

TUGAS AKHIR

**PEMODELAN NUMERIK LERENG DENGAN PERKUATAN
FONDASI TIANG**

Diajukan guna melengkapi persyaratan untuk memenuhi gelar Sarjana Teknik
di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik,
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta



Zahra Alya Darojati

20160110208

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

2020

HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Zahra Alya Darojati

NIM : 20160110208

Judul : Pemodelan Numerik Lereng dengan Perkuatan Tiang

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, 26 Juli 2020

Yang membuat pernyataan



Zahra Alya Darojati

HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Zahra Alya Darojati

NIM : 20160110208

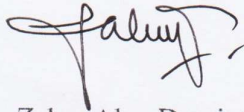
Judul : Pemodelan Numerik Lereng dengan Perkuatan Tiang

Menyatakan bahwa tugas akhir ini merupakan bagian dari penelitian payung dosen pembimbing yang berjudul "*A Blueprint of Indonesian Landslide Early Warning System*" dan didanai melalui skema hibah Riset Dasar Kerjasama Luar Negeri pada tahun 2019 oleh Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat, Direktorat Jenderal Riset dan Pengembangan, Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi, Republik Indonesia Tahun Anggaran 2019 dengan Surat Keputusan Nomor 7/E/KPT/2019 tertanggal 19 Februari 2019 dan Perjanjian/Kontrak Nomor 227/SP2H/LT/DRPM/2019.

Yogyakarta, 26 Juli 2020

Penulis,

Dosen Peneliti,



Zahra Alya Darojati



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

HALAMAN PERSEMBAHAN

Tugas Akhir ini
Saya persembahkan untuk dua orang paling berharga di
dunia.

Terima kasih atas doa dan lindungan tangis di malam hari,
langkah yang tak hingga dalam mentatih,
serta pengorbanan dalam menjaga bentuk cinta & kasih.

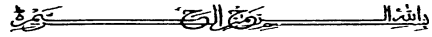
~~~~~  
Ayahanda Sugeng Darojati, S.T., M.T.

Ibunda Eka Septianingsing, S.T., M.H.  
~~~~~

Mega-bestfriend,
~~~~~

Desi Prasiska  
~~~~~

PRAKATA



Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Segala puji bagi Allah SWT, Tuhan penguasa alam. Sholawat dan salam selalu tercurah kepada Rasulullah SAW beserta keluarga dan sahabat-sahabatnya.

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Penelitian ini berjudul 'Pemodelan Numerik Lereng dengan Perkuatan Fondasi Tiang' dengan tujuan membandingkan hasil perbedaan dari kedua analisis dan hasil perbedaan kedua model lereng..

Selama penyusunan tugas akhir, banyak rintangan yang penyusun dapatkan, salah satunya *COVID-19*. Berkat bantuan, bimbingan, dan dorongan dari berbagai pihak akhirnya tugas akhir dapat diselesaikan dengan baik. Melalui kesempatan ini, penyusun ingin menyampaikan rasa terima kasih atas kerja sama dan dukungan dari berbagai pihak selama proses penelitian hingga penyusunan tugas akhir ini kepada:

1. Bapak Prof. Agus Setyo Muntohar, Ph.D.(Eng.) sebagai Dosen Pembimbing Tugas Akhir,
2. Ibu Ir. Anita Widianti, M.T. selaku Dosen Penguji Tugas Akhir,
3. Bapak Puji Harsanto, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil,
4. Tim Geoteknik dan Sahabat.

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

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Yogyakarta, 22 Juli 2020

Penyusun

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	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 SIMBOL DAN LAMBANG	xiv
DAFTAR SINGKATAN	xv
DAFTAR ISTILAH	xvi
ABSTRAK	xvii
<i>ABSTRACT</i>	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
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	4
2.1 Pemodelan Infiltrasi Hujan dan Stabilitas Lereng	4
2.2 Pengaruh Intensitas Hujan terhadap Keruntuhan Lereng	8
2.3 Pengaruh Muka Air Tanah terhadap Keruntuhan Lereng	9
2.4 Pergerakan Lereng di Kalibawang, Kulonprogo	10
2.5 Pengaruh Fondasi Tiang pada Stabilitas Lereng	11
2.6 Konversi <i>Axisymmetric</i> ke <i>Plane Strain</i>	12
2.7 Analisis <i>Hydromechanic-Coupled</i> dan <i>Uncoupled</i>	14
BAB III METODE PENELITIAN	16
3.1 Kerangka Penelitian	16
3.2 Data Penelitian	19

3.2.1	Data Parameter Tanah	19
3.2.2	Data Hidraulik Tanah	21
3.2.3	Data Intensitas Hujan	23
3.2.4	Data Fondasi Tiang	23
3.3	Pemodelan Numerik Lereng SEEP/W	24
3.3.1	Pemodelan Lereng pada SEEP/W	24
3.4	Pemodelan Numerik Lereng SIGMA/W	36
3.4.1	Pemodelan Deformasi Lereng Awal (<i>Initial In-Situ Stressess</i>)	36
3.4.2	Pemodelan Deformasi Lereng (<i>Volume Change</i>)	38
3.5	Pemodelan Numerik Lereng SLOPE/W	44
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		48
4.1	Hasil Penelitian	48
4.1.1	Tekanan Air Pori Analisis <i>Coupled</i> dan <i>Uncoupled</i>	48
4.1.2	Deformasi Lereng Analisis <i>Coupled</i> dan <i>Uncoupled</i>	50
4.1.3	Tekanan Air Pori Analisis <i>Uncoupled</i> pada Lereng Tanpa Perkuatan dan Lereng dengan Perkuatan	51
4.1.4	Deformasi Lereng Analisis <i>Uncoupled</i> pada Lereng Tanpa Perkuatan dan Lereng dengan Perkuatan	56
4.1.5	Faktor Aman pada Lereng Tanpa Perkuatan dan dengan Perkuatan Fondasi Tiang	58
4.2	Pembahasan	58
4.2.1	Tekanan Air Pori Analisis <i>Coupled</i> dan <i>Uncoupled</i>	58
4.2.2	Pengaruh Metode Analisis <i>Coupled</i> dan <i>Uncoupled</i> terhadap Deformasi	61
4.2.3	Pengaruh Pemasangan Fondasi Tiang terhadap Tekanan Air Pori dan Stabilitas Lereng	62
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		64
5.1	Kesimpulan	64
5.2	Saran	64
DAFTAR PUSTAKA		65
LAMPIRAN		68

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Sifat geoteknik dan hidraulika tanah (Azhar, 2019)	20
Tabel 3.2	Parameter tanah untuk pemodelan (Azhar, 2019).....	20
Tabel 3.3	Nilai modulus elastisitas (Azhar, 2019), model, dan kategori material pada setiap lapisan.....	20
Tabel 3.4	Parameter hidraulik lapisan tanah	22
Tabel 3.5	Diameter tiang akibat perubahan kondisi.....	24

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Perubahan muka air tanah hasil analisis SEEP/W (Hsu & Chien, 2016)	5
Gambar 2.2	Mesh elemen hingga dalam analisis rembesan (Ng & Shi, 1998) ..	6
Gambar 2.3	Pemodelan lereng SEEP/W (Chung dkk., 2010)	7
Gambar 2.4	Ukuran mesh (Tang dkk., 2017)	8
Gambar 2.5	Kondisi batas pemodelan lereng (Rahardjo dkk., 2010).....	9
Gambar 2.6	Pemodelan SEEP/W (Muntohar & Saputro, 2014).....	10
Gambar 2.7	Analisis stabilitas lereng dengan beban statik dan dinamik (Sadiq dkk., 2018)	11
Gambar 2.8	Hasil analisis perilaku tiang FLAC 3D; <i>displacement</i> (a) $E_p = 60$ GPa (b) $E_p = 200$ GPa; <i>soil pressure</i> (c) $E_p = 60$ GPa (d) $E_p = 200$ GPa (Won dkk., 2005)	13
Gambar 2.9	Tekanan air pori dengan (a) intensitas hujan 22 mm/jam (b) intensitas hujan 45 mm/jam (Tung dkk., 2004)	15
Gambar 2.10	Tekanan air pori pada (a) analisis <i>coupled</i> (b) analisis <i>uncoupled</i> (Qi & Vanapalli, 2015)	15
Gambar 3.1	Kondisi lereng dari foto udara.....	17
Gambar 3.2	Lokasi pemodelan lereng (Azhar, 2019).....	17
Gambar 3.3	Bagan alir penelitian	19
Gambar 3.4	Profil lapisan tanah pada lereng dan uji SPT	21
Gambar 3.5	SWCC (a) lapisan 1 (b) lapisan 2.....	22
Gambar 3.6	Data hujan bulan Juli 2017.....	23
Gambar 3.7	Menentukan tipe analisis.....	25
Gambar 3.8	Memasukkan koordinat lapisan lereng.....	25
Gambar 3.9	Memasukkan lapisan permukaan	26
Gambar 3.10	Memasukkan parameter lapisan tanah	26
Gambar 3.11	Fungsi konduktivitas hidraulik.....	27
Gambar 3.12	Fungsi kadar air volumetrik	27
Gambar 3.13	Memasukkan material beton	28
Gambar 3.14	Data hujan bulan Juli 2017.....	28
Gambar 3.15	Memasukkan koordinat muka air tanah	29
Gambar 3.16	Kondisi batasan (<i>boundary condition</i>) model 1	30
Gambar 3.17	Kondisi batasan (<i>boundary condition</i>) model 2	31
Gambar 3.18	Muka air tanah bulan Juli 2017 model 1	32
Gambar 3.19	Muka air tanah bulan Agustus 2017 model 1	33
Gambar 3.20	Muka air tanah bulan Juli 2017 model 2.....	34
Gambar 3.21	Muka air tanah bulan Agustus 2017 model 2	35
Gambar 3.22	Menentukan tipe analisis.....	36
Gambar 3.23	Menentukan material tanah.....	37
Gambar 3.24	Menentukan material beton.....	38
Gambar 3.25	Potongan melintang model 1.....	39

Gambar 3.26	Potongan melintang model 2.....	40
Gambar 3.27	Kondisi tekanan air pori awal (<i>initial pore water pressure</i>) model 1	41
Gambar 3.28	Kondisi tekanan air pori awal (<i>initial pore water pressure</i>) model 2	42
Gambar 3.29	Menentukan tipe analisis.....	43
Gambar 3.30	Menentukan tipe analisis.....	44
Gambar 3.31	Menentukan material fondasi tiang.....	45
Gambar 3.32	Menentukan bidang gelincir lereng.....	45
Gambar 3.33	Potongan melintang SLOPE/W model 1	46
Gambar 3.34	Potongan melintang SLOPE/W model 2	47
Gambar 4.1	Tekanan air pori, Juli 2017 (a) analisis <i>coupled</i> (b) <i>uncoupled</i>	48
Gambar 4.2	Tekanan air pori, Agustus 2017 (a) analisis <i>coupled</i> (b) analisis <i>uncoupled</i>	49
Gambar 4.3	Deformasi, Juli 2017 (a) analisis <i>coupled</i> (b) analisis <i>uncoupled</i> ; deformasi, Agustus 2017 (c) analisis <i>coupled</i> (d) analisis <i>uncoupled</i>	50
Gambar 4.4	Tekanan air pori, Juli 2017 (a) tanpa kekuatan (b) dengan kekuatan.....	52
Gambar 4.5	Tekanan air pori, Agustus 2017 (a) tanpa kekuatan (b) dengan kekuatan.....	53
Gambar 4.6	Tekanan air pori, Juli 2017 (a) tanpa kekuatan (b) dengan kekuatan.....	54
Gambar 4.7	Tekanan air pori, Agustus 2017 (a) tanpa kekuatan (b) dengan kekuatan.....	55
Gambar 4.8	Deformasi, Juli 2017 (a) tanpa kekuatan (b) dengan kekuatan; deformasi, Agustus 2017 (c) tanpa kekuatan (d) dengan kekuatan	56
Gambar 4.9	Deformasi, Juli 2017 (a) tanpa kekuatan (b) dengan kekuatan; deformasi, Agustus 2017 (c) tanpa kekuatan (d) dengan kekuatan	57
Gambar 4.10	Kondisi bidang runtuh model 1: tanpa kekuatan fondasi tiang ...	59
Gambar 4.11	Kondisi bidang runtuh model 2: dengan kekuatan fondasi tiang.	60
Gambar 4.12	Deformasi analisis <i>coupled</i> dan <i>uncoupled</i> di kedalaman 0,2 m ..	61
Gambar 4.13	Deformasi di kedalaman 0,2 m titik BH – 6 (BD1).....	62
Gambar 4.14	Deformasi di kedalaman 0,2 m titik BH – 6 (DD2).....	63

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data hasil pengujian sifat fisis tanah	68
Lampiran 2 Data SPT dan CPT.....	78
Lampiran 3 SWCC.....	113
Lampiran 4 Pengujian Triaksial.....	118

DAFTAR SIMBOL DAN LAMBANG

Simbol	Dimensi	Keterangan
$E_{c,ax}$	$[ML^{-1}T^{-2}]$	modulus elastisitas kolom kondisi <i>axisymmetric</i>
$E_{c,ps}$	$[ML^{-1}T^{-2}]$	modulus elastisitas kolom kondisi <i>plane strain</i>
ν	$[-]$	poisson's ratio
$a_{s,ax}$	$[L^2]$	luas tanah sekitar saat kondisi <i>axisymmetric</i>
$a_{s,ps}$	$[L^2]$	luas tanah sekitar saat kondisi <i>plane strain</i>
a	$[L^2]$	luas tanah sekitar
A_{col}	$[L^2]$	luas penampang kolom
c'	$[ML^{-1}T^{-2}]$	kohesi efektif
φ	$[-]$	sudut gesek internal
θ_s	$[-]$	kadar air volumetrik jenuh air
θ_r	$[-]$	kadar air volumetrik residu air

DAFTAR SINGKATAN

CPT	= <i>Cone Penetration Test</i>
SPT	= <i>Standard Penetration Test</i>
SWCC	= <i>Soil Water Characteristic Curve</i>
TRMM	= <i>Tropical Rainfall Measuring Mission</i>

DAFTAR ISTILAH

1. *Coupled analysis*
Coupled analysis adalah tipe analisis yang menjalankan analisis rembesan (*seepage*) dan analisis tegangan-deformasi (*stress-deformation*) secara bersamaan.
2. *Uncoupled analysis*
Uncoupled analysis adalah tipe analisis yang menjalankan analisis rembesan (*seepage*) dan analisis tegangan-deformasi (*stress-deformation*) secara terpisah.
3. *Passive Piles*
Passive Piles adalah fondasi tiang yang menahan gaya dari arah horizontal.
4. *Axisymmetric*
Axisymmetric dapat diartikan sebagai kondisi pemodelan struktur yang memiliki lingkaran dan potongan radial serta tegangan yang bernilai sama pada arah radial.
5. *Plane Strain*
Plane Strain dapat diartikan sebagai kondisi pemodelan struktur yang memiliki potongan melintang dan kondisi tegangan yang seragam.