

TUGAS AKHIR

PEMODELAN DEFORMASI LERENG AKIBAT REMBESAN AIR HUJAN

Diajukan guna melengkapi persyaratan untuk memenuhi gelar Sarjana Teknik di
Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta



Disusun oleh:

Muhammad Azhar

20150110138

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA**

2019

HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Azhar
NIM : 20150110138
Judul : Pemodelan Deformasi Lereng Akibat Rembesan Air Hujan

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa Tugas Akhir ini merupakan karya saya sendiri. Apabila terdapat karya orang lain yang saya kutip, maka saya akan mencantumkan sumber secara jelas. Jika dikemudian hari ditemukan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi dengan aturan yang berlaku. Demikian pernyataan ini saya buat tanpa ada paksaan dari pihak mana pun.

Yogyakarta, 28 Mei 2019

Yang membuat pernyataan



Muhammad Azhar

HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Azhar
NIM : 20150110138
Judul : Pemodelan Deformasi Lereng Akibat Rembesan Air
Hujan

Menyatakan bahwa Tugas Akhir ini merupakan bagian dari penelitian payung dosen pembimbing yang berjudul “*A Blueprint of Indonesia Landslide Early Warning System (BILEWS)*” yang didanai melalui Skema Hibah Penelitian Kerjasama Internasional pada tahun 2019 oleh Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia dengan nomor hibah B/1436.5/L5/RA.00/2019.

Yogyakarta, 28 Mei 2019

Penulis,

Ketua Peneliti,



Muhammad Azhar



Prof. Agus Setyo Muntohar, S.T., M.Eng.Sc., Ph.D.

HALAMAN PERSEMBAHAN

Tugas Akhir ini ku persembahkan untuk kedua orang tuaku
Bapak As'ari dan Ibu Al-Piah

dan kedua adik ku

Siti Asrariah

Ahmad Saipullah

PRAKATA



Assalamu 'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Segala puji bagi Allah SWT Yang Menguasai segala sesuatu, Sholawat dan salam selalu tercurahkan kepada Rasulullah SAW beserta keluarga dan sahabat-sahabatnya. Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Penelitian ini ditujukan memodelkan deformasi lereng akibat rembesan air hujan.

Selama penyusunan Tugas Akhir ini penyusun mendapat bantuan, bimbingan, dan dorongan dari berbagai pihak sehingga dapat terselesaikan dengan baik. Penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih atas dukungan dari berbagai pihak yakni kepada:

1. Bapak Puji Harsanto, S.T., M.T., Ph. D. selaku ketua program studi teknik sipil yang telah mengesahkan tugas akhir ini,
2. Prof. Agus Setyo Muntohar, S.T., M.Eng.Sc. Ph. D. yang telah bersedia menjadi dosen pembimbing dan memberikan teladan selama menyelesaikan tugas akhir ini,
3. Dr. Willis Diana, S.T., M.T. yang telah bersedia menjadi dosen penguji,
4. Kedua Orang Tua, dan adik-adik yang selalu memberikan semangat selama belajar dan menyelesaikan tugas akhir ini,
5. Teman-teman dari kelas Sipil C 2015 dan Para Pejuang Tanah 2015 yang selalu menemani, membantu dan memotivasi selama menyelesaikan tugas akhir ini.

Akhirnya, setelah segala kemampuan dicurahkan serta diiringi dengan doa untuk menyelesaikan tugas akhir ini hanya kepada Allah SWT semua dikembalikan.

Wallahu a'lam bi showab.

Wassalamu 'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Yogyakarta, 28 Mei 2019

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|--|------|
| HALAMAN JUDUL..... | i |
| LEMBAR PENGESAHAN | iii |
| HALAMAN PERNYATAAN | iv |
| HALAMAN PERNYATAAN | v |
| HALAMAN PERSEMBAHAN | vi |
| PRAKATA..... | vii |
| DAFTAR ISI..... | viii |
| DAFTAR TABEL..... | x |
| DAFTAR GAMBAR | xi |
| DAFTAR LAMPIRAN..... | xiii |
| DAFTAR SINGKATAN | xiv |
| DAFTAR ISTILAH | xv |
| ABSTRAK | xvi |
| <i>ABSTRACT</i> | xvii |
| BAB I. PENDAHULUAN | |
| 1.1. Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2. Rumusan Masalah..... | 2 |
| 1.3. Lingkup Penelitian..... | 2 |
| 1.4. Tujuan Penelitian | 2 |
| 1.5. Manfaat Penelitian | 3 |
| BAB II. TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI | |
| 2.1. Pemodelan Numerik Infiltrasi Hujan dan Stabilitas Lereng..... | 4 |
| 2.1. Dasar Teori | 14 |
| 2.2.1. Kuat Geser Tanah | 14 |
| 2.2.2. <i>Soil Suction</i> | 21 |
| 2.2.3. <i>Soil Water Characteristic Curve (SWCC)</i> | 24 |
| 2.2.4. Permeabilitas Tanah | 25 |
| 2.2.5. Pengukuran Intensitas Hujan | 28 |
| 2.2.6. Pemodelan <i>Coupled Analysis</i> dengan SIGMA/W | 29 |
| BAB III. METODE PENELITIAN | |
| 3.1. Desain Penelitian | 39 |
| 3.2. Alat dan Bahan | 40 |
| 3.2.1. Alat | 40 |

| | | |
|--|--|----|
| 3.2.2. | Bahan..... | 45 |
| 3.3. | Tahapan Penelitian..... | 45 |
| 3.3.1. | Pengambilan Contoh Tanah Uji | 46 |
| 3.3.2. | Pengujian Triaksial Metode <i>Consolidated Undrained</i> | 46 |
| 3.3.3. | Pengujian Permeabilitas Tanah Metode <i>Constant Head</i> | 48 |
| 3.3.4. | Pengujian SWCC (<i>Soil Water Characteristic Curve</i>) Metode <i>Filter Paper</i> | 49 |
| 3.3.5. | Pengumpulan Data Curah Hujan | 50 |
| 3.3.6. | Pemodelan SIGMA/W..... | 51 |
| 3.3.7. | <i>Initial In-situ Stresses</i> | 55 |
| 3.3.8. | Pemodelan Deformasi Lereng | 62 |
| BAB IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN | | |
| 4.1. | Validasi Hasil Pemodelan..... | 68 |
| 4.2. | Hasil Penelitian..... | 70 |
| 4.2.1. | Tekanan Air Pori | 70 |
| 4.2.2. | Deformasi Lereng..... | 70 |
| 4.3. | Pembahasan | 71 |
| 4.3.1. | Perubahan Tekanan Air Pori (<i>Pore Water Pressure</i>)..... | 71 |
| 4.3.2. | Deformasi Lereng Akibat Hujan | 75 |
| BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN | | |
| 5.1. | Kesimpulan..... | 76 |
| 5.2. | Saran | 76 |
| DAFTAR PUSTAKA | | 77 |
| LAMPIRAN..... | | 80 |

DAFTAR TABEL

| | | |
|------------|--|----|
| Tabel 2. 1 | Simbol yang Digunakan Untuk Kondisi Batas (Boundary Condition)..... | 36 |
| Tabel 2. 2 | Simbol yang Digunakan Untuk Kondisi Batas Tepi (Edge Bondary Condition)..... | 37 |
| Tabel 3. 1 | Hasil pengujian sifat-sifat geoteknik dan hidraulika tanah. | 45 |
| Tabel 3. 2 | Parameter Tanah untuk SIGMA/W..... | 51 |
| Tabel 3. 3 | Modulus Elastisitas pada Batuan..... | 52 |
| Tabel 3. 4 | Modulus Elastisitas, Model dan Kategori Material pada Setiap Lapisan | 52 |
| Tabel 3. 5 | Parameter Hidrolik pada Setiap Lapisan..... | 53 |
| Tabel 4. 1 | Parameter Tanah untuk SIGMA/W Setelah Validasi..... | 69 |
| Tabel 4. 2 | Modulus Elastisitas pada Setiap Lapisan Setelah Validasi | 69 |
| Tabel 4. 3 | Parameter Hidrolik pada Setiap Lapisan..... | 70 |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|--------------|--|----|
| Gambar 2. 1 | Model lereng pada VADOSE/W..... | 5 |
| Gambar 2. 2 | Model lereng tak hingga dan batas-batas yang diterapkan pada model | 6 |
| Gambar 2. 3 | Model infiltrasi dan batas-batas yang diterapkan pada pemodelan..... | 7 |
| Gambar 2. 4 | Model infiltrasi lereng | 8 |
| Gambar 2. 5 | Profil perubahan tekanan air pori (a) pada coupled analysis, (b) pada uncoupled analysis | 10 |
| Gambar 2. 6 | Perbandingan nilai suction pada analisis coupled dan uncoupled. | 10 |
| Gambar 2. 7 | Perbandingan nilai FS pada (a) analisis coupled, (b) uncoupled... .. | 11 |
| Gambar 2. 8 | Model lereng dan batas-batas yang diterapkan..... | 12 |
| Gambar 2. 9 | Model lereng yang dianalisis..... | 12 |
| Gambar 2. 10 | Skema dari kotak pengujian | 13 |
| Gambar 2.11 | Model lereng yang dimodelkan | 14 |
| Gambar 2. 12 | Kriteria kegagalan Mohr-Coulumb | 16 |
| Gambar 2. 13 | Lingkaran Mohr..... | 17 |
| Gambar 2. 14 | Diagram skematik alat uji triaksial..... | 19 |
| Gambar 2. 15 | Selubung keruntuhan tegangan total dan tegangan efektif pada uji triaksial terkonsolidasi-tak terdrainase..... | 20 |
| Gambar 2. 16 | Kurva kalibrasi kadar air filter paper-suction..... | 23 |
| Gambar 2. 17 | Kurva kalibrasi kadar air filter paper -suction..... | 23 |
| Gambar 2. 18 | Kurva kalibrasi kadar air filter paper -suction..... | 24 |
| Gambar 2. 19 | Skema alat uji permeabilitas..... | 26 |
| Gambar 2. 20 | Kurva karakteristik kadar air dan permeabilitas untuk tanah berpasir | 27 |
| Gambar 2. 21 | Hubungan tegangan-regangan pada model linear-elastik..... | 33 |
| Gambar 2. 22 | Hubungan tegangan-regangan pada model non linear/ hiperbolik..... | 34 |
| Gambar 2. 23 | Hubungan tegangan-regangan pada model elastik plastik. | 34 |
| Gambar 2. 24 | Hubungan tegangan-regangan pada model cam clay. | 35 |
| Gambar 3. 1 | Lokasi penelitian. | 39 |
| Gambar 3. 2 | Profil lapisan tanah pada lereng dan uji SPT..... | 41 |
| Gambar 3. 3 | Bagan alir penelitian..... | 42 |
| Gambar 3. 4 | Alat uji triaksial | 43 |
| Gambar 3. 5 | Alat uji permeabilitas | 44 |
| Gambar 3. 6 | Filter Paper Whatman No. 42..... | 45 |
| Gambar 3. 7 | Tabung besi tipis untuk contoh tanah uji..... | 46 |
| Gambar 3. 8 | Soil Water Characteristic Curve (SWCC) pada (a) lapisan 1, (b) lapisan 2..... | 53 |
| Gambar 3. 9 | Estimasi kurva karakteristik permeabilitas-tekanan air pori dengan SIGMA/W | 54 |
| Gambar 3. 10 | Intensitas hujan pada daerah studi pada bulan Juli..... | 54 |
| Gambar 3. 11 | Kurva karakteristik permeabilitas-tekanan air pori (a) lapis permukaan, (b) lapisan 1a, 1b, (c) lapisan 2a, 2b, 2c, 2d. | 55 |
| Gambar 3. 12 | Input analisis initial in-situ. | 56 |

| | | |
|--------------|---|----|
| Gambar 3. 13 | Titik-titik yang dimasukkan dalam pemodelan. | 57 |
| Gambar 3. 14 | Input lapisan permukaan pada lereng. | 57 |
| Gambar 3. 15 | Hasil penggambaran potongan dan lapisan lereng. | 58 |
| Gambar 3. 16 | Input parameter-parameter tanah. | 59 |
| Gambar 3. 17 | Input fungsi volumetric water content function. | 59 |
| Gambar 3. 18 | Input fungsi hydraulic conductivity function. | 60 |
| Gambar 3. 19 | Elevasi muka air tanah awal. | 60 |
| Gambar 3. 20 | Kondisi batas yang diterapkan dan muka air tanah pada pemodelan. | 61 |
| Gambar 3. 21 | Input tipe analisis yang digunakan. | 62 |
| Gambar 3. 22 | Kondisi tekanan air pori awal (initaila pore water pressure) pada lereng. | 63 |
| Gambar 3. 23 | Input data intensitas hujan. | 64 |
| Gambar 3. 24 | Kondisi batas (boundary condition) yang diterapkan pada pemodelan. | 65 |
| Gambar 3. 25 | Deformasi lereng pada BH-7. | 66 |
| Gambar 3. 26 | Perubahan tekanan air pori pada BH-7 pada hari ke-0 dan ke-18. | 67 |
| Gambar 4. 1 | Deformasi yang terjadi di lereng dengan pemodelan dan pengukuran di lapangan (a) sebelum validasi, (b) sesudah validasi. | 68 |
| Gambar 4. 2 | Perubahan tekanan air pori (pore water pressure) pada bulan (a) Juli, (b) Agustus. | 71 |
| Gambar 4. 3 | Deformasi pada bulan (a) Juli, (b) Agustus. | 72 |
| Gambar 4. 4 | Perubahan muka air tanah selama pemodelan pada bulan Juli 2017. | 73 |
| Gambar 4. 5 | Perubahan muka air tanah selama pemodelan pada bulan Agustus 2017. | 74 |
| Gambar 4. 6 | Deformasi pada kedalaman 0,5 m. | 75 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|-------------------------------------|-----|
| Lampiran 1. Sifat-Sifat Fisis | 80 |
| Lampiran 2. Data SPT dan CPT..... | 90 |
| Lampiran 3. SWCC..... | 126 |
| Lampiran 4 Pengujian Triaksial..... | 130 |

DAFTAR SINGKATAN

| Simbol | Dimensi | Keterangan |
|------------|-------------------|-------------------------------|
| τ | $[ML^{-1}T^{-2}]$ | tegangan geser |
| σ | $[ML^{-1}T^{-2}]$ | tegangan normal |
| c | $[ML^{-1}T^{-2}]$ | kohesi tanah |
| ϕ | [-] | sudut gesek tanah |
| σ' | $[ML^{-1}T^{-2}]$ | tegangan normal efektif |
| c' | $[ML^{-1}T^{-2}]$ | kohesi efektif |
| ϕ' | [-] | sudut gesek efektif tanah |
| s | $[ML^{-1}T^{-2}]$ | <i>soil suction</i> |
| u_a | $[ML^{-1}T^{-2}]$ | tekanan udara |
| u_w | $[ML^{-1}T^{-2}]$ | tekanan air pori |
| θ | [-] | kadar air volumetrik |
| θ_s | [-] | kadar air jenuh |
| θ_r | [-] | kadar air residu |
| k | $[LT^{-1}]$ | koefisien permeabilitas tanah |

DAFTAR ISTILAH

1. *Coupled analysis*
Coupled analysis adalah salah satu tipe analisis yang memungkinkan untuk melakukan analisis rembesan (*seepage*) dan tegangan-deformasi (*stress-deformation*) secara bersamaan.
2. *Soil Suction*
Soil suction dapat diartikan sebagai potensi dari tanah untuk menyerap air. *Soil suction* juga sering disebut tekanan air pori negatif.
3. *Soil Water Characteristic Curve (SWCC)*
Soil Water Characteristic Curve (SWCC) digunakan untuk menggambarkan hubungan antara *matric suction* dengan kadar air tanah pada tanah tak jenuh.