

SKRIPSI

**PERBANDINGAN ANALISIS FULLY COUPLED
STRESS-SEEPAGE DAN CONSOLIDATION PADA
TANGGUL DIKAWASAN PERAIRAN DENGAN
MENGUNAKAN MIDAS GTS NX**



**CHARELS EARTHQUAKE L WAMBRAUW
NPM: 6102001141**

PEMBIMBING: Martin Wijaya, S.T., Ph.D.

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK LAM Teknik No.0216/SK/LAM Teknik/AS/VIII/2023)
BANDUNG
JULI 2024**

SKRIPSI

**PERBANDINGAN ANALISIS FULLY COUPLED
STRESS-SEEPAGE DAN CONSOLIDATION PADA
TANGGUL DIKAWASAN PERAIRAN DENGAN
MENGUNAKAN MIDAS GTS NX**



**CHARELS EARTHQUAKE L WAMBRAUW
NPM: 6102001141**

PEMBIMBING: Martin Wijaya, S.T., Ph.D.

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK LAM Teknik No.0216/SK/LAM Teknik/AS/VIII/2023)
BANDUNG
JULI 2024**

SKRIPSI

**PERBANDINGAN ANALISIS FULLY COUPLED
STRESS-SEEPAGE DAN CONSOLIDATION PADA
TANGGUL DIKAWASAN PERAIRAN DENGAN
MENGUNAKAN MIDAS GTS NX**



**CHARELS EARTHQUAKE L WAMBRAUW
NPM: 6102001141**

BANDUNG, 19 JULI 2024

PEMBIMBING:

Martin Wijaya, S.T., Ph.D.

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK LAM Teknik No.0216/SK/LAM Teknik/AS/VIII/2023)
BANDUNG
JULI 2024**

SKRIPSI

**PERBANDINGAN ANALISIS FULLY COUPLED
STRESS-SEEPAGE DAN CONSOLIDATION PADA
TANGGUL DIKAWASAN PERAIRAN DENGAN
MENGUNAKAN MIDAS GTS NX**



**CHARELS EARTHQUAKE L WAMBRAUW
NPM: 6102001141**

PEMBIMBING: Martin Wijaya, S.T., Ph.D.

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

PENGUJI 2: Aswin Lim, Ph.D.

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK LAM Teknik No.0216/SK/LAM Teknik/AS/VIII/2023)
BANDUNG
JULI 2024**

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Charels Earthquake L Wambrauw
Tempat, tanggal lahir : Jayapura, 5 Maret 2004
NPM : 6102001141
Judul skripsi : **PERBANDINGAN FULLYCOUPLED STRESS-SEEPAGE DAN CONSOLIDATION PADA TANGGUL DIKAWASAN PERAIRAN DENGAN MENGGUNAKAN MIDAS GTS NX**

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, 19 Juli 2024



Charels E
Charels Earthquake L wambrauw

PERBANDINGAN ANALISIS FULLY COUPLED STRESS-SEEPAGE DAN CONSOLIDATION PADA TANGGUL DIKAWASAN PERAIRAN DENGAN MENGGUNAKAN MIDAS GTS NX

Charels Earthquake L Wambrauw
NPM: 6102001141

Pembimbing: Martin Wijaya, S.T., Ph.D.

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK LAM Teknik No.0216/SK/LAM Teknik/AS/VIII/2023)
BANDUNG
JULI 2024
ABSTRAK

Penerapan tanggul merupakan salah satu cara dalam mengendalikan pergerakan air di wilayah perairan. Namun, permasalahan yang dihadapi tanggul yang menggunakan material tanah adalah perembesan air sehingga menciptakan ketidakstabilan. Ketidakstabilan tersebut merupakan hasil penjumlahan dan perubahan tekanan air pori pada badan tanggul, dimana kemampuan ikat dan kuat geser mengalami penurunan yang disebabkan oleh perubahan rasio tekanan air pori terhadap pori udara, penurunan *suction* udara serta penurunan tegangan normal tanah. Tujuan penelitian ini adalah untuk membandingkan dua metode pada Software Midas GTS NX yaitu metode analisis konsolidasi dan *fully coupled stress seepage* dalam interpretasi interaksi tekanan air pori, pengaruh rembesan sungai terhadap angka faktor keamanan pada tanggul. Pada perbandingan tersebut, Analisis konsolidasi dan FC memiliki perbedaan dalam interpretasi tinggi piezometric air rembesan sungai. Analisis konsolidasi menafsirkan tinggi piezometrik air secara linear tanpa pengaruh tekanan air pori, sedangkan pada analisis *fully coupled stress seepage* tinggi piezometric rembesan sungai ditafsirkan dengan cara mempertimbangkan perbedaan tinggi tekanan piezometric air, sifat permeabilitas tanah serta pengaruh dari tekanan air pori residu akibat peningkatan tegangan saat penimbunan sehingga bersifat non-linear. Perbedaan penafsiran ini menyebabkan perbedaan pada distribusi tekanan air pori sehingga mempengaruhi hasil angka faktor keamanan pada tanggul serta perbedaan displacement tanggul. Hasil perbandingan tersebut juga menunjukkan bahwa kenaikan muka air pada lereng tanggul akan menyebabkan perubahan tingkat kejenuhan dan peningkatan tekanan air pori yang menyebabkan terjadi *uplift* pada tanggul sehingga angka faktor keamanan yang sebelum-nya memenuhi kriteria SNI 8460:2017 mengalami penurunan hingga 1.5 sehingga diperlukan perkuatan tanah. Perkuatan geogrid dapat meningkatkan angka faktor keamanan sebesar 24% hingga 57% dari angka awal.

Kata Kunci: *Fully Coupled Stress-Seepage*, konsolidasi, tekanan air pori dan tanggul

COMPARISON OF FULLY COUPLED STRESS-SEEPAGE AND CONSOLIDATION ANALYSIS ON LEEVE EMBANKMENT IN WATER AREA USING MIDAS GTS NX

**Charels Earthquake L Wambrauw
NPM: 6102001141**

Advisor: Martin Wijaya, S.T., Ph.D.

**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
JULY 2024**

ABSTRACT

The application of embankments is one way to control the movement of water in wetlands. However, the problem faced by embankments that use earthen materials is water seepage, which creates instability. This instability is the result of saturation and changes in pore water pressure in the embankment body, where the binding capacity and shear strength decrease due to changes in the ratio of pore water pressure to air pores, decreased air suction and decreased normal soil stress. The aim of this research is to compare two methods in the Midas GTS NX Software, namely the consolidation analysis method and fully coupled stress seepage in interpreting the interaction of pore water pressure, the influence of river seepage on the safety factor figures for embankments. In this comparison, consolidation analysis and FC have differences in interpretation of piezometric height of river seepage water. The consolidation analysis interprets the piezometric height of water linearly without the influence of pore water pressure, whereas in the fully coupled stress seepage analysis the piezometric height of river seepage is interpreted by considering differences in piezometric water pressure heights, soil permeability properties and the influence of residual pore water pressure due to increased stress during burial, therefore non-linear results. This difference in interpretation causes differences in the distribution of pore water pressure, thus affecting the results of the safety factor figures for the embankment as well as differences in embankment displacement. The results of this comparison also show that the increase in water level on the slope of the embankment will cause a change in the level of saturation and an increase in pore water pressure which will cause uplift in the embankment so that the safety factor figure which previously met the criteria of SNI 8460:2017 has decreased to 1.5 so that soil reinforcement is required. Geogrid reinforcement can increase the safety factor figure by 24% to 57% from the initial figure.

Keywords: Fully Coupled Stress-Seepage, Consolidation, water pore pressure dan embankment

PRAKATA

Puji dan syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Mahasa Esa atas segala berkah-nya dalam memberikan arahan dan kekuatan selama 20 tahun kami telah berada di dunia ini. Kami merasa terhormat dan bersyukur untuk kesempatan dalam kesempatan memperoleh ilmu dan konsep selama proses perkuliahan dan penulisan skripsi di Teknik Sipil Universitas Parahyangan. Proses penyelesaian skripsi tidak terlepas dari dukungan, bantuan dan doa restu dari berbagai pihak yang ikhlas memberikan pertolongan dalam proses penulisan ini. Oleh karena itu, dengan kerendahan hati, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Martin Wijaya, S.T., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing Utama. Saya secara khusus sangat berterimakasih kepada bapak Martin untuk membimbing dan membantu saya dalam proses menganalisis dan memodelkan tugas akhir. Bapak telah memberikan motivasi, solusi, waktu dan tenaga bapak tanpa batas. Dibuktikan dengan bapak bersedia menyediakan waktu hingga malam pun saya diberikan kesempatan asistensi Tugas Akhir ke kantor dan mengganggu istirahat bapak. Pertama kali bapak mengajar Geologi Teknik kelas saya waktu online (semester 2), dalam pikiran saya ingin bapak menjadi pembimbing saya skripsi nanti. Akhir-nya hal tersebut menjadi kenyataan.
2. Ibu Grisella Aglia, S.T., M.T., Saya berterimakasih kepada ibu dalam membantu dan memberikan arahan terhadap proses permodelan midas dan penyusunan laporan skripsi.
3. Para Dosen Fakultas Teknik, Saya juga berterimakasih untuk bapak/ibu dosen fakultas Teknik yang telah memberikan ilmu dan wawasan terkait segala aspek Teknik Sipil sehingga dapat menjadi bekal saya di dunia kerja.
4. Ibu tercinta saya Elisabeth V Wambrauw, S.T., M.T, Ph.D. yang telah mendidik saya menjadi karakter dan pribadi yang baik. Memberikan dorong, membesarkan dan mendidik saya sendirian sebagai single parent, memastikan kebutuhan tercukupi baik dalam aspek akademik

1. dan non akademik. Memberikan segenap perhatian dan kasih sayang buat saya sehingga saya tidak pernah merasa menjadi anak yang memiliki kekurangan.
2. Universitas Katolik Parahyangan selaku universitas dimana saya berkembang secara akademik dan karakter, dimana saya dibentuk untuk bertanggung jawab, mempertahankan prinsip-prinsip kejujuran dan integritas.
3. Department Tailings dan River Management Project (TRMP) PT.Freeport Indonesia sebagai wadah saya untuk memperoleh pengalaman magang dan membuka wawasan saya dalam menemukan passion saya untuk mengkaji lebih lanjut bidang geoteknik yang berkaitan dengan air. Secara khusus saya ingin berterimakasih kepada mentor-mentor diantaranya Pak Samuel, Pak Ariya, Pak Wendy, Pak Tino, Mr. Kerwin dan Jajaran Department TRMP.
4. Keluarga Besar untuk memberikan motivasi dan dukungan doa, memberikan semangat selama saya menempuh pendidikan di Unpar.

Bandung, 5 JULI 2024



Charels Earthquake L Wambrau

DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN.....	i
ABSTRAK.....	ii
ABSTRACT.....	iii
PRAKATA.....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xix
DAFTAR LAMPIRAN.....	xxi
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Inti Permasalahan.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Lingkup Bahasan.....	4
1.5 Metode Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	6
1.7 Diagram Alir Penelitian.....	7
BAB 2 DASAR TEORI.....	8
2.1 Stabilitas Lereng.....	8
2.1.1 Istilah “Stabilitas Lereng”.....	8
2.1.2 Faktor Penyebab Kegagalan Lereng.....	8
2.1.2.1 Faktor air dan rembesan.....	8
2.1.2.2 Faktor Pengaruh Manusia.....	9

2.1.2.3	Faktor Seismik	9
2.1.2.4	Faktor Geologi dan Komposisi Tanah	11
2.1.3	Analisis Stabilitas Lereng	11
2.1.3.1	Strength Reduction Method (SRM)	12
2.1.3.2	Stress Analisis Method (SAM)	12
2.2	Analisis Fully Coupled Stress-Seepage	12
2.3	Analisis Konsolidasi	13
2.4	Klasifikasi Jenis Tanah	14
2.4.1	Klasifikasi berdasarkan Hubungan Tekanan Air Total (u_2) terhadap Tekanan Hidrostatik (u_0)	14
2.4.2	Klasifikasi berdasarkan Hubungan Rasio Tekanan Pori dan Tahanan Konus	16
2.5	Parameter Kuat Tanah	18
2.5.1	Sudut Geser Dalam Tanah (Derajat)	18
2.5.2	Kohesi (C)	19
2.5.3	Berat Isi Tanah (γ)	20
2.5.4	Modulus Elastisitas Tanah (E)	22
2.5.5	Koefisien Permeabilitas Tanah (K)	22
2.5.6	Angka Rasio Poisson	24
2.6	Perkuatan Tanah Menggunakan Geogrid	25
2.6.2	Spesifikasi Geogrid	28
2.6.3	Reduksi Kekuatan Geogrid	29
2.6.3.1	Faktor Pemuluran (Creep) (F_{cr})	30
2.6.3.2	Faktor Kerusakan akibat Pemasangan (F_{id})	31
2.6.3.3	Faktor Kerusakan akibat Lingkungan (F_{en})	31
2.6.4	Modulus Elastisitas Geogrid	31

2.6.5 Modulus Geser Geogrid	32
BAB 3 KONDISI DAERAH STUDI DAN KETERSEDIAAN DATA	34
3.1 Kondisi Lingkungan Tanggul	34
3.2 Korelasi Parameter Tanah Berdasarkan Hasil Cone Penetration Test with ekses pore pressure (CPTu).....	36
3.2.1 Perhitungan Parameter Tanah	36
3.2.1.1 Sudut Geser Dalam Tanah (Derajat).....	36
3.2.1.2 Kohesi (C).....	38
3.2.1.3 Berat Isi Tanah normal & Berat Isi Tanah Jenuh (y).....	40
3.2.1.4 Modulus Elastisitas Tanah (E).....	42
3.2.1.5 Koefisien Permeabilitas Tanah (K).....	44
3.2.1.6 Angka Rasio Poisson	45
3.2.2 Hasil Korelasi dan Stratifikasi Tanah Dasar Timbunan.....	46
3.2.2.1 Hasil Korelasi Permodelan dan Stratifikasi Tanah.....	46
3.3 Perkuatan Model Dengan Geogrid.....	47
3.3.1 Spesifikasi Geogrid	47
3.3.2 Reduksi Kekuatan Geogrid	47
3.3.2.2 Faktor Kerusakan akibat Pemasangan (F_{id})	48
3.3.2.3 Faktor Kerusakan akibat Lingkungan (F_{en})	49
3.3.3 Perhitungan Kekuatan Geogrid Tereduksi	49
3.3.4 Modulus Elastisitas Geogrid	50
3.3.5 Modulus Geser Geogrid	51
3.4 Permodelan Kasus dengan Midas GTS NX.....	51
3.4.1 Geometri Model, Input Parameter dan Meshing.....	51
3.4.1.1 Geometri Tanggul	51
3.4.1.2 Input Parameter Tanah dan Property	52

3.4.1.3	Meshing Material dan Geometri	53
3.4.1.4	Mendefinisi Stress Boundary Condition (Perletakan dan Bidang Gelincir)	53
3.4.1.5	Mendefinisi Seepage Boundary Condition (Nodal Total Head, Review dan Draining (untuk Consolidasi))	54
3.4.1.6	Mendefinisi Pembebanan Statis (Berat Sendiri)	55
3.4.1.7	Mendefinisi Tahapan Konstruksi Tanggul	55
3.4.1.8	Mendefinisi Kasus Analisis	56
3.4.1.9	Proses Menjalankan dan Analisis Model	57
BAB 4 ANALISIS DATA		58
4.1	Hubungan Tingkat Kejenuhan Tanah terhadap Deformasi Tanah	58
4.1.1	Tegangan Normal pada Tanggul	58
4.1.1.1	Tegangan Efektif Kondisi Awal Tanggul	59
4.1.1.2	Tegangan Efektif pada Tahap Penimbunan	60
4.1.1.3	Tegangan Efektif akibat Penjenuhan Tanah pada Fase Peningkatan Muka	62
4.1.2	Tekanan Air Pori pada Tanggul	65
4.1.2.1	Tekanan Air Pori pada Tahap Penimbunan	65
4.1.2.2	Tekanan Air Pori pada Peningkatan Muka Air 2.5 m	68
4.1.2.3	Tekanan Air Pori pada Peningkatan Muka Air 4.5 m	71
4.1.3	Deformasi pada Tanggul	75
4.1.3.1	Deformasi pada Tahap Penimbunan	75
4.1.3.2	Deformasi pada Peningkatan Muka Air 2.5m	77
4.1.3.3	Deformasi pada Peningkatan Muka Air 4.5 m	79
4.1.4	Pengaruh Sifat <i>Unsaturated dan Parsially Saturated Soil</i> Terhadap Displacement	81
4.2	Pengaruh Tekanan Air Pori terhadap Garis Freatik Rembesan Air	84

4.2.1 Pola Garis Freatik Rembesan Air pada Kenaikan Muka Air 2.5m.....	85
4.2.2 Pola Garis Freatik Rembesan Air pada Kenaikan Muka Air 4.5m.....	87
4.2.3 Hubungan Tinggi Piezometrik Air Rembesan terhadap Tekanan Air Pori pada Tanggul.....	88
4.3 Pengaruh Tekanan Air Pori terhadap Stabilitas dan Angka Faktor Keamanan Pada Tanggul.....	91
4.3.1 Angka Faktor Keamanan Tanggul pada Tahap Penimbunan.....	91
4.3.2 Angka Faktor Keamanan Tanggul pada Tahap Peningkatan Muka Air Sungai.....	93
4.4 Perkuatan Tanggul Menggunakan Geogrid	96
4.4.1 Gaya Reaksi Geogrid terhadap Pergerakan Tanggul	96
4.4.1.1 Gaya Reaksi Geogrid pada Tahap Penimbunan Kritis	97
4.4.1.2 Gaya Reaksi Geogrid pada Tahap Peningkatan Muka Air Maksimum	99
4.4.2 Pengaruh Geogrid Terhadap Angka Faktor Keamanan Tanggul.....	103
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	104
5.1 Kesimpulan	104
5.2 Saran.....	108
DAFTAR PUSTAKA	109

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

Adapun daftar notasi dan singkatan sebagai berikut

A_{geo}	:	Cross Section Penampang Geogrid (m^2)
B_q	:	Rasio Tekanan Air Pori Ekses
C	:	Kohesi Tanah
DAS	:	Luas Daerah Aliran Sungai (km^2)
E	:	Modulus Young/Elastisitas Tanah (kN/m^3)
E_{geo}	:	Modulus Elastisitas Geogrid (kN/m^2)
FC	:	Fully Coupled Stress-Seepage
F_{cr}	:	Kerusakan Creep/Pemuluran
F_{id}	:	Faktor Kerusakan akibat Pemasangan
F_{en}	:	Faktor Kerusakan akibat Lingkungan
G	:	Modulus Geser Geogrid (kN/m^2)
h	:	tinggi piezometric air
I_c	:	Index Klasifikasi Tanah
k	:	Koefisien Permeabilitas Tanah (m/s)
$N_{\Delta u}$:	Faktor Tekanan Air Pori Konus
N_{kt}	:	Koefisien Koreksi B_q (14-16)
pa	:	Tekanan air ($100 kN/m^3$)
P_{geo}	:	Gaya Penampang Geogrid (kN)
q_c	:	Tahanan Konus
q_t	:	Tahanan Konus ternormalisasi
R_f	:	Rasio Gesekan Selimut

- T_u : Gaya Tarik Ultimate Geogrid Tak Tereduksi
- $U_e/\Delta u$: Tekanan Air Pori Ekses (kN/m³)
- u_2 : Tekanan Air Pori Pembacaan
- α : Faktor Relasi Tahanan Konus terhadap Jenis Tanah bachelier dan
Parez (1965)
- σ_v : Tegangan Vertikal Total
- σ'_v : Tegangan Vertikal Efektif
- ϵ : Regangan (%)
- μ : Poisson Rasio (0.35)



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Kerangka Berpikir Penelitian	4
Gambar 1.2 Diagram Alir Penelitian.....	7
Gambar 2.1 Grafik Klasifikasi Tanah berdasarkan U2 dan U0.....	15
Gambar 2.2 Klasifikasi Jenis Tanah berdasarkan Robertson (Sumber: Buku Insitu Testing and Correlations GECR UNPAR).....	16
Gambar 2.3 Uniaksial Geogrids pada lokasi kerja praktek PTFI (Wambrauw C, 2023)	26
Gambar 2.4 Design Perkuatan Geogrid untuk Kasus Tanggul di wilayah Perairan	27
Gambar 2.5 Spesifikasi TenCate Miragrids GX 160/50 Geogrids (TenCate Geosyntetics Miragrids Spesification,2022)	28
Gambar 2.6 Grafik kurva hubungan rupture-time pada 20 derajat Celsius (Tencate,2022)	30
Gambar 3.1 Wilayah Modified Ajikwa Deposition Area (ModADA) (sumber: Google Earth,2024).....	35
Gambar 3.2 Kondisi Tanggul di Wilayah Perairan saat magang penulis (Wambrauw C,2023).....	35
Gambar 3.3 Grafik perbandingan sudut geser dalam korelasi dan bacaan (Wambrauw C,2023).....	37
Gambar 3.4 Grafik hasil korelasi Kohesi Tanah Dasar Tanggul diwilaya Perairan tinjau (Wambrauw C,2023).....	39
Gambar 3.5 Hasil korelasi berat isi tanah berdasarkan robertson (2010).....	41
Gambar 3.6 Grafik Hasil data CPT dengan Modulus Elastisitas Tanah	43
Gambar 3.7 Permodelan Stratifikasi Tanah dan Model Tanggul pada Midas GTS	46

Gambar 3.8 Grafik kurva hubungan rupture-time pada 20 derajat Celsius (Tencate,2022)	48
Gambar 3.9 Geometri Tanggul.....	51
Gambar 3.10 Proses Input Material dan Parameter Tanah.....	52
Gambar 3.11 Proses Input Property Tanah dan Geogrid.....	52
Gambar 3.12 Proses Meshing 2D (Material Tanah) & 1D (Geogrid).....	53
Gambar 3.13 Proses Mendefinisikan Stress Boundary Condition (Slope Boundary dan Constraints).....	53
Gambar 3.14 Proses Mendefinisikan Seepage Boundary Condition (Nodal Head,Review dan drain).....	54
Gambar 3.15 Proses Mendefinisikan Beban Statis.....	55
Gambar 3.16 Proses Mendefinikan Tahap Konstruksi.....	55
Gambar 3.17 Proses Mendefinisikan Kasus Analisis untuk <i>Fully Coupled Stress-Seepage</i> Analisis	56
Gambar 3.18 Menjalankan Kasus Analisis (Fully Coupled).....	57
Gambar 4.1 Tegangan Vertikal Efektif Inisial Consolidasi (Atas) & FC (bawah)	59
Gambar 4.2 Tegangan Vertikal Efektif pada Tinggi Penimbunan Maksimum 6m diatas dasar tanah pada Consolidasi (Atas) & FC (bawah).....	60
Gambar 4.3 Tegangan efektif pada langkah awal Tahap 2.5m (T=0 hari) , Fc=0.25m diatas Mat (Bawah) dan Consol=0.25m diatas mat (Atas).....	62
Gambar 4.4 Tegangan efektif pada langkah terakhir Tahap 2.5m Muka (t=25 hari) dimana Fc= 2.5m diatas Mat (Bawah) dan Consol=2.5m diatas mat (Atas)	63
Gambar 4.5 Tegangan efektif pada langkah terakhir Tahap 4.5m Muka (T=47 hari) . Fc= 4.5m diatas Mat (Bawah) dan consol=4.5m diatas mat (Atas).....	64
Gambar 4.6 Hasil Analisis Konsolidasi untuk Tekanan Air Pori pada Penimbunan Terakhir (6 meter)	66

Gambar 4.7 Hasil Analisis <i>Fully Coupled Stress-Seepage</i> untuk Tekanan Air Pori pada Penimbunan Terakhir (6 meter).....	66
Gambar 4.8 Hasil Perhitungan Tekanan Air Pori Metode Konsolidasi pada Peningkatan Muka Air 2.5 m (Mat2.5m-inisial Stage).....	69
Gambar 4.9 Hasil Perhitungan Tekanan Air Pori Metode <i>Fully Coupled</i> pada Peningkatan Muka Air 2.5 m (Mat2.5-inisial Stage).....	69
Gambar 4.10 Hasil Perhitungan Perubahan Tekanan Air Pori Metode Konsolidasi pada Fase Akhir Penimbunan ke Peningkatan EV. Muka Air 2.5 m.....	70
Gambar 4.11 Hasil Perhitungan Perubahan Tekanan Air Pori Metode FC pada Fase Akhir Penimbunan ke Peningkatan Ev. Muka Air 2.5 m.....	71
Gambar 4.12 Hasil Perhitungan Tekanan Air Pori Metode Konsolidasi pada Peningkatan Muka Air 4.5 m (Mat4.5-inisial Stage).....	72
Gambar 4.13 Hasil Perhitungan Tekanan Air Pori Metode <i>Fully Coupled</i> pada Peningkatan Muka Air 4.5 m (Mat4.5-inisial Stage).....	72
Gambar 4.14 Hasil Perhitungan Perubahan Tekanan Air Pori Metode Konsolidasi pada Fase Akhir Penimbunan dan Peningkatan Muka Air 4.5 m.....	73
Gambar 4.15 Hasil Perhitungan Perubahan Tekanan Air Pori Metode FC pada Fase Akhir Penimbunan dan Peningkatan Muka Air 4.5 m.....	73
Gambar 4.16 Hasil Analisis Konsolidasi untuk deformasi pada Penimbunan Terakhir (6 meter).....	75
Gambar 4.17 Hasil Analisis <i>Fully Coupled Stress-Seepage</i> untuk Deformasi pada Penimbunan Terakhir (6 meter).....	76
Gambar 4.18 Grafik Deformasi pada Tahap Penimbunan pada Cross Section... 76	76
Gambar 4.19 Hasil Deformasi Tanggul Metode Konsolidasi pada Peningkatan Muka Air 2.5 m.....	78
Gambar 4.20 Hasil Deformasi Tanggul Metode <i>Fully Coupled</i> pada Peningkatan Muka Air 2.5 m.....	78
Gambar 4.21 Hasil Deformasi Tanggul Metode Konsolidasi pada Peningkatan Muka Air 4.5 m.....	79

Gambar 4.22 Hasil Deformasi Tanggul Metode <i>Fully Coupled</i> pada Peningkatan Muka Air 4.5 m.....	80
Gambar 4.23 Pola Garis Freatik Konsolidasi untuk Kenaikan m.a. 2.5m (Hasil Pore Pressure).....	85
Gambar 4.24 Pola Garis Freatik FC untuk Kenaikan m.a. 2.5m (Garis Freatik dan Hasil Pore Pressure)	86
Gambar 4.25 Pola Garis Freatik Konsolidasi untuk Kenaikan m.a.t 4.5m (Hasil Pore Pressure).....	87
Gambar 4.26 Pola Garis Freatik FC untuk Kenaikan m.a.t 4.5m.....	87
Gambar 4.27 Pola Garis Freatik FC untuk Kenaikan m.a.t 4.5m (Garis Freatik dan Hasil Pore Pressure)	87
Gambar 4.28 Hasil Solusi Analitik Garis Freatik Tanpa Tekanan Air Pori Ekses	89
Gambar 4.29 Bidang Gelincir Kritis (SRM) Akibat Penimbunan 6m Metode Konsolidasi (Hasil Emax Shear)	91
Gambar 4.30 Bidang Gelincir Kritis (SRM) Akibat Penimbunan 6m Metode <i>Fully Coupled Stress-Seepage</i> (Hasil Emax Shear)	92
Gambar 4.31 Perbandingan Bidang Gelincir SRM dan SAM pada Tahap Penimbunan.....	93
Gambar 4.32 Bidang Gelincir Kritis (SRM) pada Kenaikan Muka Air Sungai Konsolidasi (Hasil Emax Shear)	94
Gambar 4.33 Bidang Gelincir Kritis (SRM) pada Kenaikan Muka Air Sungai <i>Fully Coupled Stress-Seepage</i> (Hasil Emax Shear)	95
Gambar 4.34 Perbandingan Bidang Gelincir SRM dan SAM pada Tahap Peningkatan Muka Air Sungai	96
Gambar 4.35 Reaksi Geogrid pada Analisis Konsolidasi pada Tahap Penimbunan 6m (Truss Aksial Force).....	97
Gambar 4.36 Reaksi Geogrid pada Analisis FC pada Tahap Penimbunan 6m (Truss Aksial Force).....	97

Gambar 4.37 Reaksi Geogrid pada Analisis Konsolidasi SRM pada Tahap Penimbunan 6m (Truss Aksial Force).....	98
Gambar 4.38 Reaksi Geogrid pada Analisis FC pada SRM Tahap Penimbunan 6m (Truss Aksial Force).....	98
Gambar 4.39 Reaksi Geogrid pada Analisis Konsolidasi pada Tahap Peningkatan Muka Air 4.5m (Truss Aksial Force).....	99
Gambar 4.40 Reaksi Geogrid pada Analisis FC pada Tahap Peningkatan Muka Air 4.5m (Truss Aksial Force).....	99
Gambar 4.41 Hasil Perhitungan Perubahan Tegangan Aksial Geogrid pada analisis Konsolidasi (Kenaikan muka air 4.5m- Tahap Penimbunan 6m)	100
Gambar 4.42 Hasil Perhitungan Perubahan Tegangan Aksial Geogrid pada analisis FC (Kenaikan muka air 4.5m- Tahap Penimbunan 6m)	100
Gambar 4.43 Reaksi Geogrid pada Analisis Konsolidasi SRM pada Tahap Kenaikan Muka Air Maksimum 4.5m (Truss Aksial Force)	101
Gambar 4.44 Reaksi Geogrid pada Analisis FC pada SRM Tahap Kenaikan Muka Air Maksimum (Truss Aksial Force)	102

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tabel Klasifikasi Tanah berdasarkan U_2 dan U_0	17
Tabel 2.2 Tabel Interpretasi Koefisien Permeabilitas Tanah BRAJA berdasarkan jenis tanah (Source: Principles of Geotechnical Engineering Ed. 8 (Braja D, 2014))	24
Tabel 2.3 Interpretasi angka poison Braja berdasarkan jenis tanah yang ditinjau (Source: Principles of Geotechnical Engineering Ed. 8 (Braja D, 2014))	25
Tabel 3.1 Tabel Interpretasi Koefisien Permeabilitas Tanah BRAJA berdasarkan jenis tanah (Source: Principles of Geotechnical Engineering Ed. 8 (Braja D, 2014))	44
Tabel 3.2 Tabel Interpretasi angka poison Braja berdasarkan jenis tanah yang ditinjau (Source: Principles of Geotechnical Engineering Ed. 8 (Braja D, 2014))45	
Tabel 3.3 Tabel parameter tanah hasil korelasi data CPTu	46
Tabel 3.4 Geogrid Uniaxial	47
Tabel 3.5 Tabel Faktor Reduksi Kerusakan akibat Lingkungan hasil Pengujian Tencate (Tencate,2022).....	49
Tabel 3.6 Tabel Perhitungan Reduksi Kekuatan Tarik Geogrid (Wambrauw C,2023).....	49
Tabel 3.7 Tahapan Analisis Konsolidasi dan <i>Fully Coupled Stress-Seepage</i>	56
Tabel 4.1 Hasil Tegangan Vertikal Efektif Dasar pada Tahap Penimbunan.....	62
Tabel 4.2 Hasil Tekanan Air Pori Ekses pada Tahap Penimbunan Tanggul	67
Tabel 4.3 Hasil Deformasi pada Tahap Penimbunan Tanggul.....	76
Tabel 4.4 Hasil Deformasi Permukaan Cross Section Tahap Kenaikan 2.5m	78
Tabel 4.5 Hasil Deformasi Permukaan Cross Section Gabungan Kenaikan Muka Air 2.5m dan 4.5m	80
Tabel 4.6 Hasil Angka Faktor Keamanan Tahap Penimbunan SRM&SAM	93
Tabel 4.7 Hasil Angka Faktor Keamanan Tahap Peningkatan Muka Air Sungai	95

Tabel 4.8 Pengaruh Geogrid Terhadap Angka Faktor Keamanan (SRM) 103



DAFTAR LAMPIRAN



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Konstruksi bangunan di wilayah perairan merupakan hal umum yang dilakukan di Indonesia termasuk di wilayah Papua, dimana bangunan dikenal sebagai bangunan air. Bangunan air dapat berupa timbunan tanggul, spur dike dan bangunan lain-nya yang bertujuan untuk merubah maupun mengendalikan pergerakan aliran air.

Berdasarkan pengalaman penulis pada internship program di PT. Freeport Indonesia (2023), timbunan tanggul menjadi salah satu upaya utama dalam mengendalikan aliran air dan tailing hasil operasi penambangan di hulu sungai. Dalam upaya pengendalian tersebut, diketahui bahwa debit air merupakan fungsi luasan sehingga dengan mengecil-nya lebar penampang basah akan mengakibatkan kenaikan pada tinggi penampang tersebut. Hal tersebut berarti, bahwa pembatasan pergerakan air akan meningkatkan muka air dengan berjalan waktu sehingga memicu infiltrasi air pada timbunan tanggul tersebut. Meskipun berkontribusi positif terhadap Pembangunan, namun konstruksi bangunan air dapat menimbulkan masalah baru yang perlu dihadapi seperti rembesan aliran air tanah, muncul-nya tegangan air pori eksese dan tentu-nya akan mempengaruhi stabilitas dari timbunan tersebut. Berdasarkan Shumete (2022) stabilitas dari timbunan yang berdekatan dengan aliran air sangat dipengaruhi oleh perubahan tinggi muka air. Penurunan muka air dari kondisi steady-state menjadi transient dan sebaliknya menciptakan suatu ketidakstabilan sehingga menurunkan angka faktor keamanan dari timbunan tersebut. Hal ini dapat terjadi pada tanggul yang berada di wilayah perairan. Perubahan tinggi muka air tentu mempengaruhi pergerakan air tanah atau rembesan. Pergerakan air disebabkan oleh sifat air yang bergerak menuju tekanan total yang lebih rendah sehingga tekanan tambahan untuk menciptakan ketidakstabilan pada tanggul.

Jadi rembesan merupakan satu faktor yang perlu dipertimbangkan dalam perancangan dari tanggul. Selain itu, rembesan air juga membuat tanah jenuh air

secara parsial. Umum-nya tanah yang jenuh air menciptakan permasalahan tekanan air pori eksek, Tekanan tersebut disebabkan oleh sifat air yang mendekati sifat tidak dapat dimampatkan. Raharjo (2023), menjelaskan bahwa tegangan air pori eksek merupakan gaya air yang melawan pembebanan yang disebabkan oleh pembebanan baik tanah-nya itu sendiri maupun pembebanan konstruksi. Besar resultan yang diberikan sangat tergantung dengan karakteristik material dan pembebanan luar. Tekanan air eksek pori akan menurun seiring dengan waktu, hal ini disebut disipasi tekanan air pori eksek. Disipasi tekanan air pori eksek memicu konsolidasi tanah maupun pergerakan air yang baik secara vertikal maupun horizontal.

Dengan demikian, analisis rembesan dan tegangan pada tanggul di wilayah perairan wajib dilakukan untuk mengetahui stabilitas dari tanggul yang direncanakan.

Analisis *fully coupled STRESS-SEEPAGE* merupakan analisis untuk memperoleh pola tinggi total head aliran atau garis freatik dari rembesan air serta memperoleh tegangan-tegangan pada timbunan akibat muka air yang bervariasi, berubah (*transient*) dan dapat dikendalikan. Angka faktor keamanan yang dihasilkan oleh analisis ini sangat dipengaruhi oleh kenaikan muka air, dimana dengan peningkatan muka air akan menurunkan angka keamanan. Namun, kelemahan analisis ini merupakan kondisi *drained* maupun *undrained* tanpa mempertimbangkan perubahan tekanan air pori eksek. Hal ini tentu bertolak belakang dengan analisis konsolidasi, dimana konsolidasi dapat menggambarkan disipasi tekanan air pori eksek namun pada kondisi air *steady-state* atau diasumsi memiliki muka air konstan (tidak dapat berubah). Selain itu dengan disipasi tekanan air pori, terjadi pemadatan material tanah sehingga angka faktor keamanan meningkat. Pertentangan antara kedua analisis ini tentu menjadi pembatas dalam menghasilkan suatu permodelan *seepage* dan konsolidasi yang sesuai dengan kondisi asli-nya. Dengan melihat keterbatasan kedua metode analisis tersebut, diperlukan suatu model analisis yang dapat menggabungkan kedua metode tersebut. Dalam arti, suatu analisis yang dapat memodelkan perubahan muka air dan pergerakan aliran air serta mempertimbangkan disipasi tekanan air pori eksek. Oleh karena itu, penulis akan mengkaji penelitian menggunakan analisis *fully coupled Stress-seepage Analysis* sebagai solusi dari keterbatasan tersebut.

1.2 Inti Permasalahan

Berdasarkan latar belakang diatas, bagaimanakah melakukan analisis *fully coupled seepage-stress* untuk menghubungkan kedua metode analisis tersebut, yang dapat dijabarkan dalam beberapa permasalahan sebagai berikut:

- 1) Bagaimana memperoleh tegangan pada tanah dasar dan tanggul akibat tekanan air pori eksese serta pada pembebanan penimbunan;
- 2) Bagaimana mengevaluasi perubahan tekanan air pori serta *displacement* akibat penimbunan dan peningkatan elevasi muka air dengan analisis *Fully Coupled Stress-Seepage* dan Konsolidasi;
- 3) Bagaimana menganalisis pengaruh tekanan air pori eksese terhadap garis freaktik rembesan tanggul;
- 4) Bagaimana mengevaluasi angka faktor keamanan tanggul kondisi muka air steady state Konsolidasi dan transient state *Fully Coupled Stress Seepage*;
- 5) Bagaimana menganalisis pengaruh perkuatan geogrid terhadap angka keamanan tanggul.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian dapat diuraikan sebagai berikut:

- 1) Memperoleh tegangan pada tanah dasar dan tanggul akibat tekanan air pori eksese serta pembebanan penimbunan;
- 2) Mengevaluasi perubahan tekanan air pori serta *displacement* akibat penimbunan dan peningkatan elevasi muka air dengan analisis *Fully Coupled Stress-Seepage* dan Konsolidasi;
- 3) Menganalisis pengaruh tekanan air pori eksese terhadap garis freaktik rembesan tanggul;
- 4) Mengevaluasi angka faktor keamanan tanggul kondisi muka air steady state Konsolidasi dan transient state *Fully Coupled Stress Seepage*;
- 5) Menganalisis pengaruh perkuatan geogrid terhadap angka keamanan tanggul.

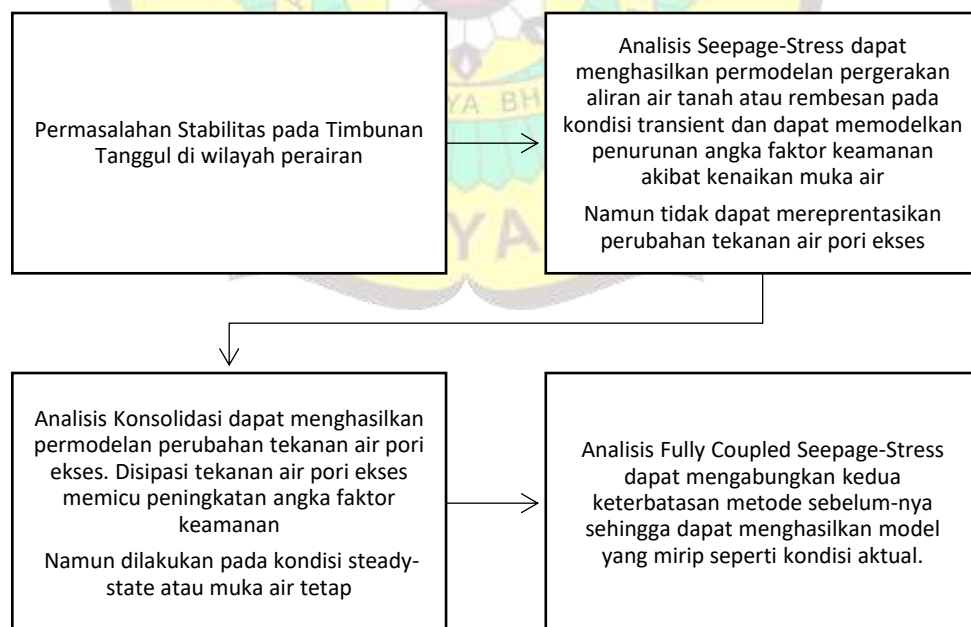
1.4 Lingkup Bahasan

Dalam penelitian ini dilakukan beberapa pembatasan sebagai berikut:

- 1) Data CPTu dan korelasi parameter di Mimika, Papua pada 2023 dianggap dapat merepresentasikan kondisi aktual tanah dalam kasus penelitian;
- 2) Parameter koefisien permeabilitas dianggap seragam dalam berbagai arah;
- 3) Perubahan elevasi muka air sungai diasumsikan berdasarkan jarak freeboard minimum;
- 4) Lokasi tinjauan dianggap memiliki tingkat kerentanan gempa dan liquifaksi rendah sehingga tidak dilakukan analisis seismik;
- 5) Pengerusan dan penumpukan sedimentasi kaki tanggul oleh aliran air sungai diabaikan.

1.5 Metode Penelitian

Metode penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif yaitu dengan permodelan. Adapun kerangka berpikir dalam penelitian seperti pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Kerangka Berpikir Penelitian

Dalam melakukan permodelan ini, menggunakan data sekunder yang diperoleh penulis saat melakukan internship program pada 2023.

Metode analisa yang digunakan adalah analisis *fully coupled seepage-stress*. Metode ini menghubungkan dua metode analisis yakni analisis seepage-slope dengan konsolidasi, dimana sebelum-nya analisis tersebut harus dilakukan searah atau sequent. Yang dimaksud searah adalah analisis seepage dilakukan terlebih dahulu tanpa mempertimbangkan perubahan tekanan eksese pori selama waktu tertentu dan kemudian dilakukan tahap analisis konsolidasi. Hal ini tentu tidak sesuai dengan fakta di lapangan, dimana disipasi tekanan air pori eksese berlangsung seiring dengan rembesan aliran air tanah.

Metode analisis *fully coupled* merupakan metode yang dapat menggambarkan interaksi kedua analisis secara bersamaan, oleh karena itu metode ini sering disebut *two-way* analisis. Metode analisis ini dapat menghasilkan hubungan antara rembesan air dengan eksese pori serta angka faktor keamanan yang dihasilkan-nya.

Adapun output yang diharapkan dari penilitan adalah;

- Hubungan tegangan pada tanah dasar dan timbunan akibat tekanan air pori eksese dan tahapan penimbunan;
- Hubungan perubahan tekanan air pori eksese akibat penimbunan dan peningkatan elevasi muka air;
- Pengaruh tekanan air pori eksese terhadap garis freaktik rembesan tanggul;
- Angka faktor keamanan tanggul kondisi muka air steady state, garis transient serta konsolidasi;
- Pengaruh perkuatan geogrid terhadap angka keamanan tanggul.

1.6 Sistematika Penulisan

BAB I Pendahuluan berisikan latar belakang, inti permasalahan, tujuan penelitian, lingkup bahasan, sistematika penulisan dan diagram alir penelitian.

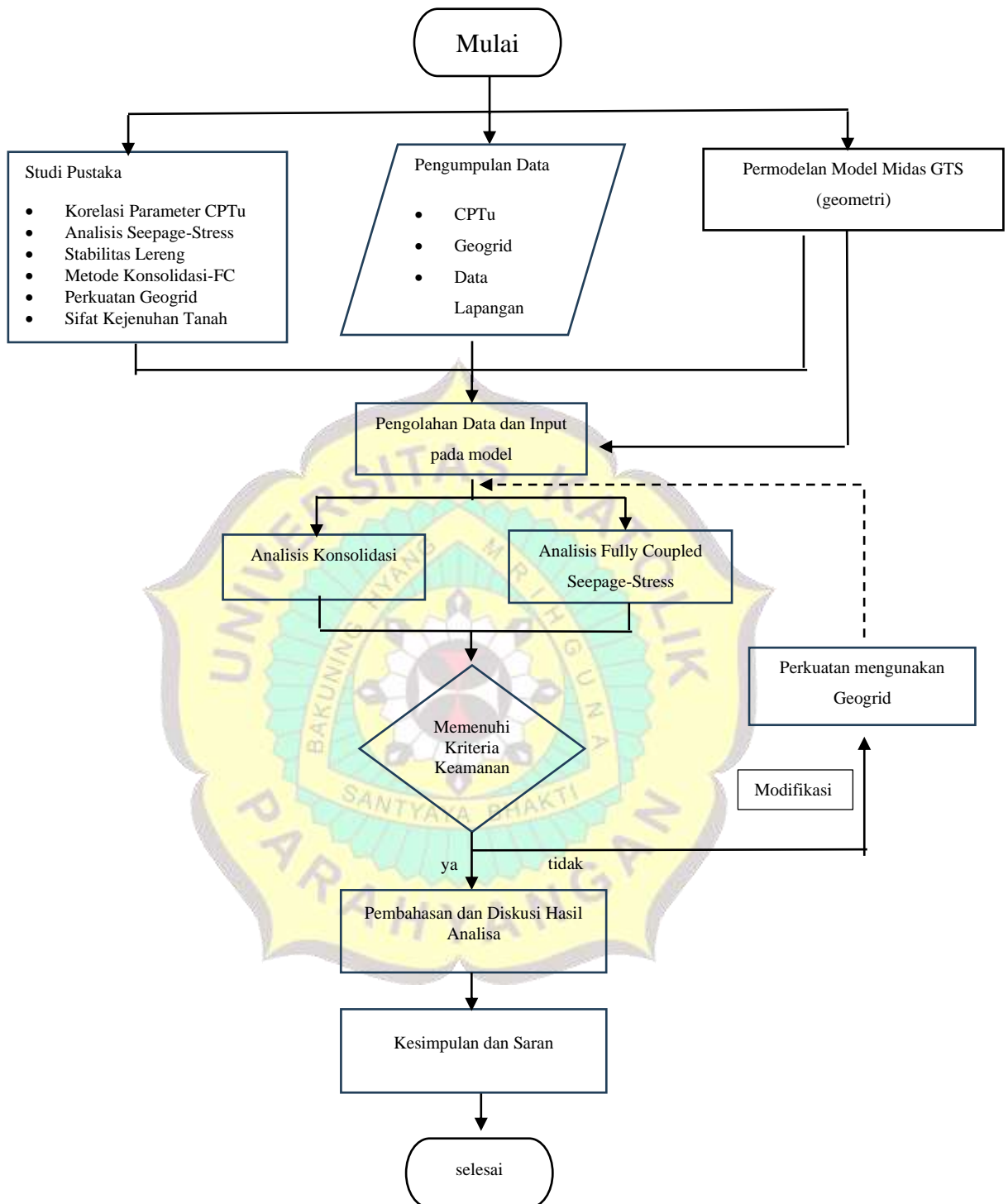
BAB II Dasar Teori berisikan teori stabilitas lereng, metode analisis stabilitas lereng, analisis *fully coupled stress-seepage*, analisis konsolidasi, parameter kuat tanah dan perkuatan tanah menggunakan geogrid.

BAB III Kondisi Daerah Studi berisikan deskripsi kondisi lingkungan tanggul, perhitungan serta korelasi parameter tanah, perhitungan geogrid serta permodelan finite element pada Midas GTS nx.

BAB IV Analisis dan Pembahasan Hasil berisikan hasil analisis yang diperoleh dari model berdasarkan metode analisis *fully coupled stress-seepage* dan konsolidasi, pembahasan dan analisis hasil analisis, pengaruh akibat pembebanan dan perubahan muka air serta pembahasan yang berkaitan dengan tujuan dan rumusan masalah.

BAB V Kesimpulan dan Saran berisikan kesimpulan terkait hasil pembahasan yang dilakukan pada bab iv serta memberikan suatu saran terkait kasus yang ditinjau pada tanggul yang berada dikawasan perairan.

1.7 Diagram Alir Penelitian



Gambar 1.2 Diagram Alir Penelitian