

**KAJI ULANG LONGSORAN DAN PERFORMA PERBAIKAN
LERENG MENGGUNAKAN *BOREPILE* DAN *GROUND
ANCHOR* PADA JALAN TOL CIPALI KM 103**

TESIS



Oleh:

**Akhmudiyanto
NPM: 2017831011**

**Pembimbing 1:
Prof. Paulus Pramono Rahardjo, Ph.D.**

**Pembimbing 2:
Dr. Rinda Karlinasari**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
BANDUNG
April 2021**

HALAMAN PENGESAHAN

**KAJI ULANG LONGSORAN DAN PERFORMA PERBAIKAN LERENG
MENGUNAKAN *BOREPILE* DAN *GROUND ANCHOR* PADA JALAN TOL CIPALI
KM 103**



Akhmudiyanto

NPM: 2017831011

Disetujui Untuk Diajukan Ujian Sidang pada Hari / Tanggal

Kamis 16 April 2021

Pembimbing 1:

Prof. Paulus Pramono Rahardjo, Ph.D.

Pembimbing 2:

Dr. Rinda Karlinasari

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
BANDUNG
April 2021**

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : **Akhmudiyanto**
NPM : 2017831011
Program Studi : Magister Teknik Sipil
Fakultas : Teknik, Universitas Katolik Parahyangan

Dengan ini menyatakan bahwa Tesis yang berjudul:

KAJI ULANG LONGSORAN DAN PERFORMA PERBAIKAN LERENG MENGUNAKAN BOREPILE DAN GROUND ANCHOR PADA JALAN TOL CIPALI KM 103

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, 16 April 2021



Akhmudiyanto

**KAJI ULANG LONGSORAN DAN PERFORMA PERBAIKAN LERENG
MENGUNAKAN *BOREPILE* DAN *GROUND ANCHOR* PADA JALAN TOL
CIPALI KM 103**

**Akhmudiyanto (NPM: 201783111)
Prof. Paulus Pramono Rahardjo, Ph.D.
Dr. Rinda Karlinasari.
Magister Teknik Sipil
Bandung
April 2021**

ABSTRAK:

Keruntuhan pada lereng jalan salah satunya diakibatkan oleh banjir di kaki lereng. Pada kasus longsor cara menentukan sudut geser residual pada saat longsor dapat dicari dengan metode $R_{interface}$. Nilai parameter tanah yang dipakai pada saat menghitung $R_{interface}$ sesuai data sebenarnya, dengan metode *Trial and error* dicari nilai $R_{interface}$ untuk mendapatkan faktor keamanan 1,00. Cara menentukan nilai $R_{interface}$ dengan cara *trial and error* dengan bantuan perangkat lunak PLAXIS 2D metode Mohr Coulomb didapatkan nilai $R_{interfac}= 0,175$ dengan hasil *safety factor* 1,0843. Menggunakan program PCA Column dan perangkat pendukung lain, didapatkan solusi perkuatan lereng menggunakan *borepile* diameter 880 mm pada baris 1 pada pertengahan bidang longsor dengan jarak antar tiang 1 meter dengan kedalaman 14 meter dan *borepile* baris kedua dengan diameter 880 mm dengan jarak antar tiang 2 meter dengan kedalaman 20 meter dan *Ground anchor* 2 layer didapatkan nilai keamanan 1,798. Penelitian dilanjutkan dengan membandingkan dengan menggunakan program Plaxis 3D menghasilkan nilai *Safety factor* kurang lebih 50% lebih besar, dibandingkan dengan Plaxis 2D.

Kata kunci: Stabilitas lereng, Metode elemen hingga, *Ground anchor*, *Borepile*

***REVIEW OF LANDSLIDE AND SLOPE REPAIR PERFORMANCE USING
BOREPILE AND GROUND ANCHOR ON CIPALI TOLL ROAD KM 103***

Akhmudiyanto (NPM: 201783111)

Adviser I: Prof. Ir. Paulus Pramono Rahardjo, Ph.D.

Adviser II: Dr. Rinda Karlinasari,

Magister of Civil Engineering

Bandung

April 2021

ABSTRACT

Collapse on the road slopes, one of the cause is the flood on the foot slope. In the case of landslides, the method to determining residual shear angle of landslides can be found using the $R_{interface}$ method. Soil parameter values used when calculating the $R_{interface}$ are in accordance with the actual data, with the Trial and error method of $R_{interface}$ value is calculated to obtain a safety factor of 1.00. Determine value of the interface by trial and error use Mohr Coulomb's PLAXIS 2D software method, the value of $R_{interfac}$ = 0.175 with result of a safety factor of 1.0843. Using the PCA Column program and other supporting devices program, slope reinforcement solution was obtained using a borepile with a diameter of 880 mm in row 1 in the middle of the landslide field with a distance between the piles of 1 meter with a depth of 14 meters and a second row borepile with a diameter of 880 mm with a distance between the piles of 2 meters with 20 meter depth and 2 layer Ground anchor obtained safety value of 1.798. The study was continued by comparing using the Plaxis 3D program, which resulted in a safety factor value of approximately 50% greater than that of Plaxis 2D.

Keywords: Slope stability, Finite element method, Ground anchor, Borepile

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kepada Allah SWT karena atas karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Tesis yang berjudul **“KAJI ULANG LONGSORAN DAN PERFORMA PERBAIKAN LERENG MENGGUNAKAN *BOREPILE* DAN *GROUND ANCHOR* PADA JALAN TOL CIPALI KM 103”**. Tesis ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat S-2 (Magister Teknik) di Fakultas Pasca sarjana Program studi Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan. Penulis menyadari dalam menyusun Tesis ini telah terkendala banyak masalah. Namun berkat kritik, saran, dan dorongan semangat dari berbagai pihak maka akhirnya Tesis ini dapat diselesaikan. Penulis ingin mengucapkan Syukur Alhamdulillah kepada Allah SWT dan terima kasih kepada:

1. □Bapak Prof. Paulus Pramono Rahardjo, Ir. MSCE. PhD. selaku dosen Pembimbing I yang telah mencurahkan perhatian, waktu, tenaga, dan membagikan ilmu pengetahuan bagi penulis dengan penuh semangat dalam membimbing penulis dalam menyelesaikan Tesis ini.
2. □Ibu. Dr. Rinda Karlinasari, Ir., MT., selaku dosen pembimbing II yang telah mendorong dan membagikan ilmu pengetahuan bagi penulis dalam menyelesaikan Tesis ini .
3. □Bapak Budijanto Widjaya PhD, dan Bapak Dr. Ir. Eddy Triyanto MT. selaku dosen pembahas yang banyak memberikan saran dan masukan dan membagikan ilmu supaya Tesis ini lebih baik.

4. □ Bapak Aswin Lim PhD, Bapak Dr Gouw Tjie Liong Ir, M.ENG, Ibu Anastasia Sri Lestari, Ir. MT, selaku dosen yang banyak memberikan saran dan masukan kepada penulis sehingga Tesis ini dapat diselesaikan dengan lebih baik,
5. □ Kepada seluruh staf kantor Geotechnical Engineering Consultants yang telah membantu serta memberikan masukan kepada penulis untuk lebih memahami permasalahan dalam bidang geoteknik,
6. □ Seluruh teman-teman mahasiswa Pasca Sarjana Program studi Magister Teknik Sipil Universitas Parahyangan Angkatan 2017 yang telah memberikan dukungan baik secara langsung maupun tidak langsung selama pembelajaran.
7. □ Istri tersayang Zaqiyah Nur, Anak anak tercinta Faza Baihaqi Alrasyid, Luqman Hakim Al Auzan, Azka Julda Al anshari dan Hanik Ghita Saffanah yang menjadi sumber energi dan semangat untuk menyelesaikan Tesis ini.
8. □ Serta seluruh pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu persatu telah membantu dalam penyusunan Tesis ini sehingga dapat diselesaikan Penulis menyadari bahwa tesis ini masih belum sempurna. Penulis sangat berterima kasih apabila ada saran dan kritik yang dapat membuat Thesis ini akan menjadi lebih baik lagi, semoga Thesis ini dapat berguna bagi teman-teman dan semua orang yang membacanya.

Bandung, 16 April 2021

AKHMUDIYANTO

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL

HALAMAN PENGESAHAN

PERNYATAAN

ABSTRAK

ABSTRACT

KATA PENGANTAR i

DAFTAR ISI iii

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN ix

DAFTAR GAMBAR x

DAFTAR TABEL xvii

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Inti Permasalahan 5

1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian. 5

1.4 Lingkup Penelitian 6

1.5 Metode Penelitian 7

 1.5.1 Studi Literatur 7

 1.5.2 Pengumpulan Data 7

 1.5.3 Analisis Data dan Perhitungan 7

1.6 Sistematika Penulisan 8

1.7 Diagram Alir 9

BAB 2 STUDI PUSTAKA

2.1 Prinsip Stabilitas Lereng 13

2.1.1	Kuat geser Tanah	16
2.1.2	Tegangan Efektif dan Tegangan Total	18
2.1.3	Kondisi <i>short term</i> dan <i>long term</i>	19
2.2	Tinjauan Kegagalan Lereng	19
2.2.1	Penurunan Kuat Geser	20
2.2.2	Peningkatan Tegangan Geser	21
2.3	Mekanisme Longsor pada Lereng	22
2.3.1	Umum	22
2.3.2	Pola Pergerakan Lereng	23
2.3.3	Konsep Kestabilan Lereng	24
2.4	Faktor–Faktor Penyebab Kelongsoran Lereng	25
2.4.1	Faktor Pengaruh Luar	25
2.4.2	Faktor Pengaruh Dalam	26
2.5	Jenis–Jenis Longsoran Lereng	27
2.5.1	Longsoran Translasi	28
2.5.2	Longsoran Rotasi	29
2.5.3	Pergerakan Blok	30
2.5.4	Runtuhan Batu	30
2.5.5	Rayapan Tanah	31
2.5.6	Aliran Bahan Rombakan	32
2.6	Analisa kestabilan lereng	33
2.6.1	Analisa kestabilan lereng dengan <i>Limit Equilibrium Method</i>	34
2.6.2	Analisa kestabilan lereng dengan <i>Finite Elemen Method (FEM)</i> ...	37

2.7 Penanggulangan Longsor	39
2.7.1 Drainase Horisontal	39
2.7.2 Struktur Penahan Tanah	40
2.7.2.1 Pondasi Tiang Pancang	40
2.7.2.2 Pondasi Tiang Bor	42
2.8 <i>Ground Anchor</i>	43
2.8.1 Umum	43
2.8.2 Desain <i>Ground Anchor</i>	51
2.8.3 Prinsip kerja dan komponen <i>Ground anchor</i>	53
2.8.4 <i>Ground anchor temporary</i> dan permanen	55
2.8.5 Prosedur pemasangan <i>Ground anchor</i>	56
2.8.6 Faktor Keamanan minimum	58
2.9 Monitoring Inklinometer	59
2.9.1 Umum	59
2.9.2 Peralatan dan perlengkapan	59
2.9.3 Pemasangan Inklinometer	62
2.9.4 Pemasangan pada lubang bor	63
2.9.5 Prinsip pengukuran pergerakan horizontal	64
2.9.6 Jadwal selang waktu pengukuran	67
2.10. Antar Muka (Interface)	67
BAB 3 METODE PENELITIAN	
3.1 Kajian penelitian	69
3.2 Data yang digunakan	70
3.2.1 Uji <i>Standart Penetration Test (SPT)</i>	70

3.2.2 Korelasi parameter tanah dari data DCPT (Sondir)	77
3.2.3 Korelasi Parameter tanah dengan hasil Laboratorium	79
3.2.3.1 Nilai Modulus Young	79
3.2.3.2 Nilai Poisson <i>Ratio</i>	81
3.2.3.3 Sudut Geser Dalam	81
3.2.3.4 Nilai Kohesi	82
3.3 Metode Analisis Kestabilan Lereng	83
3.4 Metode Elemen Hingga.....	84
3.5 Program 2 D PLAXIS 8.6	85
3.5.1. Input data	86
3.5.2 Langkah <i>Initial Condition</i>	87
3.5.3 Langkah <i>Calculation</i>	88
3.5.4 Keluaran	88
3.5.5 Langkah <i>Back Analysis</i>	88
3.6 Program Plaxis 3D 2013	89
3.6.1 Input Soil	90
3.6.2 Mencari c dan θ Residual	91
3.6.3 Input Struktur	93
3.6.4 Tahap <i>Meshing</i>	95
3.6.5 <i>Staged Construction</i>	95
BAB 4 STUDI KASUS	
4.1 Deskripsi Peristiwa Longsor	97
4.2. Data Tanah	99
4.2.1 <i>Boring Log</i>	99

4.2.2	<i>Cone Penetration Test (CPT) / Sondir</i>	100
4.2.3	<i>Cone Penetration Test Pore Pressure (CPTu)</i>	101
4.3	Model Geometri Lereng dan Korelasi Parameter Tanah	103
4.3.1	Model Geometri Lereng	103
4.3.2	Parameter tanah berdasarkan korelasi pengujian lapangan	104
4.4	Perhitungan <i>Back Analysis</i> dengan Program PLAXIS 8.6	109
4.5	Perkuatan Lereng	113
4.5.1	Material dan parameter perkuatan.....	115
4.5.2	Perhitungan Kapasitas <i>Borepile</i>	120
4.5.3	Hasil Perhitungan Penambahan Perkuatan	115
4.6	Perhitungan <i>Back Analysis</i> dengan Program PLAXIS 3D 2013	143
4.7	Perhitungan Perkuatan Lereng Plaxis 3D	145
4.7.1	Material dan parameter perkuatan.	142
4.7.2	Perkuatan Lereng dengan Borepile 1	149
4.7.3	Perkuatan Lereng dengan Borepile 2	151
4.7.4	Perkuatan Lereng dengan DPT, <i>Fill</i> dan Bronjong	155
4.7.5	Perkuatan Lereng dengan <i>Ground Anchor</i>	158
4.8	Diskusi	168
4.8.1	Cek momen lentur terhadap momen kapasitas borpile	168
4.8.2	Perhitungan Kapasitas <i>Ground Anchor</i>	171
4.8.3	Perbandingan Hasil keluaran Plaxis 2D dan keluaran Plaxis 3D	175
4.8.4	Perbandingan Bidang Longsor Sebelum dan Setelah Pembebanan	180

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	183
5.2. Saran	184
DAFTAR PUSTAKA	185
LAMPIRAN -LAMPIRAN	189

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

A	
A	= Luas penampang pondasi tiang (m ²)
Cu	= Kuat geser tanah <i>undrained</i> (kN/m ²)
CPTu	= <i>Piezo Cone Penetration Test</i>
D	= Diameter pondasi tiang (m)
DPT	= Dinding Penahan Tanah
f _c '	= Mutu beton
N-SPT	= Nilai SPT (blows / 60 cm)
K _s	= Kekakuan geser tiang
K _p	= Kuat geser tanah
Y	= Angka poisson
I	= Momen inersia (m ⁴)
γ	= Berat isi kering tanah (kN/m ³)
γ _{sat}	= Berat isi basah tanah (kN/m ³)
k _x	= Permeabilitas arah x (m/hari)
k _y	= Permeabilitas arah y (m/hari)
k _z	= Permeabilitas arah z (m/hari)
E _{ref}	= Modulus young (kN/m ²)
C _{ref}	= Kohesi (kN/m ²)
φ	= Sudut geser tanah (°)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Diagram alir kajian longsor km 103 toll Cipali	10
Gambar 2.1 Garis Keruntuhan Menurut Mohr dan Hukum Keruntuhan Mohr – Coulomb	17
Gambar 2.2 Hubungan tegangan efektif dan tegangan total	18
Gambar 2.3 Longsor Translasi (Cruden dan Varnes. 1992)	29
Gambar 2.4 Longsor Rotasi (Cruden dan Varnes. 1992)	29
Gambar 2.5 Pergerakan Blok (Cruden dan Varnes. 1992)	30
Gambar 2.6 Runtuhan Batu (Cruden dan Varnes. 1992)	31
Gambar 2.7 Rayapan Tanah (Cruden dan Varnes. 1992)	32
Gambar 2.8 Aliran Bahan Rombakan (Cruden dan Varnes. 1992)	33
Gambar 2.9 Bidang Longsor <i>Circular</i>	34
Gambar 2.10 Bidang Longsor <i>Non-Circular</i>	34
Gambar 2.11 Gaya yang bekerja pada bidang irisan	35
Gambar 2.12 Proses perhitungan faktor keamanan dalam FEM.....	38
Gambar 2.13. Alat pemboran	44
Gambar 2.14. Pemasukan <i>Casing</i> pengeboran	46
Gambar 2.15. Pemasangan <i>casing</i> pada pekerjaan tiang <i>borepile</i>	48
Gambar 2.16 Pembuatan pondasi tiang bor dengan menggunakan <i>slurry</i>	49
Gambar 2.17 <i>Anchorage System dan Anchor Head Detail</i>	50
Gambar 2.18 Pemakaian <i>Ground anchor</i> pada konstruksi sipil	51
Gambar 2.19 Posisi <i>Fixed length</i> yang aman	52
Gambar 2.20. Hubungan <i>Ultimate Pullout Capacity vs Fixed Anchor Length</i> ...	53
Gambar 2.21 Komponen <i>Ground anchor</i>	53

Gambar 2.22 Peralatan Inklinometer	61
Gambar 2.23. Pipa Inklinometer dan probe Inklinometer	61
Gambar 2. 24. MEMS(<i>Micro-Electro-Mechanical Sensor</i>) Digita, <i>Probe</i> dan kabel Inklinometer	62
Gambar 2.25 Sketsa pemasangan pipa Inklinometer dan pengukuran pergerakan horisontal	66
Gambar 3.1 Alat uji <i>Standart Penetration Test</i>	71
Gambar 3.2 Korelasi nilai N-SPT vs S_u	72
Gambar 3.3 Hubungan antara kohesi (c) dan nilai N-SPT untuk tanah kohesif	73
Gambar 3.4 Hubungan antara sudut geser (ϕ) dan nilai N-SPT untuk tanah Pasir.....	76
Gambar 3.5 Grafik N–SPT vs Sudut geser Φ	76
Gambar 3.6 Korelasi DCPT dengan tipe <i>Soil Behavior</i>	78
Gambar 3.7 Tampilan layar Plaxis 3D	90
Gambar 3.8 Tampilan <i>project properties</i>	91
Gambar 3.9 Tampilan input parameter <i>Material soil</i>	92
Gambar 3.10 Tampilan input paramter <i>Structure borepile Set type</i>	93
Gambar 3.11 Tampilan input paramter <i>Structure DPT Set type</i>	94
Gambar 3.12 Tampilan input parameter <i>Structure Ground anchor</i>	94
Gambar 4.1 Lokasi Longsor KM 103 Toll Cipali	97
Gambar 4.2 Sketsa prediksi mekanisme kegagalan lereng	98
Gambar 4.3 Kondisi tanah pada lokasi longsor	98
Gambar 4.4 Data <i>Borlog</i> pada BH -A dan BH -B	99

Gambar 4.5 Data <i>Cone Penetration Test</i>	100
Gambar 4.6 Data <i>Cone Penetration Test</i> u	101
Gambar 4.7 Potongan memanjang lapisan tanah pada borlog BH -A dan BH-B	102
Gambar 4.8 Model geometri prediksi garis longsor tanah	103 104
Gambar 4.10 Hubungan antara kohesi (c) dan nilai N-SPT untuk tanah kohesif	108
Gambar 4.11 Hubungan antara sudut geser Φ dan nilai N-SPT	109
Gambar 4.12 Hasil perhitungan <i>back analysis</i> dengan $R_{interface} = 0,175$	11
Gambar 4.13 Hasil perhitungan <i>back analysis</i> didapatkan $SF = 1,0843$	112
Gambar 4.14 Hasil <i>output back Analysis</i>	112
Gambar 4.15 Posisi <i>Soldier Pile</i>	114
Gambar 4.16 Posisi retakan pada bahu jalan	114
Gambar 4.17 Gambar Rencana perkuatan lereng dengan 2 baris <i>borepile</i>	115
Gambar 4.18 Gambar perkuatan struktur <i>Borepile</i> dan <i>Ground Anchor</i>	120
Gambar 4.19. Hasil perhitungan <i>borepile1</i> dengan PCA column	121
Gambar 4.20. Hasil perhitungan <i>borepile2</i> dengan PCA column	122
Gambar 4.21 Perkuatan lereng dengan 1 <i>borepile</i> perpindahan 0,202m	123
Gambar 4.22 Gaya – gaya <i>Borepile1</i> pada perkuatan lereng 1 <i>borepile</i>	123
Gambar 4.23 Hasil perhitungan kapasitas BP1 dengan perkuatan 1 <i>Borepile</i>	124
Gambar 4.24 Hasil perhitungan SF dengan 1 <i>borepile</i> sebesar 1,278	125
Gambar 4.25 Perkuatan lereng dengan 2 <i>borepile</i>	

(<i>Borepile1</i> dan <i>Borepile2</i>)	126
Gambar 4.26 Gaya gaya dengan 2 <i>borepile</i> pada <i>Borepile1</i>	126
Gambar 4.27 Hasil perhitungan Kapasitas BP1 dengan perkuatan 2 <i>Borepile</i>	127
Gambar 4.28 Gaya gaya dengan 2 baris <i>borepile</i> pada <i>Borepile2</i>	126
Gambar 2.29 Hasil perhitungan Kapasitas BP2 dengan perkuatan 2 <i>Borepile</i>	129
Gambar 4.30 Hasil perhitungan SF dengan 2 <i>borepile</i> sebesar 1,443	129
Gambar 4.31 Gaya pada BP1 akibat penambahan perkuatan DPT, <i>Fill</i> & Bronjong	130
Gambar 4.32 Hasil perhitungan BP1 dengan perkuatan DPT, <i>Fill</i> dan Bronjong	131
Gambar 4.33 Gaya pada BP2 akibat penambahan perkuatan DPT, <i>Fill</i> & Bronjong	131
Gambar 4.34 Hasil perhitungan kapasitas BP2 dengan perkuatan DPT, <i>Fill</i> dan Bronjong	132
Gambar 4.35 Perkuatan 2 <i>borepile</i> (BP1 dan BP2) pada dinding penahan	132
Gambar 4.36 Perkuatan lereng dengan <i>ground anchor</i>	133
Gambar 4.37 Gaya pada BP1 akibat perkuatan <i>Ground anchor</i>	134
Gambar 4.38 Hasil perhitungan kapasitas BP1 dengan perkuatan Ground Anchor	135
Gambar 4.39 Gaya pada BP2 akibat perkuatan <i>Ground anchor</i>	135
Gambar 4.40 Hasil perhitungan kapasitas BP2 dengan perkuatan Ground Anchor	136

Gambar 4.41 Gaya pada Dinding penahan tanah akibat perkuatan <i>Ground Anchor</i>	136
Gambar 4.42 Gaya pada Ground Anchor 1 akibat perkuatan <i>G Anchor</i>	137
Gambar 4.43 Gaya pada Ground Anchor 2 akibat perkuatan <i>G Anchor</i>	137
Gambar 4.44 Hasil perhitungan SF dengan perkuatan <i>Ground anchor</i> = 1,798.....	138
Gambar 4.45. Grafik Safety Factor pada Tahapan Pekerjaan	139
Gambar 4.46. Grafik gaya aksial pada Tahapan Pekerjaan	141
Gambar 4.47. Grafik gaya Geser maksimal pada Tahapan Pekerjaan	141
Gambar 4.48. Grafik Momen Lentur maksimal pada Tahapan Pekerjaan	142
Gambar 4.49. Grafik Perpindahan pada Tahapan Pekerjaan	142
Gambar 4.50. Bidang warna biru prediksi bidang longsor	144
Gambar 4.51. Hasil perhitungan <i>back analysis</i> dengan $R_{interface}$ 0,175	144
Gambar 4.52. Hasil perhitungan <i>back analysis</i> didapatkan SF 1,059	145
Gambar 4.53 Perkuatan lereng dengan 1 <i>borepile</i>	149
Gambar 4.54 Gaya – gaya BP1 pada perkuatan lereng 1 <i>borepile</i>	149
Gambar 4.55 Hasil perhitungan kapasitas BP1 dengan perkuatan 1 Borepile	150
Gambar 4.56 Hasil perhitungan SF dengan 1 <i>borepile</i> sebesar 1,416	151
Gambar 4.57 Perkuatan lereng dengan 2 <i>borepile</i> (BP1 dan BP2)	151
Gambar 4.58 Gaya gaya dengan 2 <i>borepile</i> pada BP1	152
Gambar 4.59 Hasil perhitungan kapasitas BP1 dengan perkuatan 2 Borepile	153
Gambar 4.59 Gaya gaya dengan 2 <i>borepile</i> pada BP2	153

Gambar 4.60 Hasil perhitungan SF dengan 2 <i>borepile</i> sebesar 1,895	154
Gambar 4.61 Hasil perhitungan SF dengan 2 Borepile sebesar 1,895.....	155
Gambar 4.62 Perkuatan lereng dengan 2 <i>borepile</i> (BP1 dan BP2) dan DPT, <i>Fill</i> dan Bronjong	155
Gambar 4.63 Gaya pada BP1 akibat penambahan perkuatan dinding penahan	156
Gambar 4.64 Gaya BP2 akibat penambahan perkuatan DPT, <i>Fill</i> & Bronjong	157
Gambar 4.65 Hasil perhitungan SF dengan 2 borepile dan DPT sebesar 2.232	158
Gambar 4.66 Perkuatan lereng dengan <i>Ground anchor</i>	159
Gambar 4.67 Gaya pada BP1 akibat perkuatan <i>Ground anchor</i>	159
Gambar 4.68 Hasil perhitungan kapasitas BP1 dengan perkuatan <i>Ground Anchor</i>	160
Gambar 4.69 Gaya pada BP2 akibat perkuatan <i>Ground anchor</i>	161
Gambar 4.70 Gaya pada DPT akibat perkuatan <i>Ground anchor</i>	162
Gambar 4.71 Gaya pada dinding penahan akibat perkuatan <i>Ground Anchor</i> ...	162
Gambar 4.72 Hasil perhitungan SF dengan perkuatan <i>Ground anchor</i> = 2,997	164
Gambar 4.73. Gaya Aksial yang bekerja pada tahapan pekerjaan	166
Gambar 4.74. Gaya Geser yang bekerja pada tahapan pekerjaan	167
Gambar 4.75 Gaya Momen yang bekerja pada tahapan pekerjaan	167
Gambar 4.76 Besar perpindahan yang bekerja pada tahapan pekerjaan.....	167

Gambar 4.77 Perhitungan PCA Column pada <i>borepile2</i> Plaxis 2D	168
Gambar 4.78 Perhitungan PCA Column pada <i>borepile2 output</i> Plaxis 2D	169
Gambar 4.79 Perhitungan PCA Column pada <i>borepile1 output</i> Plaxis 3D	170
Gambar 4.80 Perhitungan PCA Column pada <i>borepile2 output</i> Plaxis 3D	171
Gambar 4.81 Perbandingan hasil perhitungan pada <i>borepile 1</i> Plaxis 2d dan 3D	177
Gambar 4.82 Perbandingan hasil perhitungan pada <i>borepile 2</i> Plaxis 2d dan 3D	177
Gambar 4.83 Denah penempatan Inklinometer	178
Gambar 4.84 Monitoring inklnometer dan perpindahan plaxis 2D	178
Gambar 4.85 Monitoring inklnometer dan perpindahan plaxis 3D	179
Gambar 4.86 Gambar kondisi awal bidang longsor	181
Gambar 4.87 Gambar posisi akhir bidang longsor dengan perpindahan total 0,117 m	181

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Keseimbangan yang diperhitungkan pada perhitungan stabilitas lereng	36
Tabel 2.2 Gaya Antar Irisan pada perhitungan stabilitas lereng	36
Tabel 2.3. Rekomendasi faktor keamanan minimum	58
Tabel 2.4. Jadwal selang waktu pengukuran Inklinometer	65
Tabel 3.1 Nilai Modulus Elastisitas Tanah (E_u) (das, 2007b)	72
Tabel 3.2 Korelasi empiris antara nilai N-SPT dengan <i>Unconfined compressive strength</i> dan berat jenis tanah jenuh (γ_{sat}) untuk tanah kohesif	74
Tabel 3.3 Korelasi Berat Jenis Tanah (γ) Tanah Non Kohesif dan Kohesif.	74
Tabel 3.4 Korelasi Berat Jenis Tanah Jenuh (γ_{sat}) Untuk Tanah Non Kohesif.	75
Tabel 3.5 Nilai Tipikal Berat Volume Tanah	75
Tabel 3.6 Korelasi Nilai N-Spt Dengan <i>Relative Density</i> Tanah Non Kohesif.....	75
Tabel 3.7 Klasifikasi Tanah dari Data DCPT	77
Tabel 3.8 Hubungan Antara Konsistensi Dengan Tekanan <i>Conus</i> Pada Tanah Lempung	78
Tabel 3.9 Hubungan Antara Kepadatan, <i>Relative Density</i> , Nilai N-SPT, q_c dan \emptyset Pada Tanah Pasir	79
Tabel 3.10 Hubungan Antara Es dengan q_c	80
Tabel 3.11 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah	81

Tabel 3.12 Hubungan Antara Jenis Tanah dan Poisson Rasio.....	81
Tabel 3.13 Hubungan Antara Sudut Geser dalam dengan Jenis Tanah	81
Tabel 3.14 Hubungan Antara Sudut Geser Dalam, Tingkat Plastisitas dan Jenis Tanah.....	82
Tabel 3.15. Hubungan Antara Kohesi, N-SPT dan Sudut Geser pada Tanah Lempung	82
Tabel 4.1 Korelasi Berat Jenis Tanah (γ) Tanah Non Kohesi dan Kohesif	105
Tabel 4.2 Nilai permeabilitas tanah dan pasir	106
Tabel 4.3. Hubungan antara jenis tanah dan Poison rasio	107
Tabel 4.4 Input Parameter Tanah pada Program PLAXIS 8.6 Mohr Coulomb	110
Tabel 4.5. Jenis perkuatan yang diaplikasikan pada longsoran	119
Tabel 4.6. Input parameter borepile pada program PCA Column	121
Tabel 4.7 Hasil perhitungan Angka keamanan (SF) dan tahap pekerjaan	138
Tabel 4.8 Daftar gaya dan perpindahan penambahan struktur Perkuatan	140
Tabel 4.9 Input Parameter Tanah pada Program PLAXIS 3D 2013	143
Tabel 4.10 Gaya normal pada <i>Ground Anchor</i> layer 1 dan layer 2	163
Tabel 4.11 Hasil perhitungan Angka keamanan (safety factor) dan tahap pekerjaan pada plaxis 3D	164
Tabel 4.12. Daftar gaya dan perpindahan yang terjadi pada penambahan struktur pada plaxis 3D	165
Tabel 4.13 <i>Ultimate frictional strength anchor body</i> (JSF 1990)	172
Tabel 4.14. Koefisien ankur K_s (<i>Canadian Foundation Engineering Manual</i>)	174

Tabel 4.15. Perbandingan safety factor Plaxis 2D dengan Plaxis 3D	176
Tabel 4.16. Perbandingan gaya gaya dan pergerakan horisontal pada plaxis 2d dan plaxis 3D	176

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pendahuluan

Secara geografis sebagian besar wilayah Negara Kesatuan Republik Indonesia berada pada kawasan rawan bencana alam, dan salah satu bencana alam yang sering terjadi adalah bencana longsor. Sejalan dengan proses pembangunan berkelanjutan perlu diupayakan pengaturan dan pengarahan terhadap kegiatan-kegiatan yang dilakukan dengan prioritas utama pada penciptaan keseimbangan lingkungan. Salah satu upaya yang diambil adalah melalui pelaksanaan penataan ruang yang berbasis mitigasi bencana alam agar dapat ditingkatkan keselamatan dan kenyamanan kehidupan dan penghidupan masyarakat terutama di kawasan rawan bencana longsor.

Longsor terjadi karena proses alami dalam perubahan struktur muka bumi, yakni adanya gangguan kestabilan pada tanah atau batuan penyusun lereng. Gangguan kestabilan lereng ini dipengaruhi oleh kondisi geomorfologi terutama faktor kemiringan lereng, kondisi batuan ataupun tanah penyusun lereng, dan kondisi hidrologi atau tata air pada lereng. Meskipun longsor merupakan gejala fisik alami, namun beberapa hasil aktifitas manusia yang tidak terkendali dalam mengeksploitasi alam juga dapat menjadi faktor penyebab ketidakstabilan lereng yang dapat mengakibatkan terjadinya longsor, yaitu ketika aktifitas manusia ini

beresonansi dengan kerentanan dari kondisi alam yang telah disebutkan di atas. Faktor-faktor aktifitas manusia ini antara lain pola tanam, pemotongan lereng, pencetakan kolam, drainase, konstruksi bangunan, kepadatan penduduk dan usaha mitigasi bencana.

Kemantapan (stabilitas) lereng merupakan suatu faktor yang sangat penting dalam pekerjaan yang berhubungan dengan penggalian dan penimbunan tanah, batuan dan bahan galian, karena menyangkut persoalan keselamatan manusia (pekerja), keamanan peralatan serta kelancaran produksi. Keadaan ini berhubungan dengan terdapat dalam bermacam-macam jenis pekerjaan, misalnya pada pembuatan jalan, bendungan, penggalian kanal, penggalian untuk konstruksi, penambangan dan lain-lain.

Dalam pekerjaan jalan masalah kemantapan lereng ini akan diketemukan pada penggalian, timbunan badan jalan, tempat penimbunan buangan (tailing disposal) . Apabila lereng-lereng yang terbentuk sebagai akibat dari proses pekerjaan jalan utama maupun akses pekerjaan yang merupakan sarana penunjang operasi pekerjaan badan jalan yang tidak stabil, maka akan mengganggu kegiatan pekerjaan dan mengakibatkan sekedul pekerjaan terlambat.

Analisis kemantapan lereng merupakan suatu bagian yang penting untuk mencegah terjadinya gangguan terhadap kelancaran produksi maupun terjadinya bencana yang fatal. Dalam keadaan tidak terganggu (alamiah), tanah atau batuan umumnya berada dalam keadaan seimbang terhadap gaya-gaya yang timbul dari dalam. Kalau misalnya karena sesuatu sebab mengalami perubahan keseimbangan

akibat pengangkatan, penurunan, penggalian, penimbunan, erosi atau aktivitas lain, maka tanah atau batuan itu akan berusaha untuk mencapai keadaan yang baru secara alamiah. Cara ini biasanya berupa proses degradasi atau pengurangan beban, terutama dalam bentuk longsoran-longsoran atau gerakan-gerakan lain sampai tercapai keadaan keseimbangan yang baru. Pada tanah atau batuan dalam keadaan tidak terganggu (alamiah) telah bekerja tegangan-tegangan vertikal, horisontal dan tekanan air dari pori. Ketiga hal di atas mempunyai peranan penting dalam membentuk kestabilan lereng

Sedangkan tanah atau batuan sendiri mempunyai sifat-sifat fisik asli tertentu, seperti sudut geser dalam (*angle of internal friction*), gaya kohesi dan bobot isi yang juga sangat berperan dalam menentukan kekuatan tanah dan yang juga mempengaruhi kemantapan lereng. Oleh karena itu dalam usaha untuk melakukan analisis kemantapan lereng harus diketahui dengan pasti sistem tegangan yang bekerja pada tanah atau batuan dan juga sifat-sifat fisik aslinya. Pengetahuan dan data tersebut kemudian dapat dilakukan analisis kelakuan tanah tersebut jika digali atau “diganggu”. Setelah itu, bisa ditentukan geometri lereng yang diperbolehkan atau mengaplikasi cara-cara lain yang dapat membantu lereng tersebut menjadi stabil dan mantap.

Tanah (*subgrade*) merupakan bagian dasar dari struktur perkerasan jalan karena sifat tanah sangat penting dalam desain struktur perkerasan (Mathew & Krishna, 2007). Karakteristik tanah sangat berpengaruh terhadap kekuatan yang dimilikinya untuk menahan beban yang bekerja agar tidak menyebabkan

keruntuhan tanah. Keruntuhan tanah yang sering dijumpai terdapat pada lereng dimana tanah memiliki elevasi yang tidak datar sehingga akan menghasilkan komponen gravitasi dari berat yang cenderung menggerakkan massa tanah dari elevasi yang lebih tinggi ke elevasi yang lebih rendah (longsor). Peristiwa longsor dapat terjadi karena stabilitas lereng yang menurun akibat peningkatan tegangan geser pada massa tanah atau berkurangnya kuat geser tanah, baik karena pengaruh alamiah maupun akibat aktivitas manusia. Salah satu kajian dalam rekayasa geoteknik adalah usaha dalam memperbaiki kestabilan lereng dengan berbagai cara, seperti perubahan geometri lereng, pengendalian air dalam tanah, dan pemasangan struktur penahan. Namun penanggulangan untuk meningkatkan stabilitas lereng yang tidak dilakukan dengan tepat akan menghasilkan kesalahan yang fatal.

Longsor yang terjadi di KM 103 Tol Cikopo-Palimanan (Cipali) arah Jakarta diakibatkan luapan Sungai Cibening. Peristiwa longsor ruas Tol Cipali terjadi beberapa waktu yang lalu. Longsor itu pada bahu jalan sepanjang sekitar 30 meter dengan kedalaman kira-kira 1 hingga 2 meter yang berlokasi di KM 103 yang termasuk wilayah Subang.

Hal ini dibuktikan dengan penanggulangan darurat pada lereng yang telah mengalami longsor di Jalan Tol Cipali KM 103 pada tahun 2016 lalu, dimana penanggulangan yang dilakukan adalah dengan cara pemasangan tiang pancang dititik daerah tempat longsor terjadi. Tetapi tiang pancang yang sudah terpasang tersebut mengalami ketidakstabilan saat dilakukannya proses penimbunan tanah

sehingga mengakibatkan tiang mengalami inklinasi. Maka dari itu dilakukan analisis kembali untuk menentukan perkuatan lereng yang lebih tepat, yaitu dengan menggunakan struktur *borepile*, dan *ground anchor*.

1.2 Inti Permasalahan

Penelitian ini mengkaji ulang solusi yang tepat untuk penanganan longsor dengan struktur dinding penahan tanah, *borepile* dan *ground anchor*. Mengantisipasi kegagalan perkuatan eksisting yang gagal. Analisis dilakukan untuk mengetahui mekanisme performa dinding penahan tanah, *borepile* dan ankur yang terjadi.

1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud penelitian ini dilakukan antara lain untuk:

1. □ Mengkaji ulang perkuatan lereng dari Tiang pancang persegi 50x50 dengan *borepile* dia 880 mm dengan perkuatan *ground anchor* 2 baris.
2. □ Menggunakan data-data dari lapangan untuk mempelajari kestabilan lereng dengan back analisis untuk mendapatkan parameter sudut geser dan kuat geser yang tersisa dengan analisis $R_{interface}$.
3. □ Menghitung kapasitas *borepile* terhadap gaya normal dan gaya momen, berdasarkan diameter, mutu beton dan jumlah tulangan yang dipakai.

4. □ Melakukan perhitungan-perhitungan untuk menganalisis mekanisme penanggulangan longsor setelah penambahan kekuatan *borepile*, dinding penahan tanah dan *ground anchor*, untuk mendapatkan faktor keamanan tanah serta gaya yang bekerja dan perpindahan pada struktur kekuatan *borpile* dan *ground Anchor*.
5. □ Membandingkan hasil perhitungan *finite element* 2D dengan 3D.

Tujuan penelitian ini dilakukan untuk memastikan stabilitas lereng aman setelah dilakukan kaji ulang berdasarkan tahapan pelaksanaan pekerjaan dan metode pekerjaan yang dipakai.

1.4 Lingkup Penelitian

Untuk memecahkan inti permasalahan agar mencapai tujuan penelitian dengan tepat, lingkup masalah pada kajian ini adalah sebagai berikut:

1. □ Menggunakan data teknis yang berada pada Jalan Tol Cipali KM 103 sebagai bahan analisis.
2. □ Melakukan kajian literatur sesuai dengan teori-teori yang berkaitan dengan stabilitas lereng, tinjauan kegagalan lereng, mekanisme longsor, penanggulangan longsor, pondasi *borpile*, angkur
3. □ Melakukan perhitungan dengan metode *back analysis* menggunakan program PLAXIS 2D dan *plaxis* 3D serta software lain untuk melakukan perhitungan kekuatan lereng.

1.5 Metode Penelitian

1.5.1 Studi Literatur

Studi literatur adalah metode untuk mendapatkan pemahaman mengenai teori- teori yang akan digunakan dalam pengkajian, khususnya yang berkaitan dengan mekanisme longsor, faktor keamanan, dinding penahan tanah, pondasi tiang bor, angkur dan monitoring menggunakan inklinometer. Studi literature dilakukan dengan menggunakan jurnal, buku, dan artikel baik media cetak maupun media elektronik.

1.5.2 Pengumpulan Data

Pengumpulan data berasal dari data sekunder yaitu data yang diperoleh dari sumber yang sudah ada. Data sekunder yang dimaksud adalah sebagai berikut:

1. □ Data tanah CPTu
2. □ Data DCPT
2. Data tanah N-SPT
3. Shop drawing.

1.5.3 Analisis Data dan Perhitungan

Studi akan melakukan analisis data dengan perhitungan menggunakan program PLAXIS 2D dan dibandingkan dengan Plaxis 3D. Hasil perhitungan merupakan besarnya faktor keamanan tanah dan gaya yang bekerja pada semua struktur perkuatan berdasarkan analisis pada kondisi tiap tahapan pekerjaan.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan akan dibagi dalam 5 bab yaitu:

Bab 1 Pendahuluan

Menjelaskan latar belakang masalah, inti dari masalah yang dihadapi, maksud dan tujuan penulisan, pembatasan masalah, metode yang digunakan dalam perhitungan, sistematika penulisan, serta diagram alir.

Bab 2 Studi Pustaka

Menjabarkan mengenai teori-teori yang digunakan seperti stabilitas dan kegagalan lereng, mekanisme longsor jenis slides, konsep faktor keamanan dan tekanan lateral tanah, pengertian dinding penahan tanah, *borepile* dan *ground anchor*, serta pengertian monitoring dengan inklinometer.

Bab 3 Metode Penelitian

Mengumpulkan data-data yang dibutuhkan untuk penelitian ini dengan melakukan *back analysis*. Menjabarkan langkah-langkah menentukan parameter tanah

berdasarkan hasil uji di lapangan serta analisis dalam menentukan faktor keamanan dengan menggunakan program PLAXIS 2D dan Plaxis 3D

Bab 4 Studi Kasus

Mendeskripsikan lokasi kajian dan kronologi longsor, menentukan dasar parameter dan kolerasi tanah untuk melakukan diskusi analisis besarnya faktor keamanan tanah dan gaya yang bekerja pada semua struktur perkuatan berdasarkan kondisi tiap tahapan pekerjaan.

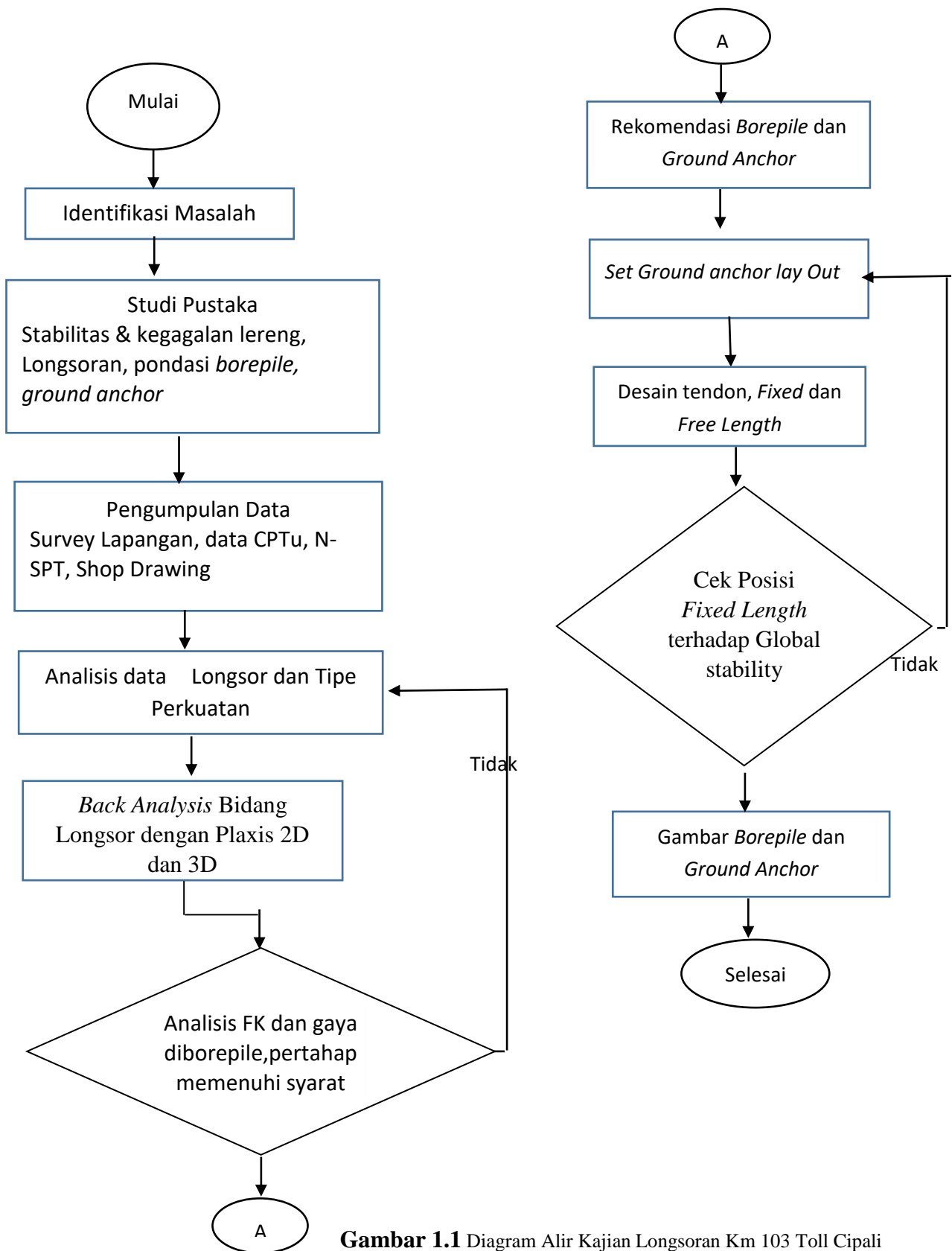
Bab 5 Kesimpulan dan Saran

Menarik kesimpulan mengenai penganggulangan longsor pada kondisi tiap tahapan pekerjaan serta memberi saran terhadap pertimbangan- pertimbangan dalam penanggulan longsor.

1.7 Diagram Alir

Kajian dimulai dengan melakukan studi pustaka mengenai teori-teori yang mendukung penelitian. Pada saat bersamaan dapat dilakukan pengumpulan data yang dibutuhkan untuk menentukan parameter tanah dan korelasi yang digunakan. Penanggulangan longsor kemudian ditentukan dengan menganalisis penggunaan pondasi tiang bor sebagai turap dinding penahan tanah dan ankur. Kesimpulan akan ditarik untuk mengetahui besarnya faktor keamanan tanah, tekanan tanah pada turap *borepile*, deformasi turap penahan tanah, gaya pada ankur pada kondisi tahapan pelaksanaan pekerjaan, yaitu tahap saat ankur belum dipasang, tahap pemasangan 1 ankur, dan tahap pemasangan 2 ankur jika diperlukan. Saran akan

Diagram alir



Gambar 1.1 Diagram Alir Kajian Longsor Km 103 Toll Cipali

diberikan untuk pertimbangan–pertimbangan yang dapat digunakan untuk rehabilitasi longsor dalam pelaksanaannya di lapangan. Diagram alir pada kajian ini dapat dilihat pada Gambar 1.1.

