

**ANALISIS 2D DAN 3D STABILITAS LERENG PADA  
ABUTMENT 2 JEMBATAN PENGGARON DENGAN  
PERKUATAN *GROUND ANCHOR***

**TESIS**



**Oleh:**

**Metta Devi Hartadi**

**2014831008**

**Pembimbing:**

**Prof. Paulus Pramono Rahardjo, Ph.D.**

**PROGRAM MAGISTER TEKNIK SIPIL  
PROGRAM PASCASARJANA  
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN  
BANDUNG  
JANUARI 2017**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**ANALISIS 2D DAN 3D STABILITAS LERENG PADA ABUTMENT 2  
JEMBATAN PENGGARON DENGAN PERKUATAN *GROUND ANCHOR***



Oleh :



**Metta Devi Hartadi  
2014831008**

**Disetujui Untuk Diajukan Sidang pada Hari/Tanggal :**

**Kamis, 19 Januari 2017**

**Pembimbing :**

**Prof. Paulus Pramono Rahardjo, Ph.D.**

TES-PMTS  
MAR  
a/17  
ERS 1802

**PROGRAM MAGISTER TEKNIK SIPIL  
PROGRAM PASCASARJANA  
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN  
BANDUNG  
JANUARI 2017**

## Pernyataan

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

Nama : Metta Devi Hartadi  
Nomor Pokok Mahasiswa : 2014831008  
Program Studi : Magister Teknik Sipil  
Program Pascasarjana  
Universitas Katolik Parahyangan



Menyatakan bahwa Tesis dengan judul:

**“ANALISIS 2D DAN 3D STABILITAS LERENG PADA ABUTMENT  
2 JEMBATAN PENGGARON DENGAN PERKUATAN *GROUND  
ANCHOR*”**

adalah benar-benar karya saya sendiri di bawah bimbingan Pembimbing, dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku dalam masyarakat keilmuan.

Apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam karya saya, atau jika ada tuntutan formal atau non formal dari pihak lain berkaitan dengan keaslian karya saya ini, saya siap menanggung segala resiko, akibat, dan/atau sanksi yang dijatuhkan kepada saya, termasuk pembatalan gelar akademik yang saya peroleh dari Universitas Katolik Parahyangan.

Dinyatakan : di Bandung  
Tanggal : 11 Januari 2017



---

Metta Devi Hartadi

# **ANALISIS 2D DAN 3D STABILITAS LERENG PADA ABUTMENT 2 JEMBATAN PENGGARON DENGAN PERKUATAN *GROUND ANCHOR***

**Metta Devi Hartadi (NPM : 2014831008)**  
**Pembimbing : Prof. Paulus Pramono Rahardjo, Ph.D**  
**Magister Teknik Sipil**  
**Bandung**  
**Januari 2017**

## **ABSTRAK**

Jembatan Penggaron yang dibangun pada tahun 2011-2012 berlokasi pada proyek Jalan Tol Semarang-Ungaran. Sebelum dibuka untuk umum, terjadi longsor pada proyek tersebut yang mengakibatkan terjadinya pergerakan pier serta abutment 2 jembatan tersebut. Longsoran tersebut dilaporkan oleh Rahardjo pada tahun 2012 dan oleh karena itu segera dilakukan perkuatan terhadap pondasi untuk menyelamatkan jembatan tersebut. Saat ini sudah terpasang angkur sebagai upaya perkuatan pada abutment jembatan agar tidak semakin mendesak badan jembatan dan mengakibatkan kegagalan. Sebagai suatu upaya perkuatan, angkur tersebut tentunya harus dapat berfungsi dengan baik. Untuk itulah perlu dilakukan penelitian terkait faktor keamanan pada abutment Jembatan Penggaron setelah diberikan perkuatan. Analisis dilakukan dengan menggunakan metode elemen hingga 2D dan 3D dengan bantuan program Plaxis 2D dan Plaxis 3D TUNNEL untuk memastikan keamanan abutment 2 Jembatan Penggaron dengan perkuatan angkur berdasarkan analisis kualitatif. Analisis dilakukan dengan menggunakan data yang diperoleh dari inklinometer serta retakan yang terjadi di lapangan, untuk memperoleh gambaran mengenai bidang longsoran. Berdasarkan *back analysis*, diperoleh sudut geser residual tanah ( $\phi_r$ ) sebesar  $16,17^\circ$  dari hasil analisis dua dimensi dan sebesar  $14,57^\circ$  dari hasil analisis tiga dimensi. Sebagai upaya perkuatan, dua buah balok RIB dan dua buah angkur telah ditambahkan di antara abutment 2 dan pier 9 serta di antara pier 9 dan pier 8. Penelitian yang dilakukan berdasarkan simulasi dari kejadian aktual yang terjadi di lapangan. Dari hasil analisis model dua dimensi dan tiga dimensi yang telah dilakukan pada penelitian ini diperoleh hasil bahwa dengan perkuatan tersebut faktor keamanan telah meningkat menjadi 1,4098 pada model dua dimensi dan 1,6008 pada model tiga dimensi. Nilai FK yang didapatkan ini lebih besar daripada nilai FK minimum yang digunakan sebagai acuan yaitu sebesar 1,3.

Kata Kunci : Lereng, Abutment Jembatan, Angkur, PLAXIS 2D, PLAXIS 3D TUNNEL.

# **2D AND 3D ANALYSIS OF SLOPE STABILITY OF PENGGARON BRIDGE ABUTMENT 2 USING GROUND ANCHOR**

**Metta Devi Hartadi (NPM : 2014831008)**  
**Adviser : Prof. Paulus Pramono Rahardjo, Ph.D**  
**Magister of Civil Engineering**  
**Bandung**  
**January 2017**

## **ABSTRACT**

Penggaron Bridge was constructed in 2011-2012 located in Semarang-Ungaran Toll Road Project. Prior to opening landslides occurred causing movement of the piers as well as abutment 2 of the bridge. The landslides was reported by Rahardjo (2012) and hence strengthening of the foundation was conducted to save the bridge. This study was specially for the analysis of abutment 2. Ground anchor has been installed as reinforcement way so that bridge's abutment doesn't push bridge's body and cause failure. As reinforcement way, ground anchor should be functional. That's why this research is needed to observe safety factor on abutment 2 Penggaron Bridge after reinforcement installation. Analysis is done by finite element method using two dimensional and three dimensional model on PLAXIS 2D and PLAXIS 3D TUNNEL program to ensure abutment 2 Penggaron Bridge safety with ground anchor as reinforcement based on qualitative analysis. The analysis have used data from inclinometers and crack to define the sliding plane. Based on back analysis, the residual friction angle was found  $16.17^\circ$  from 2D analysis and  $14.5^\circ$  from 3D analysis. As reinforcement way, two RIB beams and two ground anchors has been installed between abutment 2 and pier 9 and between pier 9 and pier 8. The study is based on simulating of actual occurred. From two dimensional model and three dimensional analysis result that have been done on this research, it's known that with those reinforcement, safety factor has increased to 1.4 on two dimensional model and 1.6 on three dimensional model. This safety factor value is bigger than minimum safety factor which is used for reference i.e. 1.3.

Keywords : Slope, Bridge Abutment, Ground Anchor, PLAXIS 2D, PLAXIS 3D TUNNEL.

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Kuasa atas karunia dan rahmat-Nya sehingga tesis ini dapat selesai dengan baik dan tepat waktu.

Tesis yang berjudul “Analisis 2D dan 3D Stabilitas Lereng Pada Abutment 2 Jembatan Penggaron Dengan Perkuatan *Ground Anchor*” dibuat sebagai prasyarat untuk menyelesaikan program pendidikan magister (S-2) pada Program Magister Teknik Sipil Program Pascasarjana Universitas Katolik Parahyangan Bandung.

Dalam pembuatan tesis ini penulis mendapatkan banyak kendala dan masalah selama penyusunan tesis ini, namun semua kendala dan masalah yang ada dapat diatasi berkat bantuan dari dosen serta teman-teman yang selalu setia membantu penulis dalam penyusunan tesis ini.

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih atas bimbingan dan bantuan dari:

1. Bapak Prof. Paulus Pramono Rahardjo, Ph.D selaku dosen pembimbing yang setia membimbing dan memberikan masukan-masukan kepada penulis dalam penyusunan tesis ini.
2. Bapak Prof. Dr. A. Aziz Djajaputra selaku komite tesis yang telah banyak memberikan saran berharga dalam penyusunan tesis ini.
3. Bapak Budijanto Wijaya, Ph.D. selaku komite tesis yang telah banyak memberikan saran berharga dalam penyusunan tesis ini.
4. Papa, Mama, dan Dede yang telah memberikan banyak dukungan baik moral maupun materiil kepada penulis selama penyusunan tesis ini.

5. Rekan-rekan seperjuangan penulis, yaitu Adisti, Kirana, Ricky, Bu Stefani, Ko Hansen, Susan, Wiwin, Obet, rekan-rekan dari Geotechnical Engineering Consultant (GEC), serta rekan-rekan lain yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah memberikan dukungan moral dan membantu penulis dalam menyelesaikan pembuatan tesis ini.
6. Teman-teman dan sahabat-sahabat penulis yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah memberikan dukungan moral serta berbagi suka dan duka bersama penulis dalam menyelesaikan pembuatan tesis ini.

Kiranya tanpa bantuan dari mereka penulis tidak akan bisa menyelesaikan skripsi ini dengan baik dan tepat waktu. Semoga Tuhan Yang Maha Esa memberkati mereka selalu.

Dalam penelitian ini masih terdapat kekurangan oleh karena itu dengan hati yang lapang dan sikap yang terbuka, penulis siap menerima masukan, kritik, dan saran dari para pembaca agar karya ilmiah ini dapat terus berkembang dan semakin baik, juga diharapkan hasil penelitian ini dapat menjadi tolak ukur serta referensi bagi penelitian selanjutnya.

Demikianlah kata pengantar ini dibuat, semoga tesis ini dapat berguna bagi semua pihak yang membantuhkannya.

Bandung, Januari 2017

Penulis

Metta Devi Hartadi

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b>	
<b>HALAMAN PENGESAHAN TESIS</b>	
<b>ABSTRAK</b>	
<i>ABSTRACT</i>	
<b>KATA PENGANTAR</b>	<b>i</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>ii</b>
<b>DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>xxiii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b>	<b>xxiv</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Maksud dan Tujuan Penelitian	2
1.3 Lingkup Pembahasan	3
1.4 Metoda Penelitian	3
1.4.1 Lokasi Penelitian	3
1.4.2 Studi Literatur	4
1.4.3 Metode Analisis	4
1.5 Sistematika Penulisan	4
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b>	<b>7</b>
2.1 Kestabilan Lereng	7



2.1.1	Definisi Longsoran, Gerakan Tanah dan Kestabilan Lereng	7
2.1.2	Jenis-Jenis Lereng	7
2.1.3	Aspek Geologi pada Kestabilan Lereng	9
2.1.4	Jenis-Jenis Gerakan Tanah dan Longsoran	11
2.1.5	Penyebab Gerakan Tanah dan Longsoran	19
2.1.6	Monitor Longsoran dan Instrumentasi Geoteknik di Lapangan	20
2.2	Perencanaan dan Konstruksi Pondasi Tiang Bor	25
2.2.1	Pendahuluan	25
2.2.2	Penggunaan Pondasi Tiang Bor	29
2.2.3	Pelaksanaan Pondasi Tiang Bor	29
2.2.4	Pengendalian Mutu Pondasi Tiang Bor	33
2.3	<i>Ground Anchor</i>	35
2.3.1	Definisi	35
2.3.2	Tipe <i>Ground Anchor</i>	37
2.3.3	Dinding Angkur	42
2.3.4	Konsep Desain Secara Umum untuk Dinding Angkur	47
2.3.5	Mekanisme Kegagalan pada Sistem Angkur	50
2.3.6	Desain Sistem Angkur	52
2.3.7	Desain <i>Ground Anchor</i>	54
2.3.8	Sistem Stabilisasi Lereng dan <i>Landslide</i> dengan Angkur	62
2.3.9	Korosi dan Efeknya pada <i>Ground Anchor</i>	62
2.4	Inklinometer	71
2.4.1	Definisi Inklinometer	71
2.4.2	Kegunaan Inklinometer pada Aplikasi Geoteknik	72

2.4.3	Deskripsi Komponen Instrumen Inklinometer	74
2.4.4	<i>Casing Inklinometer</i>	83
2.4.5	Evaluasi dan Interpretasi Data Inklinometer	91
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN</b>		<b>97</b>
3.1	Tahapan Penelitian	97
3.2	Diagram Alir Penelitian	98
3.3	PLAXIS 2D	99
3.3.1	Pendahuluan	99
3.3.2	Pengaturan Umum	99
3.3.3	Geometri	101
3.3.4	Model Material	106
3.3.5	Jenis Perilaku Material	108
3.3.6	Perhitungan	109
3.3.7	Jenis Perhitungan	110
3.3.8	Tahap Konstruksi	112
3.3.9	Pemeriksaan Kesalahan Otomatis	113
3.3.10	Data Keluaran Hasil Perhitungan	116
3.3.11	Kurva Beban-Perpindahan dan Lintasan Tegangan	129
3.4	PLAXIS 3D TUNNEL	132
3.4.1	Pendahuluan	132
3.4.2	Geometri	132
3.4.3	<i>Mesh Generation</i>	138
3.4.4	Kalkulasi Data	141

3.4.5	Data Keluaran Hasil Perhitungan	143
3.4.6	Kurva Beban-Perpindahan dan Jalur Tegangan ( <i>Stress Path</i> )	157
3.5	Teori Deformasi pada PLAXIS	160
3.5.1	Persamaan Dasar Deformasi <i>Continuum</i>	160
3.5.2	Diskretisasi Elemen Hingga	162
3.5.3	Integrasi Implisit pada Model Plastis Diferensial	163
3.5.4	Prosedur Iteratif Global	165
3.6	Perhitungan Matriks Kekakuan Elemen pada PLAXIS	166
3.6.1	<i>Node-to-Node Anchors</i>	166
3.6.2	Elemen Balok	167
<b>BAB 4 ANALISIS DATA HASIL PENELITIAN</b>		<b>169</b>
4.1	Lokasi Studi	169
4.2	Kondisi Geologi	170
4.2.3	Pemetaan Geologi	173
4.2.4	Hasil Pemetaan	175
4.3	Kronologi Kejadian	182
4.4	Penyelidikan Tanah	188
4.4.1	<i>Monitoring</i> dengan Inklinometer	191
4.5	Desain Stabilisasi Lereng	192
4.6	Analisis Stabilisasi Lereng	193
4.6.1	Analisis Dua Dimensi	194
4.6.2	Analisis Tiga Dimensi	202
4.6.3	Perbandingan Hasil Analisis Dua Dimensi dan Tiga Dimensi	210

<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>215</b>
5.1 Kesimpulan	215
5.2 Saran	216
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

## DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

### Daftar Notasi

2D	: dua dimensi
3D	: tiga dimensi
$\gamma$	: berat isi
$\gamma_w$	: berat isi air
$\gamma_{xy}$	: regangan geser pada bidang x-y
$\gamma_{yz}$	: regangan geser pada bidang y-z
$\gamma_{zx}$	: regangan geser pada bidang x-z
$\Delta\varepsilon_s$	: peningkatan regangan geser ekivalen
$\Delta\varepsilon_v$	: peningkatan regangan volumetrik
$\Delta u$	: peningkatan perpindahan
$\varepsilon$	: regangan
$\varepsilon_1$	: regangan utama terbesar absolut
$\varepsilon_2$	: regangan utama menengah absolut
$\varepsilon_3$	: regangan utama terkecil absolut
$\varepsilon_s$	: regangan geser ekivalen
$\varepsilon_v$	: regangan volumetrik
$\varepsilon_{xx}$	: regangan horisontal (arah x)
$\varepsilon_{yy}$	: regangan vertikal (arah y)
$\nu$	: <i>poisson ratio</i>
$\rho$	: kepadatan material
$\sigma^c$	: tensor tegangan konstitutif

$\sigma^e$	: tensor tegangan keseimbangan
$\sigma_n$	: tegangan normal dalam antar muka
$\sigma_{xy}$	: tegangan geser
$\sigma'$	: tegangan efektif
$\sigma'_1$	: tegangan utama terbesar absolut
$\sigma'_2$	: tegangan utama menengah absolut
$\sigma'_3$	: tegangan utama terkecil absolut
$\sigma'_n$	: tegangan normal efektif
$\sigma'_{xx}$	: tegangan horisontal efektif (arah x)
$\sigma'_{yy}$	: tegangan vertikal efektif (arah y)
$\sigma'_{zz}$	: tegangan efektif dalam arah keluar dari bidang gambar (arah z)
$\tau$	: tegangan geser dalam antar muka
$\tau_{rel}$	: tegangan geser relatif
$\phi$	: sudut geser
$\phi_r$	: sudut geser residual
$\psi$	: sudut dilatansi
$c$	: kohesi
$d_{eq}$	: ketebalan pelat ekuivalen
$E$	: modulus Young
$g$	: percepatan gravitasi
$h$	: <i>groundwater head</i>
$I_e$	: ukuran elemen rata-rata
$M$	: momen lentur
$N$	: gaya aksial

$p_{\text{aktif}}$	: tekanan air pori aktif
$p_{\text{berlebih}}$	: tekanan air pori berlebih
$p_{\text{eq}}$	: tegangan isotropik ekuivalen
$p_p$	: tekanan prakonsolidasi isotropik
$p'$	: tegangan efektif isotropik (tegangan efektif rata-rata)
$Q$	: gaya geser
$q'$	: tegangan deviator (tegangan geser ekuivalen)
$R_{\text{inter}}$	: faktor reduksi kekuatan antar muka ( <i>interfaces</i> )
$T$	: beban angkur
$T_h$	: beban angkur horisontal
$T_{hi}$	: beban angkur per unit lebar
$T_{\text{maks}}$	: nilai maksimum tegangan geser
$T_v$	: komponen vertikal dari beban angkur total
$u$	: perpindahan

### Daftar Singkatan

AASHTO *American Association of State Highway and Transportation*

#### *Officials*

ABS *Acrylonitrile-Butadiene-Styrene*

Abt.-2 *Abutment 2*

ADAS *Advanced Driver Assistance System*

ASCE *American Society of Civil Engineers*

ASTM *American Standard Testing and Material*

BM *Bench Mark*

CP	<i>Control Point</i>
CW	<i>Completely Weathered</i> (Lapuk Sempurna)
DPL	Di Atas Permukaan Laut
FHWA	<i>Federal Highway Administration</i>
FK	Faktor Keamanan
HCl	Hidrogen Klorida/Asam Klorida
HQ	<i>High Quality</i>
HS	<i>Hardening Soil</i>
HW	<i>Highly Weathered</i> (Lapuk Tinggi)
ID	<i>Inner Diameter</i>
IPI	<i>In-Place or Stationary Inclinerometers</i>
LpPs	Lempung Pasiran
MAT	Muka Air Tanah
MC	<i>Mohr Coulomb</i>
MEMS	<i>Micro-Electro Mechanical System</i>
NATM	<i>New Austrian Tunneling Method</i>
OCR	<i>Overconsolidation Ratio</i>
OD	<i>Outer Diameter</i>
OP	Optis
OS	<i>Organic Soil</i> (Tanah Organik)
P-8	Pier 8
P-9	Pier 9
PCI	<i>Precast Concrete I</i>
PsKi	Pasir Kerikilan



PsTf	Pasir Tufaan
ROW	<i>Right of Way</i> (Daerah Milik Jalan)
RS	<i>Residual Soil</i> (Tanah Residual)
SPT	<i>Standard Penetration Test</i>
SSC	<i>Soft Soil Creep</i>
STA	Stasiun Pengamatan
TDR	<i>Time Domain Reflectometry</i>
VB	Breksi Vulkanik

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Perbandingan antara (a) Pengelupasan Tunggal ( <i>single topple</i> ) (Hutchinson, 1988) dengan (b) Pengelupasan Jamak ( <i>multiple topples</i> ) (Varnes, 1978) .....	14
Gambar 2.2 Jenis-Jenis Longsoran (a) Jatuhan (Batu) ( <i>Rockfall</i> ) (b) Pengelupasan ( <i>Topple</i> ) (c) Longsoran dengan Pola Rotasi (d) <i>Lateral Spread</i> (e) Longsoran Aliran (Varnes, 1978).....	14
Gambar 2.3 Contoh-Contoh Longsoran Rotasi dan Translasi (a) Longsoran Rotasi Batuan (b) Longsoran Rotasi pada Tanah (c) Longsoran Translasi pada Tanah (d) Longsoran <i>Debris</i> (e) Longsoran <i>Block</i> Translasi (Varnes, 1978) .....	15
Gambar 2.4 (a) dan (b) Aliran Lateral Tanah dan Batuan, (c) Aliran Tanah Akibat Likuifaksi ( <i>Liquefaction Flow Failures</i> ) (Varnes, 1978).....	15
Gambar 2.5 (a) Aliran Lambat ( <i>clay</i> ) (b) Aliran <i>Loes</i> (c) Aliran Pasir Kering ....	16
Gambar 2.6 Potongan Geologi pada Longsoran Graben .....	16
Gambar 2.7 <i>Rock Fall</i> (jatuhan) di Alor (Doc. GEC Center, 2005) dan di Cikangkareng (Kompas 4 Sep 2009) .....	17
Gambar 2.8 Longsoran Batu di Cikangkareng Saat Gempa Tasikmalaya 2 September 2009 dengan Korban Jiwa 54 Orang (Doc. GEC Center 2009).....	17
Gambar 2.9 Ilustrasi Aliran Tanah ( <i>Earth and Debris Flow</i> ) di Jemblung – Kecamatan Karangobar, Kabupaten Banjarnegara, Jawa Tengah, Tanggal 12 Desember 2014, Korban Jiwa 108 Orang (Doc. GEC Center 2014) .....	17

Gambar 2.10 Longsoran Debris di Lubuk Laweh – Pariaman, pada Gempa Padang Tanggal 30 September 2019, Korban Jiwa Lebih dari 600 Orang (Doc. GEC Center, 2009) .....	18
Gambar 2.11 (a) Longsoran <i>Sheet Pile</i> di Jambi (Doc. GEC Center) dan Longsoran Galian di KM 114+800 Jalan Tol Cipularang (Soerono, 2012) .....	18
Gambar 2.12 Longsoran pada Galian Stasiun Terowongan di Singapura (Sumber Internet) dan Longsoran <i>Ramp Out</i> Jalan Tol Pejagan; Timbunan pada Tanah Lunak (Doc. GEC Center 2010) .....	18
Gambar 2.13 Longsoran pada Ruas Jalan Samarinda-Bontang; Timbunan dengan Tanah Tufa (Doc. GEC Center 2010) .....	19
Gambar 2.14 Piezometer Jenis Pipa Terbuka, <i>Casagrande</i> , dan Piezometer <i>Vibrating Wire</i> (TRB, 1978) .....	23
Gambar 2.15 Tiltmeter (Atas) dan Inklinometer (Bawah) (TRB, 1978) .....	24
Gambar 2.16 Ilustrasi Pengukuran Gerakan Suatu Longsoran (TRB, 1978) .....	24
Gambar 2.17 Hasil Pembacaan dari Inklinometer (TRB, 1978) .....	25
Gambar 2.18 Alat Pembor Ringan ( <i>The Association of Drilled Shaft Contractors</i> , 2001) .....	31
Gambar 2.19 Contoh Konstruksi Tiang Bor Menggunakan <i>Casing</i> .....	32
Gambar 2.20 Komponen <i>Ground Anchor</i> (U.S. <i>Department of Transportation, Federal Highway Administration</i> , 1999) .....	36
Gambar 2.21 Komponen <i>Anchorage</i> pada <i>Bar Tendon</i> (U.S. <i>Department of Transportation, Federal Highway Administration</i> , 1999) .....	37
Gambar 2.22 Komponen <i>Anchorage</i> pada <i>Strand Tendon</i> (U.S. <i>Department of Transportation, Federal Highway Administration</i> , 1999) .....	37

Gambar 2.23 Tipe Utama <i>Grouted Ground Anchors</i> (dimodifikasi oleh Littlejohn, 1990, “ <i>Ground Anchorage Practice</i> ”, <i>Design and Performance of Earth Retaining Structures, Geotechnical Special Publication No. 25</i> , Dicetak Ulang dengan Ijin dari ASCE).....	39
Gambar 2.24 Potongan Melintang <i>Bar Tendon</i> (U.S. <i>Department of Transportation, Federal Highway Administration</i> , 1999).....	40
Gambar 2.25 Potongan Melintang <i>Strand Tendon</i> (U.S. <i>Department of Transportation, Federal Highway Administration</i> , 1999).....	41
Gambar 2.26 Urutan Konstruksi <i>Soldier Beam</i> Permanen dan Dinding <i>Lagging</i> (U.S. <i>Department of Transportation, Federal Highway Administration</i> , 1999) ..	43
Gambar 2.27 Perbandingan Dinding Gravitasi Beton dan Dinding Angkur pada <i>Depressed Roadway</i> (U.S. <i>Department of Transportation, Federal Highway Administration</i> , 1999) .....	45
Gambar 2.28 Aplikasi <i>Ground Anchors</i> dan <i>Anchored Systems</i> (U.S. <i>Department of Transportation, Federal Highway Administration</i> , 1999).....	47
Gambar 2.29 Kondisi Kegagalan Potensial yang Dipertimbangkan pada Desain Dinding Angkur (U.S. <i>Department of Transportation, Federal Highway Administration</i> , 1999) .....	49
Gambar 2.30 Kontribusi <i>Ground Anchor</i> pada Kestabilan Dinding (U.S. <i>Department of Transportation, Federal Highway Administration</i> , 1999).....	49
Gambar 2.31 Perhitungan Beban Angkur untuk Dinding Satu Tingkat (U.S. <i>Department of Transportation, Federal Highway Administration</i> , 1999).....	55
Gambar 2.32 Perhitungan Beban Angkur untuk Dinding Beberapa Tingkat (U.S. <i>Department of Transportation, Federal Highway Administration</i> , 1999).....	55

Gambar 2.33 Persyaratan Jarak Vertikal dan Horizontal <i>Ground Anchor</i> (U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, 1999) .....	61
Gambar 2.34 Contoh Proteksi Korosi pada Anchorages (U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, 1999) .....	67
Gambar 2.35 Contoh Proteksi Korosi Kelas I dan II pada <i>Strand Tendons</i> (U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, 1999) .....	68
Gambar 2.36 Contoh Proteksi Korosi Kelas I dan II pada <i>Bar Tendons</i> (U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, 1999) .....	69
Gambar 2.37 Tipikal <i>probe</i> inklinometer, kabel, dan perangkat pembacaan (Landslide Technology).....	77
Gambar 2.38 Sketsa Skematik <i>Probe</i> Inklinometer dalam <i>Casing</i> yang Dipasang untuk Memonitor Deformasi Tanah (U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, 1999) .....	77
Gambar 2.39 <i>Casing</i> Inklinometer dengan Detail Sambungan dan Alur Mesin (Roctest) .....	80
Gambar 2.40 Peralatan Kontrol untuk Kabel (U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, 1999).....	80
Gambar 2.41 Foto dan Sketsa Skematik Pemasangan IPI pada <i>Probe</i> IPI Tunggal (Landslide Technology, WSDOT).....	82
Gambar 2.42 Sistem ADAS Jarak Jauh Tipikal dengan <i>Multiplexer</i> , <i>Solar-Recharged Power</i> , dan <i>Radio Communications</i> (Myers) .....	83
Gambar 2.43 <i>Casing</i> Inklinometer ABS, Diameter dalam mm ( <i>Slope Indicator Company</i> ) .....	84

Gambar 2.44 Contoh Sambungan dan <i>Casing</i> Inklinometer Aluminium (Mikkelsen) .....	85
Gambar 2.45 Koneksi <i>Casing</i> Inklinometer : (a) <i>Regular</i> dan (b) <i>Telescoping</i> ( <i>Slope Indicator Company</i> ).....	85
Gambar 2.46 Instalasi <i>Casing</i> Inklinometer pada Lubang Bor Vertikal ( <i>Landslide Technology</i> ).....	86
Gambar 2.47 Contoh <i>Grouting</i> pada Ruang <i>Annulus</i> di Antara <i>Casing</i> Inklinometer dan Lubang Bor ( <i>Slope Indicator Company</i> ) .....	87
Gambar 2.48 Sketsa Skematil Katup dan Pipa <i>Grout</i> ( <i>Slope Indicator Company</i> ) .....	87
Gambar 2.49 Komponen Inklinometer Horizontal dan Sistem <i>Pulley</i> ( <i>Slope Indicator Company</i> ) .....	89
Gambar 2.50 Pipa Baja Berukuran 8 in Di dalam Perkuatan Dinding Diafragma untuk Kerangka <i>Casing</i> Inklinometer ( <i>Case Foundation Co</i> ).....	89
Gambar 2.51 Contoh Metode Inklinometer “ <i>Poorman</i> ” ( <i>California Department of Transportation</i> ) .....	90
Gambar 2.52 Kabel Ektensometer di dalam <i>Casing</i> Inklinometer untuk Memperluas Wilayah <i>Monitoring</i> (Deschamps, 1998).....	91
Gambar 2.53 (a) Kabel TDR Terpasang di dalam <i>Casing</i> Inklinometer untuk Memperluas Wilayah <i>Monitoring</i> (O’Connor, 2000) dan <i>Probe</i> IPI Permanen (U.S. <i>Department of Transportation, Federal Highway Administration</i> , 1999) ..	91
Gambar 2.54 Prinsip Pengukuran ( <i>Slope Indicator Company</i> , 2006a).....	92
Gambar 2.55 Kesalahan Total dan Acak pada Data Inklinometer (Mikkelsen, 1996) .....	93

Gambar 2.56 Data <i>Bias-Shifted, Checksums</i> , dan Hasil Koreksi (Mikkelsen, 2003) .....	94
Gambar 2.57 <i>Bias Shift</i> dan Kesalahan Rotasi Tipikal (Mikkelsen, 2003) .....	94
Gambar 2.58 Rentang Diskrit Perpindahan Tanah pada <i>Landslide Shear Zone</i> (Mikkelsen, 2003).....	96
Gambar 3.1 Posisi Titik-Titik Nodal dan Titik-Titik Tegangan pada Elemen Tanah (Manual PLAXIS 2D ver 8. Indonesia).....	100
Gambar 3-2 Perjanjian Tanda untuk Tegangan (Manual PLAXIS 3D TUNNEL) .....	147
Gambar 3.3 Perjanjian Tanda untuk Gaya Aksial pada <i>Plates</i> , Geogrid, dan Angkur (Manual PLAXIS 3D TUNNEL) .....	151
Gambar 3.4 Gaya Aksial N1 dan N2 (Manual PLAXIS 3D TUNNEL) .....	152
Gambar 3.5 Gaya Geser Q13, Q12, dan Q23 (Manual PLAXIS 3D TUNNEL)	152
Gambar 3.6 Momen Lentur M11, M22, dan Momen Torsi M12 (Manual PLAXIS 3D TUNNEL).....	152
Gambar 4.1 Potongan Memanjang Jembatan Penggaron (GEC Center).....	169
Gambar 4.2 <i>Plan View</i> Jembatan Penggaron (GEC Center) .....	169
Gambar 4.3 Singkapan Pasir Tufaan (Sadisun dan Fahrudin, 2011) .....	171
Gambar 4.4 Breksi Vulkanik di Area Pier 9 (GEC Center, 2014) .....	171
Gambar 4.5 <i>Crown</i> Longsoran di Area Abutmen 2 (GEC Center, 2014) .....	172
Gambar 4.6 Lokasi Retakan di Area Abutmen 2 (Inklinometer oleh PT. Waskita) (GEC Center, 2014).....	172
Gambar 4.7 Retakan di Area Luar ROW dan Lahan Penduduk (GEC Center, 2014).....	172

Gambar 4.8 Jembatan Tol Penggaron Arah Semarang Solo Merenggang Pada KM 8-075 dan Turun Sebesar 2,5cm di KM 8-515 (Sadisun dan Fahrudin, 2011) ...	173
Gambar 4.9 Kontruksi Jembatan Tol Penggaron Terhadap Satuan Bentuk Lahan Perbukitan Struktural Berlereng Terjal. (Sadisun dan Fahrudin, 2011).....	173
Gambar 4.10 Potensi Longsor pada Lereng Tebing Terjal yang Ada di Sekitar Konstruksi Jembatan Tol Penggaron. (Sadisun dan Fahrudin, 2011).....	174
Gambar 4.11 Lempung Pasiran yang Nampak Mengembang Ketika Terkena Air pada Lokasi Stasiun Pengamatan 12 (Sadisun dan Fahrudin, 2011) .....	175
Gambar 4.12 Singkapan Pasir Tufaan Sedikit Kerikilan yang Berada Pada Stasiun Pengamatan (STA) 3 (Sadisun dan Fahrudin, 2011) .....	176
Gambar 4.13 Komponen <i>Organic Soil</i> dengan Penamaan Lempung Pasiran (Sadisun dan Fahrudin, 2011) .....	177
Gambar 4.14 Endapan Koluviial Berupa Pasir Kerikilan yang Tersebar di Sekitar Jembatan Penggaron (Sadisun dan Fahrudin, 2011).....	179
Gambar 4.15 Breksi vulkanik yang tersebar di area jembatan tol penggaron (Sadisun dan Fahrudin, 2011) .....	180
Gambar 4.16 Satuan Lava di Bawah Satuan Breksi Vulkanik Tersingkap di Daerah Tebing Sungai (Sadisun dan Fahrudin, 2011) .....	182
Gambar 4.17 Terjadi Penurunan Tanah di Sebelah Abt.-2 (Muhrozi, 2015).....	183
Gambar 4.18 Pembongkaran Perkerasan Kaku Sebelah Selatan Abutment-2 Jembatan Penggaron (Muhrozi, 2015) .....	183
Gambar 4.19 Pemantaun Titik-Titik Koordinat dengan <i>Waterpass</i> pada Bulan Januari – Maret 2014 (Muhrozi, 2015) .....	184



Gambar 4.20 Kaca Pemantau Gerakan PCI Girder dengan <i>Back-Wall</i> Abutment-2 Pecah dan Ujung Girder Pecah (Muhrozi, 2015) .....	184
Gambar 4.21 <i>Shotcrete</i> pada P-8 – P-9 Pecah di Bagian Bawah dan Atas (Dekat P-9) (Muhrozi, 2015).....	185
Gambar 4.22 Rongga Besar Terjadi di Depan Abt.2 dan di Luar ROW ke Arah Tenggara (ke Arah lembah) (Muhrozi, 2015) .....	185
Gambar 4.23 Terjadi Rongga Besar di Depan Abt.-2, di Luar ROW ke Arah Tenggara (ke Arah Lembah) (Muhrozi, 2015) .....	186
Gambar 4.24 Terjadi Rongga Besar di Depan Abt.-2, Rongga Besar di Luar ROW ke Arah Tenggara (ke Arah Lembah) (Muhrozi, 2015) .....	187
Gambar 4.25 <i>Rigid Pavement</i> Selalu Retak, <i>Guard Rail</i> Turun dan PCI Girder Pecah (Muhrozi, 2015) .....	188
Gambar 4.26 Pelaksanaan Pemasangan Balok RIB dan <i>Ground Anchor</i> (Muhrozi, 2015).....	188
Gambar 4.27 Data Pengeboran P-8, P-9, dan Abt.-2 (Juni, 2011) (GEC Center)	190
Gambar 4.28 Potongan Geoteknik di Lokasi Abt.-2 (GEC Center).....	190
Gambar 4-29 Layout Lokasi Inklinometer (GEC Center).....	191
Gambar 4.30 Pemasangan RIB dan <i>ground anchor</i> pada P-8 (GEC Center).....	192
Gambar 4.31 Pemasangan RIB dan <i>ground anchor</i> pada Pier 9 (GEC Center)..	193
Gambar 4.32 Salah Satu Hasil Plot Data Inklinometer untuk Memodelkan Garis Longsoran pada Model .....	195
Gambar 4.33 Posisi Muka Air Tanah pada Model yang Diperoleh dari Data Borlog .....	195
Gambar 4.34 <i>Generated Mesh</i> pada Model 2D .....	196

Gambar 4.35 Hasil <i>Back Analysis</i> Kestabilan Lereng FK = 1,0363 ( <i>Maximum Total Displacements</i> = 92,3 cm) .....	196
Gambar 4.36 <i>Deformed Mesh</i> dan Perilaku Tiang pada Tahap <i>Back Analysis</i> ...	196
Gambar 4.37 <i>Deformed Mesh</i> yang Terbentuk dan Perilaku Tiang Setelah Perkuatan Diaktifkan.....	198
Gambar 4.38 Instalasi Balok RIB dan <i>Ground Anchor</i> dengan FK = 1,4098 ( <i>Maximum Total Displacement</i> = 4,68cm) .....	198
Gambar 4.39 Peralihan dan Gaya Dalam pada RIB P-8 .....	199
Gambar 4.40 Peralihan dan Gaya Dalam pada RIB P-9 .....	199
Gambar 4.41 <i>Anchor Info</i> pada RIB P-8 dan P-9.....	199
Gambar 4.42 <i>Total Displacement</i> dan <i>Axial Force</i> Material Geogrid RIB P-8..	200
Gambar 4.43 <i>Total Displacement</i> dan <i>Axial Force</i> Material Geogrid RIB P-9..	201
Gambar 4.44 <i>Generated Mesh</i> pada <i>Front Plane</i> dan <i>Rear Plane</i> (Sisi Terluar Jembatan) .....	202
Gambar 4.45 <i>Generated Mesh</i> pada <i>Plane A</i> ( <i>Center Line</i> Jembatan) .....	202
Gambar 4.46 <i>Generated Mesh</i> Tiga Dimensi .....	203
Gambar 4.47 Hasil <i>Back Analysis</i> Kestabilan Lereng pada Model Tiga Dimensi dengan FK = 1,0203 ( <i>Maximum Total Displacement</i> = 1,26m) .....	203
Gambar 4.48 <i>Deformed Mesh</i> Tiga Dimensi yang Terbentuk Setelah Perkuatan Diaktifkan.....	204
Gambar 4.49 Instalasi RIB dan <i>Ground Anchor</i> pada Model Tiga Dimensi dengan FK = 1,6008 ( <i>Maximum Total Displacement</i> = 3,475cm) .....	205
Gambar 4.50 <i>Total Displacement</i> Balok RIB P-8 pada Model Tiga Dimensi....	206
Gambar 4.51 <i>Shear Force</i> Balok RIB P-8 pada Model Tiga Dimensi .....	206

Gambar 4.52 Bidang Momen Balok RIB P-8 pada Model Tiga Dimensi.....	206
Gambar 4.53 <i>Total Displacement</i> Balok RIB P-9 pada Model Tiga Dimensi ....	207
Gambar 4.54 <i>Shear Force</i> Balok RIB P-9 pada Model Tiga Dimensi.....	207
Gambar 4.55 Bidang Momen Balok RIB P-9 pada Model Tiga Dimensi.....	207
Gambar 4.56 <i>Anchor Info</i> pada Hasil Analisis Model Tiga Dimensi.....	208
Gambar 4.57 <i>Total Displacement</i> dan <i>Axial Force</i> Material Geogrid RIB P-8 Model Tiga Dimensi.....	208
Gambar 4.58 <i>Total Displacement</i> dan <i>Axial Force</i> Material Geogrid RIB P-9 Model Tiga Dimensi.....	209
Gambar 4.59 Peralihan dan Gaya Dalam Pile pada Area P-8 yang Menyatu dengan Balok RIB P-8 (Model Dua Dimensi).....	210
Gambar 4.60 <i>Total Displacement</i> Pile pada Area P-8 yang Menyatu dengan Balok RIB P-8 (Model Tiga Dimensi).....	211
Gambar 4.61 <i>Shear Force</i> Pile pada Area P-8 yang Menyatu dengan Balok RIB P-8 (Model Tiga Dimensi) .....	211
Gambar 4.62 Bidang Momen pada Pile Area P-8 yang Menyatu dengan Balok RIB P-8 (Model Tiga Dimensi).....	212

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai Ultimit Presumptive Transfer Beban untuk Desain Awal <i>Straight Shaft Gravity-Grouted Ground Anchor</i> pada Tanah (U.S. <i>Department of Transportation, Federal Highway Administration</i> , 1999) .....	59
Tabel 2.2 Nilai Ultimit <i>Presumptive</i> Transfer Beban untuk Desain Awal <i>Ground Anchor</i> pada Batuan (U.S. <i>Department of Transportation, Federal Highway Administration</i> , 1999) .....	60
Tabel 4.1 Data Parameter Tanah.....	197
Tabel 4.2 Perbandingan Hasil Analisis 2D dan 3D.....	213

## **DAFTAR LAMPIRAN**

L.1 Data Inklinometer

L.2 Data Borlog SBT01 – SBT05

L.3 Data Hasil Keluaran PLAXIS 2D

L.4 Data Hasil Keluaran PLAXIS 3D TUNNEL

L.5 Detail Gambar Struktur

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Jembatan merupakan suatu infrastruktur yang dibangun untuk memenuhi kebutuhan manusia akan sarana transportasi. Sering kali kebutuhan itu harus dipenuhi tanpa mempertimbangkan aspek geologi di sekitarnya. Seperti halnya yang terjadi pada proyek pembangunan jalan tol Semarang-Solo.

Pada jalan tol tersebut, terdapat jembatan yang dibangun di daerah Penggaron pada ruas tol Ungaran. Setelah konstruksi jembatan selesai dilaksanakan, diketahui terdapat pergerakan tanah yang dikhawatirkan berimbas pada struktur jembatan. Pergerakan tanah tersebut dimonitor dengan menggunakan alat inklinometer. Terdapat dugaan penyebab pergerakan tanah di lokasi jembatan Penggaron yaitu akibat longsoran purba di mana terdapat reaktivasi longsoran.

Menurut penelitian geologi yang telah dilakukan sebelumnya, jembatan tersebut memang dibangun di atas tanah dengan formasi kerek (*clay shale*) yang rawan longsor. Kondisi ini bahkan menyebabkan kawasan tersebut dijauhi masyarakat yang memiliki keinginan untuk membangun tempat tinggal karena khawatir akan terganggu dengan adanya pergerakan tanah yang sering mengakibatkan longsor.

Sebelum jembatan dibangun, sejumlah pihak telah menganjurkan agar jalur di tanah labil tersebut tidak dijadikan sebagai lokasi proyek pembangunan jalan tol. Saat itu alternatif lokasi yang diusulkan untuk proyek jalan tol adalah

beberapa ratus meter di sebelah utara jembatan Penggaron. Namun usulan tersebut tidak diindahkan mengingat pada kawasan utara terdapat banyak pemukiman warga yang tentu saja akan memakan waktu dan biaya yang tidak sedikit pada proses pembebasan lahannya. Bahkan jika direlokasi pun belum tentu ada jaminan tidak akan lagi bertemu formasi kerek karena formasi kerek ini luas wilayahnya, dapat mencapai beberapa kilometer.

Sebelumnya Handayani (2012) telah melakukan penelitian pada kasus Jembatan Penggaron ini terkait perilaku pondasi tiang bor akibat pergerakan massa tanah pada abutment dan pilar jembatan. Pada saat itu pergerakan abutment belum mencapai 5cm, sehingga belum terdapat perkuatan apa pun pada abutment jembatan. Mengingat abutment 2 bergerak lagi sebagaimana terpantau pada inklinometer, maka pekerjaan *ground anchor* perlu dilaksanakan sesuai dengan pertimbangan terdahulu.

Saat ini sudah terpasang angkur sebagai upaya perkuatan pada abutment jembatan agar tidak semakin mendesak badan jembatan dan mengakibatkan kegagalan. Sebagai suatu upaya perkuatan, angkur tersebut tentunya harus dapat berfungsi dengan baik. Untuk itulah perlu dilakukan penelitian terkait faktor keamanan pada abutment Jembatan Penggaron setelah diberikan perkuatan.

## **1.2 Maksud dan Tujuan Penelitian**

Berdasarkan latar belakang dan fakta-fakta yang telah dijabarkan sebelumnya, maka maksud dari penelitian ini adalah :

1. Membuat model longsor abutment 2 jembatan Penggaron secara 2D dan 3D menggunakan bantuan program Plaxis 2D dan Plaxis 3D TUNNEL,

2. Melakukan analisis untuk mempelajari mekanisme longsor pada abutment 2 Jembatan Penggaron.

Sedangkan tujuan dari penelitian ini adalah untuk memastikan keamanan abutment 2 Jembatan Penggaron dengan perkuatan angkur berdasarkan analisis kualitatif.

### **1.3 Lingkup Pembahasan**

Berdasarkan latar belakang masalah dan inti masalah tersebut, penulis melakukan penelitian dengan lingkup sebagai berikut :

1. Analisis dilakukan dengan menggunakan metode elemen hingga 2D dan 3D dengan bantuan program Plaxis 2D dan Plaxis 3D TUNNEL,
2. Studi kasus dilakukan terhadap pergerakan abutment di lokasi Jembatan Penggaron, Jalan Tol Semarang-Solo, dan
3. Data yang digunakan dalam penelitian ini berdasarkan hasil pemboran dan monitoring inklinometer di lapangan.

### **1.4 Metoda Penelitian**

Untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan yang telah diajukan sebelumnya dan mencapai tujuan yang diinginkan dalam penelitian ini, maka penulis menggunakan metoda-metoda berikut sebagai metoda penelitian.

#### **1.4.1 Lokasi Penelitian**

Lokasi penelitian berada pada Jembatan Penggaron, Jalan Tol Semarang-Solo, Seksi I Paket II. Jembatan Penggaron merupakan tipe jembatan *Prestressed*



*Concrete Girder* dengan panjang 421,5m dengan total jumlah pier sebanyak 9 buah. Sistem pondasi yang digunakan berupa pondasi *bored pile* dengan diameter 1,2m dengan kedalaman pembenaman bervariasi dari 14 – 30m di bawah *pile cap*.

#### **1.4.2 Studi Literatur**

Penelitian ini diawali dengan pengumpulan teori-teori dan pendapat para ahli pada penelitian terdahulu yang digunakan sebagai landasan dalam penelitian ini, terutama dalam proses analisis data. Teori-teori atau pendapat-pendapat para ahli tersebut didapatkan dari sejumlah buku, artikel internet serta sumber-sumber lain yang dapat mendukung penelitian ini.

#### **1.4.3 Metode Analisis**

Melakukan *back analysis* berdasarkan hasil inklinometer dan data tanah yang didapatkan dari hasil boring untuk memodelkan permasalahan yang terdapat di lapangan.

#### **1.5 Sistematika Penulisan**

Dalam penulisan tesis ini, terdapat lima bab utama dengan beberapa sub bab pada masing-masing bab-nya, yang secara garis besar dipaparkan sebagai berikut :

BAB 1 : PENDAHULUAN

Dalam bab ini diuraikan secara menyeluruh garis besar isi tesis ini, yaitu meliputi latar belakang masalah, maksud dan tujuan penelitian, pembatasan masalah, metoda penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB 2 : TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini dipaparkan teori-teori dan konsep-konsep yang akan digunakan dalam proses analisis data pada tesis ini. Teori-teori yang akan digunakan di dalam penelitian ini yaitu teori mengenai longsoran, pondasi tiang bor, inklinometer, serta peran angkur sebagai upaya perkuatan pondasi.

BAB 3 : METODOLOGI PENELITIAN

Dalam bab ini dijabarkan tahapan-tahapan perhitungan dengan metode elemen hingga yang dibantu program PLAXIS 2D dan PLAXIS 3D TUNNEL.

BAB 4 : ANALISIS DATA HASIL PENELITIAN

Pada bab ini diuraikan pengumpulan, penyajian serta pengolahan data yang didapatkan dari tahapan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya sehingga diperoleh suatu data akhir yang berguna dalam penyusunan kesimpulan.

**BAB 5 : KESIMPULAN DAN SARAN**

Pada bab ini dipaparkan kesimpulan dan saran yang diperoleh atas proses analisis data yang telah dijabarkan pada bab sebelumnya.