hasil Uji Disipasi CPTu-01	110
Gambar 4.18 Hasil Pengujian CPTu-02	111
Gambar 4.19 Hasil Uji Disipasi CPTu-02	112
Gambar 4.20 Hasil Pengujian CPTu-03	113
Gambar 4.21 Hasil Uji Disipasi CPTu-03	113
Gambar 4.22 Hasil Pengujian CPTu-04	114
Gambar 4.23 Hasil Uji Disipasi CPTu-04	115
Gambar 4.24 Hasil Pengujian CPTu-05	116
Gambar 4.25 Hasil Uji Disipasi CPTu-05	116
Gambar 4.26 Hasil Pengujian CPTu-06	117

Gambar 4.27 Hasil Uji Disipasi CPTu-06	118
Gambar 4.28 Hasil evaluasi dalam estimasi derajat konsolidasi pada data uji CPTu-01 dengan metode (a) Schmertmann, (b) Pendekatan nilai B_q, B_q^* , (c) Pendekatan tegangan efektif, (d) Hasil interpretasi <i>Isochrone</i> untuk <i>residual excess pore pressure</i> (e) Ekstrapolasi Uji Disipasi.....	121
Gambar 4.29 Hasil evaluasi dalam estimasi derajat konsolidasi pada data uji CPTu-02 dengan metode (a) Schmertmann, (b) Pendekatan nilai B_q, B_q^* , (c) Pendekatan tegangan efektif, (d) Hasil interpretasi <i>Isochrone</i> untuk <i>residual excess pore pressure</i> (e) Ekstrapolasi Uji Disipasi.....	124
Gambar 4.30 Hasil evaluasi dalam estimasi derajat konsolidasi pada data uji CPTu-03 dengan metode (a) Schmertmann, (b) Pendekatan nilai B_q, B_q^* , (c) Pendekatan tegangan efektif, (d) Hasil interpretasi <i>Isochrone</i> untuk <i>residual excess pore pressure</i> (e) Ekstrapolasi uji disipasi	127
Gambar 4.31 Hasil evaluasi dalam estimasi derajat konsolidasi pada data uji CPTu-04 dengan metode (a) Schmertmann, (b) Pendekatan nilai B_q, B_q^* , (c) Pendekatan tegangan efektif, (d) Hasil interpretasi <i>Isochrone</i> untuk <i>residual excess pore pressure</i> (e) Ekstrapolasi uji disipasi	130
Gambar 4.32 Hasil evaluasi dalam estimasi derajat konsolidasi pada data uji CPTu-05 dengan metode (a) Schmertmann, (b) Pendekatan nilai B_q, B_q^* , (c) Pendekatan tegangan efektif, (d) Hasil interpretasi <i>Isochrone</i> untuk <i>residual excess pore pressure</i> (e) Ekstrapolasi uji disipasi	133
Gambar 4.33 Hasil evaluasi dalam estimasi derajat konsolidasi pada data uji CPTu-06 dengan metode (a) Schmertmann, (b) Pendekatan nilai B_q, B_q^* , (c) Pendekatan tegangan efektif, (d) Hasil interpretasi <i>Isochrone</i> untuk <i>residual excess pore pressure</i> (e) Ekstrapolasi uji disipasi	136
Gambar 4.34 <i>Underconsolidating soil</i> untuk metode empiris B_q, B_q^* , dan tegangan efektif pada (a) CPTu-01 (b) CPTu-02 (c) CPTu-03 (d) CPTu-04 (e) CPTu-05 (f) CPTu-06	140
Gambar 4.35 Estimasi nilai s_u pada uji CPTu.....	142
Gambar 4.36 Potongan yang akan menjadi acuan dalam kajian <i>Back Analysis</i> (GEC, 2023).....	144
Gambar 4.37 Pemodelan dan <i>staged construction</i> pada PLAXIS 2D	145
Gambar 4.38 Hasil pemodelan <i>excess pore pressure</i> dari program PLAXIS dengan metode empiris	146
Gambar 4.39 (a) Hasil deformasi lateral dari program PLAXIS (b) hasil keseluruhan deformasi	147
Gambar 4.40 Hasil <i>Bending moment</i> pada pemodelan <i>sheet pile</i> PLAXIS	148

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Variasi korelasi N_{SPT} dengan nilai kohesi <i>undrained</i> , c_u tanah lempung (Terzaghi and Peck, 1967).....	22
Tabel 2.2 Hubungan N_{SPT} dengan modulus elastisitas, E pada tanah kohesif dan non-kohesif (Briaud, 1992).....	22
Tabel 2.3 Korelasi nilai modulus tanah kohesif (Briaud, 2013)	33
Tabel 2.4 Hubungan nilai indeks plastisitas dengan jenis tanah menurut Atterberg (Sowers, 1979)	34
Tabel 2.5 Klasifikasi tanah lempung berdasarkan indeks plastisitas, I_p (Burmister, 1949).....	34
Tabel 3.1 Sensitivitas tanah lempung (Peck et al., 1951)	65
Tabel 3.2 Korelasi hasil uji sondir dengan kompresibilitas tanah lempung dan pasir (Mitchell dan Garner, 1975).....	66
Tabel 3.3 Kumpulan korelasi <i>Stress-strain Modulus</i> (E_s) vs <i>Cone Resistance</i> (q_c).....	67
Tabel 3.4 <i>Modified time factors</i> , T^* dari analisis konsolidasi (Houlsby dan Teh, 1988).....	70
Tabel 3.5 Rasio permeabilitas, k_h/k_v pada tanah lempung lunak (Jamiolkowski et al., 1985).....	72
Tabel 3.6 Kriteria nilai dari parameter kuat geser (Janbu dan Senneset, 1984).....	88
Tabel 4.1 Rangkuman dari hasil bor log.....	99
Tabel 4.2 Rangkuman dari hasil uji CPTu.....	100
Tabel 4.3 <i>Matching Cross Section</i> berdasarkan denah hasil data antara uji CPTu & <i>Bor log</i>	101
Tabel 4.4 Resume derajat konsolidasi rata-rata sepanjang <i>underconsolidating soil</i> pada data CPTu	140
Tabel 4.5 Resume derajat konsolidasi pada <i>Dissipation Test</i> terukur dengan metode empiris.....	141
Tabel 4.6 Resume <i>excess pore pressure</i> pada <i>Dissipation Test</i> terukur dengan metode empiris ..	141
Tabel 4.7 Parameter desain.....	144
Tabel 4.8 <i>Properties Corrugated Sheet pile</i>	145

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 DENAH & DOKUMENTASI LAPANGAN	160
LAMPIRAN 2 DATA UJI IN-SITU BOR TEKNIS DAN SONDIR.....	171
LAMPIRAN 3 DATA UJI IN-SITU CPTU & DISSIPATION TEST	220
LAMPIRAN 4 DATA UJI LABORATORIUM	326
LAMPIRAN 5 BROSUR DAN LAMPIRAN LAIN	330



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Infrastruktur pada daerah reklamasi yang berkembang pesat saat ini tentu sangat membangun nilai ekonomi kawasan pesisir serta penambahan lahan, namun perlu disadari tentu ada dampak pembangunan reklamasi terutama pada daerah perkotaan seperti peningkatan potensi banjir dan genangan di wilayah pesisir, maka diperlukan suatu sistem pengaliran atau akses agar bisa terhubung antara daerah perkotaan menuju daerah reklamasi dan dialirkan keluar melalui kanal pada daerah reklamasi. Selama pengerjaan kanal di daerah reklamasi diperlukan faktor penunjang berupa sistem proteksi galian dalam dan guna menjaga infrakstruktur yang akan dibangun dan sekitarnya. Faktanya, galian sudah banyak diterapkan dalam tempat yang padat penduduk dan perkotaan.

Kondisi geologis yang akan menentukan tipe dan konstruksi dari *retaining walls* dan seberapa pengaruhnya perilaku tanah galian (Ou, 2006). Hasil kajian tentang struktur geologi dan pola morfologi menunjukkan bahwa pola penurunan tanah di Kota Semarang tidak berhubungan langsung dengan aktivitas tektonik tetapi lebih banyak disebabkan oleh faktor endapan alluvium berumur muda yang berkonsolidasi secara alamiah (Wardana et al., 2014). Sebagian besar pekerjaan galian pada tanah lunak wajib mempertimbangkan adanya deformasi yang terjadi pada tanah, maka parameter berkaitan seperti halnya modulus elastisitas (E) pada pergerakan deformasi dinding penahan tanah dan tekanan pori eksese.

Penurunan atau deformasi pada gedung-gedung, fasilitas, dan utilitas yang bersebelahan dengan galian dalam tergantung pada beberapa faktor antara lain pergerakan horizontal dari *retaining wall*, waktu konstruksi *basement*, penurunan *groundwater level*, kekakuan sistem penahan strut, kekakuan tipe pondasi dari gedung sebelah (Q. T. Huynh et al., 2019). Maka dalam perencanaan perlu diperhatikan aspek tersebut dengan mempertimbangkan desian dalam perencanaan *retaining wall* dan efek terhadap fasilitas dan utilitas sekitarnya.

1.2 Inti Permasalahan

Terdapat berbagai faktor yang berpengaruh terjadinya pergerakan tanah pada lereng galian kanal, dimana permasalahan yang dijumpai adalah keruntuhan pada penahan berupa *corrugated sheetpile* tidak memiliki panjang yang cukup memadai dalam jepitan tanah dibawahnya sehingga terbentuk bidang longsor/gelincir dan potensi *heaving* akibat dari kondisi menurunnya massa tanah timbunan yang memberikan dorongan pada bidang gelincir. Sehingga direkomendasi pengurangan timbunan dan adanya proteksi tambahan pada sisi galian baik dengan *retaining wall* dan perkuatan *backpile* seperti *bored pile*, *secant pile*, dan *ground anchor*.

Berdasarkan hasil penyelidikan tanah menunjukkan kondisi daerah sekitar dominan tanah lunak yang masih berkonsolidasi atau *underconsolidating* dengan tebal lapisan tanah lunak memiliki kuat geser tanah yang relatif rendah, penimbunan reklamasi di atas tanah dasar lunak akan menghasilkan tekanan eksese tambahan pada material tanah lunak, maka perlu studi parametrik khusus tanah lunak yang masih berkonsolidasi pada daerah reklamasi Semarang dan guna mempercepat disipasi tekanan air pori eksese alternatif pengganti timbunan seperti *preloading* dengan PVD dan memperkirakan pengaruh deformasi dan gaya-gaya yang terjadi sepanjang *retaining wall* selama menahan tanah area galian dan sekitarnya yang masih berkonsolidasi.

1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud dari penelitian untuk memahami perilaku tanah dan seberapa pengaruhnya dari tanah lunak yang berkonsolidasi di wilayah reklamasi terhadap desain sistem proteksi galian, dan defleksi atau deformasi serta gaya-gaya yang terjadi pada sistem proteksi galian.

Tujuan dari penelitian ini terdiri dari :

1. Melakukan studi parametrik terkait perilaku tanah dan mekanisme deformasi *retaining wall* yang diperkuat.

2. Faktor yang berpengaruh signifikan antara tekanan tanah dan tekanan *residual pore pressure* terhadap *retaining wall*.
3. Melakukan analisis balik parameter tanah dengan pemodelan *Hardening Soil*.
4. Membandingkan hasil output analisis balik berupa deformasi, gaya-gaya dan momen yang terjadi pada *retaining wall* dengan dan tanpa perkuatan, dan akibat pengaruh dari tekanan eksese dan tekanan tanah pada galian tanah lunak (*alluvium*) yang masih berkonsolidasi.
5. Mengevaluasi deformasi yang terjadi pada *retaining wall* dengan perkuatan dan tanpa perkuatan.
6. Penentuan parameter kuat geser dan deformasi yang sesuai/ mendekati kondisi aktual.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Dalam mencapai tujuan dari penelitian maka ruang lingkup penelitian ini terdiri dari:

1. Studi kasus yang digunakan adalah proyek Pearl of Java di daerah Semarang, yang berada pada daerah sekitar reklamasi bagian kanal.
2. Jenis tanah yang ada pada daerah sekitarnya didominasi oleh tanah *Alluvium*.
3. Tinjauan literatur terkait *retaining wall*, galian (*excavation*), teori metode konstruksi dan proteksi galian serta perilaku dan parametrik tanah lunak *underconsolidating*.
4. Data yang digunakan dalam penelitian berupa data uji laboratorium dan uji *in-situ* seperti SPT, bor teknis, CPTu, dan spesifikasi parameterik desain *retaining wall* dan tanah lunak *underconsolidating*.
5. Mengkaji pergerakan lateral *retaining wall* pada hasil pemodelan untuk studi kasus dan studi parametrik.
6. Mengkaji efek dan pengaruh *residual pore pressure* terhadap deformasi dan gaya-gaya pada *retaining wall* untuk pemodelan studi kasus dan studi parametrik tanah *underconsolidating* berdasarkan derajat konsolidasi.

1.5 Hipotesa

Studi penelitian fokus terhadap efek atau pengaruh dari tekanan pori eksese residual terhadap *retaining wall*, mengkaji hasil deformasi dan gaya-gaya yang terjadi berdasarkan studi parametrik yang mempengaruhi.

Pada galian tanah lunak *underconsolidating* umumnya terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi gaya-gaya yang bekerja pada penahan tanah, yaitu akibat tekanan tanah, dan akibat tekanan air (*residual excess pore pressure*). Kedua faktor tersebut akan dianalisis terhadap deformasi dan gaya-gaya yang terjadi pada *retaining wall*. Hasil tersebut nantinya akan menjadi bahan evaluasi untuk studi parameterik terkait seberapa pengaruhnya efek tekanan tanah dan *residual excess pore pressure* pada *retaining structure* pada tanah masih berkonsolidasi daerah reklamasi Semarang.

Studi parameterik yang mempengaruhi kedua faktor tersebut juga akan dianalisis dari metode interpretasi dengan hasil uji laboratorium berupa parameter kuat geser pada tanah lunak yang masih berkonsolidasi yaitu kohesi dan sudut geser dalam serta parameter deformasi pada tanah lunak yaitu modulus tanah (E) dan permeabilitas (k) tanah sebagai kajian *sensitivity study* yang akan digunakan pada pendesainan terhadap tekanan pori eksese.

1.6 Sistematika Penulisan

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini akan menjelaskan tentang latar belakang, inti permasalahan, tujuan penelitian, maksud dan tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, hipotesa, metode penelitian, sistematika penulisan, dan diagram alir dari tesis.

BAB II STUDI PUSTAKA

Pada bab ini membahas terkait teori dasar yang dipelajari dari berbagai jurnal, karya tulis maupun *paper*. Kajian teori dimulai dari penyelidikan tanah, korelasi dan interpretasi parameter geoteknik berdasarkan penyelidikan tanah, galian dan timbunan, dan *retaining wall*.

BAB III METODE PENELITIAN

Pada bab ini akan membahas tentang kondisi geologi pada lokasi serta tahapan yang untuk melakukan penelitian diantaranya adalah mengumpulkan data sekunder, interpretasi data dan analisis dengan program elemen hingga. Hasil analisis tersebut akan kemudian dibandingkan dengan data hasil monitoring di lapangan.

BAB IV STUDI KASUS

Bab ini membahas terkait pengolahan data dan hasil analisis (*output*) dari penelitian tersebut dengan menggunakan beberapa metode yang diusulkan pada bab sebelumnya.

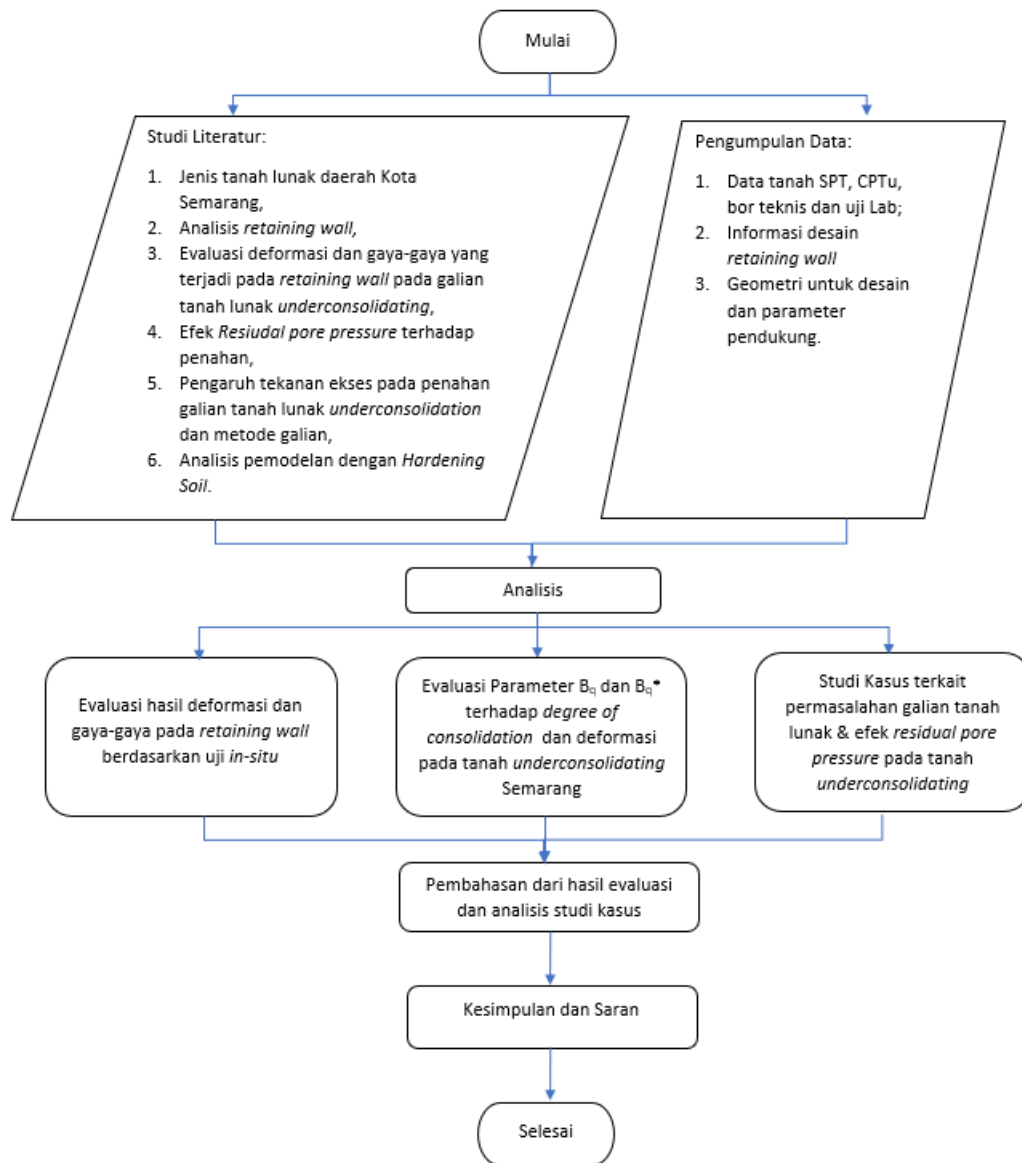
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini membahas beberapa rangkuman kesimpulan dan saran dari hasil penelitian.



1.7 Diagram Alir

Diagram alir pada penelitian ini adalah sebagai berikut



Gambar 1.1 Diagram Alir Penelitian