

## **TUGAS AKHIR**

*Analisis Kestabilan Terowongan Pada Tunnel # 11 Kereta Cepat Jakarta – Bandung Dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga*

**Disusun Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Pertambangan Prodi S-1 Teknik Pertambangan**



**Oleh :**  
**Aprig Ustianto**  
**17137079/2017**

**Konsentrasi : Pertambangan Umum**  
**Program Studi : S-1 Teknik Pertambangan**  
**Jurusan : Teknik Pertambangan**

**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS NEGERI PADANG**  
**2021**

**PERSETUJUAN PEMBIMBING TUGAS AKHIR**

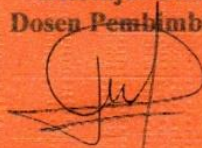
**"ANALISIS KESTABILAN TEROWONGAN PADA TUNNEL # 11  
KERETA CEPAT JAKARTA – BANDUNG DENGAN MENGGUNAKAN  
METODE ELEMEN HINGGA"**

**Oleh :**

**Nama : Aprig Ustianto  
NIM/TM : 17137079/2017  
Program Studi : S-1 Teknik Pertambangan  
Jurusan : Teknik Pertambangan**

**Padang, November 2021**

**Disetujui Oleh  
Dosen Pembimbing**



**Rizto Salia Zakri, S.T., M.T.  
NIP : 19920721 201903 1 014**

**Mengetahui**

**Ketua Jurusan Teknik Pertambangan  
Universitas Negeri Padang**



**Dr. Fadhilah, S.Pd., M.Si  
NIP : 19721213 200012 2 001**

**LEMBAR PENGESAHAN**

Nama : Aprig Ustianto  
NIM/TM : 17137079/2017  
Program Studi : S-1 Teknik Pertambangan  
Jurusan : Teknik Pertambangan

Dinyatakan Lulus Setelah Mempertahankan Tugas Akhir Di Depan Tim  
Penguji Program Studi S1 Teknik Pertambangan Jurusan Teknik  
Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

Dengan Judul

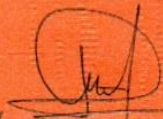
***“ANALISIS KESTABILAN TEROWONGAN PADA TUNNEL # 11  
KERETA CEPAT JAKARTA – BANDUNG DENGAN MENGGUNAKAN  
METODE ELEMEN HINGGA ”***

Padang, November 2021

Tim Penguji

Tanda Tangan

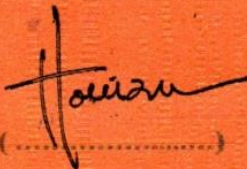
1. Ketua Rizto Salia Zakri, S.T., M.T

  
(.....)

2. Penguji 1 DR. Bambang Heriyadi, M.T

  
(.....)

3. Penguji 2 Harizona Aulia Rahman, S.T., M.Eng

  
(.....)



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
UNIVERSITAS NEGERI PADANG  
FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN TEKNIK PERTAMBANGAN

Jl. Prof Dr. Hamka Kampus UNP Air Tawar Padang 25131

Telephone: FT: (0751)7055644, 445118 Fax .7055644

Homepage: <http://pertambangan.ft.unp.ac.id> E-mail : [tambang@ft.unp.ac.id](mailto:tambang@ft.unp.ac.id)

**SURAT PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Aprig Ustianto  
NIM/TM : 17137079/2017  
Program Studi : S1- Teknik Pertambangan  
Jurusan : Teknik Pertambangan  
Fakultas : FT UNP

Dengan ini menyatakan, bahwa Tugas Akhir/Proyek Akhir saya dengan Judul :

***" Analisis Kestabilan Terowongan Pada Tunnel # 11 Kereta Cepat Jakarta – Bandung Dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga "***

Adalah benar merupakan hasil karya saya dan bukan merupakan plagiat dari karya orang lain. Apabila suatu saat terbukti saya melakukan plagiat maka saya bersedia diproses dan menerima sanksi akademis maupun hukum sesuai dengan hukum dan ketentuan yang berlaku, baik di Institusi Universitas Negeri Padang maupun di masyarakat dan negara.

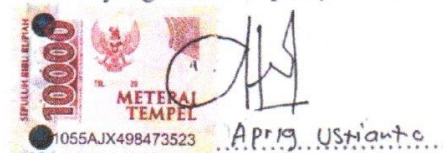
Demikianlah pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan rasa tanggung jawab sebagai anggota masyarakat ilmiah.

Diketahui oleh,  
Ketua Jurusan Teknik Pertambangan

**Dr. Fadhilah, S.Pd., M.Si.**  
NIP. 19721213 200012 2 001

Padang, 8 November 2021

yang membuat pernyataan,



## BIODATA

### I. Data Diri

Nama Lengkap Aprig Ustianto  
BP/NIM 2017 / 17137079  
Tempat/Tanggal Lahir Padang / 18 April 1999  
Jenis Kelamin Laki - Laki  
Nama Bapak Suharman  
Nama Ibu Gusnawati  
Jumlah Bersaudara 3  
Alamat Tetap Komp. Pesona Filano Blok EE 1 No. 8  
Email Aprigust46@gmail.com  
No. Handphone



### II. Data Pendidikan

Sekola Dasar SDN 32 Andalas  
Sekolah Menengah Pertama SMPN 31 Padang  
Sekolah Menengah Atas SMAN 9 Padang  
Perguruan Tinggi Universitas Negeri Padang

### III. Tugas Akhir

Tempat Penelitian PT. LAPI ITB  
Tanggal Penelitian 28 Mei 2021  
Topik Studi Kasus *Analisis Kestabilan Terowongan Pada Tunnel # 11 Kereta Cepat Jakarta – Bandung Dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga*  
Tanggal Sidang Oktober 2021

Padang, Oktober 2021

Aprig Ustianto

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayahnya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan tugas akhir yang berjudul **“Analisis Kestabilan Terowongan Pada Tunnel # 11 Kereta Cepat Jakarta – Bandung Dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga”** ini sebagai salah satu syarat dalam menyelesaikan program studi S-1 Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.

Dalam menyelesaikan tugas akhir ini penulis banyak mendapat bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, maka pada kesempatan kali ini penulis mengucapkan terimakasih banyak kepada :

1. Teristimewa kepada ibunda tersayang, Rio, Julia, Fira dan seluruh keluarga besar yang telah banyak memberikan doa, kasih sayang dan dukungan moral maupun materil.
2. Ibu Dr. Fadhillah S.Pd. M.Si, selaku Ketua Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang yang telah memberikan dukungan serta pengarahan kepada penulis dalam proses penulisan tugas akhir ini.
3. Bapak Rizto Salia Zakri, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah sangat baik dan sabar dalam membimbing dan memberikan pengarahannya dalam proses penulisan tugas akhir ini.
4. Bapak Bambang Heriyadi M.T dan Bapak Harizona Aulia Rahman S.T., M.Eng., selaku dosen penguji yang telah memberikan arahan dan masukan kepada saya dalam proses penulisan tugas akhir ini

5. Seluruh dosen dan staf Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.
6. PT LAPI ITB, terkhususnya bapak Dr. Simon Heru Prasetyo. M.T yang sudah memberikan izin dan dukungan kepada penulis untuk melakukan penelitian di project terowongan 11 kereta cepat Jakarta bandung.
7. Rumah kedua saya CB4N28, bang Faris, bang Afdhal, bang Fadhil, bang Hafid bang Angga, bang Astian, bang Suryandi, bang briam, bang rizal, yang telah mewarnai hidup penulis selama penelitian, memberikan dukungan baik moral maupun materil, memberikan pengarahan dan bimbingan kepada penulis selama penelitian.
8. Abang dan kakak saya, bang Ridho dan Kakak Cici yang sudah memberikan dukungan dan memberikan arahan serta bimbingan kepada penulis.
9. Teman-teman kos aldo, Rahmat Zulmy, Aldo Azzana, Maulana Assidikey, Jufrizal, Hafiz Zakwan dan didan rahmadandy.
10. Abang dan kakak alumni serta senior Jurusan Teknik Pertambangan yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.
11. Rekan-rekan seangkatan teknik pertambangan 2017 yang selalu memberikan doa dan dukungannya.
12. Adik-adik tingkat jurusan teknik pertambangan 2018 dan 2019.
13. Semua pihak yang sudah membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Degan segala keterbatasan penulis menyadari masih banyak terdapat kekurangan dalam penulisan tugas akhir ini. Oleh karena itu, penulis menerima

kritik dan saran yang sifatnya membangun dalam rangka menyempurnakan tugas akhir ini.

Akhir kata, semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat dan dapat di gunakan sebagaimana mestinya

Padang, Oktober 2021

Aprig Ustianto

17137079

## ABSTRAK

### **Aprig Ustianto : Analisis Kestabilan Terowongan Pada Tunnel # 11 Kereta Cepat Jakarta – Bandung Dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga**

Terowongan 11 Memiliki panjang total 1,1 km. Bentuk penampang terowongan 11 tapal kuda dengan lebar 15 meter dan tinggi 13 meter. Dari analisis klasifikasi *rock mass rating* (RMR), rekomendasi penggalian pada terowongan 11 dengan metoda *full face*. Sedangkan penggalian aktual di lapangan dengan metoda *top Heading and benching*. Berdasarkan permasalahan tersebut diperlukan rancangan kestabilan terowongan dengan menggunakan metode elemen hingga (*finite element*). Analisis kestabilan terowongan dengan menggunakan metoda penggalian *full face* berdasarkan nilai RMR, kestabilan terowongan dengan metoda penggalian *top heading and bench* dan penyangga yang optimal berdasarkan simulasi yang dilakukan. Analisis kestabilan terowongan ditinjau dari nilai *strength factor* dan *displacement* pada terowongan. Berdasarkan analisis dengan metoda penggalian *full face*, pada dinding kiri tanpa penyangga didapatkan nilai *strength factor* paling rendah yaitu 6,3 dan nilai *displacement* paling besar yaitu 1,69 cm. Dengan penggalian dengan metoda *top heading and benching* pada dinding kiri lower tanpa penyangga didapatkan nilai *strength factor* paling kecil yaitu 5,2 dan nilai *displacement* paling besar yaitu 1,7 cm. Nilai *strength factor* dengan metoda penggalian *full face* dengan *top heading and benching* nilai ambang batas faktor keamanan sesuai dengan KEPMEN 1827K/MEM/30/2018 dan nilai ambang *deformasi* sesuai dengan *japan society civil engineers* (JSCE). Berdasarkan simulasi permodelan kestabilan terowongan dari segi ekonomis dan analisis kestabilannya, maka penyanggaan yang optimal pada terowongan 11 yaitu *shotcrete* K-175 #10 mm dengan penggalian *top heading and benching*.

**Kata Kunci :** kestabilan terowongan, metoda elemen hingga, *top heading and benching*, *strength factor*, *displacement*

## **ABSTRACT**

### **Aprig Ustianto : *Analysis Stability of the Tunnel # 11 Jakarta – Bandung High Speed Train Using Finite Element Method***

*Tunnel 11 has total length of 1,1 km. the shape of tunnel 11 was horseshoe with 15 meters wide and 13 meter high. Form classification rock mass rating (RMR) analysis, excavation recommendation on tunnel 11 by using full face method. Whereas actual excavation in the field with top heading and benching method. Based on the alignment required a plan of tunnel stability by using finite element. Analysis of tunnel's stability using a full face excavation method based on RMR value. Tunnel stability with method of digging the top heading and bench and the optimized buffer based on the simulation carried out. The tunnel's stability analysis is reviewed by the strenght factor and displacement value in the tunnel. Based on analysis with full face excavation method, on the left wall with no suport it's got the lowest strenght factor value that is 6,3 and biggest displacement value that is 1,69 cm. with excavation on lower left side of the wall without support there was the smallest value of factor that is 5,2 and the biggest displacement value is 1,7 cm. strenght factor value by using full face excavation with top heading and benching threshold value strenght factor according to the KEPMEN 1827K/MEM/2018 and threshold deformation value according to japan society engineers ( JSCE ) based on a modeling simulation of the tunnel's stability from economic side and stability analysis, then the optimal insulation on tunnel 11 is shotcrete K-175 #10 mm with top heading and benching excavation.*

**Keyword : tunnel stability, finite element method, top heading and benching, strenght factor, displacement.**

## DAFTAR ISI

	Halaman
TUGAS AKHIR .....	i
HALAMAN PERSETUJUAN TUGAS AKHIR .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
SURAT TIDAK PLAGIAT.....	iv
BIODATA .....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK.....	ix
DAFTAR ISI .....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL .....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN .....	xx
BAB I PENDAHULUAN .....	1
A. Latar Belakang .....	1
B. Identifikasi Masalah .....	3
C. Batasan Masalah .....	4
D. Rumusan Masalah .....	5
E. Tujuan Penelitian .....	5

F. Manfaat Penelitian .....	6
BAB II KAJIAN PUSTAKA .....	7
A. Deskripsi Perusahaan .....	7
B. Lokasi Penelitian .....	7
C. Keadaan Geologi daerah penelitian.....	9
D. Teori Dasar .....	14
1. Pengertian Terowongan.....	14
2. Sistem Klasifikasi Rock Mass Rating (RMR).....	14
3. Metoda Pembuatan Terowongan .....	27
4. Metoda Penggalian Pada Terowongan .....	29
5. <i>New Austrian Tunneling Method</i> (NATM) .....	31
6. Sistem Penyangga Terowongan .....	32
7. Parameter Geomekanika Batuan .....	40
8. Pemodelan Numerik Elemen Hingga .....	49
9. Perhitungan Faktor Keamanan Secara Analitik.....	50
10. Tegangan pada penggalian terowongan .....	51
11. Phase2.....	53
E. Penelitian Relevan .....	54
F. Kerangka Konseptual.....	62

BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....	63
A. Desain Penelitian .....	63
B. Jenis Penelitian .....	63
C. Objek Penelitian .....	64
D. Tahapan Penelitian .....	64
E. Bagan alir penelitian .....	69
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	70
A. Pengumpulan Data .....	70
B. Pengolahan Data .....	75
D. Pembahasan .....	125
BAB V PENUTUP .....	130
A. Kesimpulan.....	130
B. Saran .....	131
DAFTAR PUSTAKA .....	132
LAMPIRAN .....	134

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
<b>Gambar 1.</b> Peta Kesampaian Daerah Penelitian .....	8
<b>Gambar 2.</b> Peta Pembangunan Terowongan 11 KCIC .....	9
<b>Gambar 3.</b> Peta Geologi Daerah Penelitian .....	11
<b>Gambar 4.</b> . Prosedur untuk Pengukuran dan Perhitungan Nilai RQD .....	17
<b>Gambar 5.</b> Prosedur Pengukuran Frekuensi Kekar dengan .....	18
<b>Gambar 6.</b> Pola Lubang untuk Peledakan .....	30
<b>Gambar 7.</b> Bentuk Penampang Pada Terowongan 11 .....	31
<b>Gambar 8.</b> Pembuatan Shotcrete Kering .....	34
<b>Gambar 9.</b> Contoh Mesin Pengaduk Shotcrete Basah .....	34
<b>Gambar 10.</b> Shotcrete pada terowongan 11 .....	36
<b>Gambar 11.</b> penyangga menggunakan wiremesh .....	38
<b>Gambar 12.</b> Tipe Steel Rib .....	40
<b>Gambar 13.</b> Uji Poin Load .....	43
<b>Gambar 14.</b> Kurva tegangan dan regangan .....	46
<b>Gambar 15.</b> Grafik Uji triaksial .....	48
<b>Gambar 16.</b> Mesh dengan Elemen Hingga untuk Program Phase2 .....	50
<b>Gambar 17.</b> Grafik Kriteria Keruntuhan Mohr-Coulumb .....	51
<b>Gambar 18.</b> Program Rockscience Phase2 .....	53
<b>Gambar 19.</b> Kerangka Konseptual .....	62
<b>Gambar 20.</b> Bagan Alir Penelitian .....	69
<b>Gambar 21.</b> Poros miring terowongan 11 .....	71
<b>Gambar 22.</b> Permodelan Terowongan Tanpa Penyangga .....	75
<b>Gambar 23 .</b> Parameter Batuan Pada Define Material .....	76
<b>Gambar 24.</b> Mesh Setup .....	76
<b>Gambar 25.</b> Parameter Penyanggan Shotcrete K 400 #10 mm .....	77
<b>Gambar 26.</b> Parameter Penyanggan Shotcrete K-175 #10 mm .....	78
<b>Gambar 27.</b> Parameter Penyanggan Shotcrete K 300 #1 .....	78

<b>Gambar 28.</b> Sigma 1 (a) dan Sigma 3 (b) Pada Penggalian Full Face Tanpa Penyangga .....	79
<b>Gambar 29.</b> Nilai Strength Factor Pada Penggalian Full Face Tanpa Penyangga .....	80
<b>Gambar 30.</b> Vertical Displacement (a) dan Horizontal Displacement (b) .....	81
<b>Gambar 31.</b> Sigma 1 (a) dan Sigma 3 (b) Pada Penggalian Full Face Dengan Penyangga Shotcrete K 400 #10 mm.....	82
<b>Gambar 32.</b> Nilai Strength Factor Pada Penggalian Full Face dengan Penyangga Shotcrete K-400 #10 mm.....	83
<b>Gambar 33.</b> Vertical Displacement (a) dan Horizontal Displacement (b) Pada Penggalian full face Dengan Penyangga Shotcrete K-400 #10 mm .....	84
<b>Gambar 34.</b> Sigma 1 (a) dan Sigma 3 (b) Pada Penggalian Top Heading Tanpa Penyangga .....	85
<b>Gambar 35.</b> Nilai Strength Factor Pada Penggalian Top Heading Tanpa Penyangga .....	86
<b>Gambar 36.</b> Vertical Displacement (a) dan Horizontal Displacement (b) Pada Penggalian Top Heading Tanpa Penyangga.....	87
<b>Gambar 37.</b> Sigma 1 (a) dan Sigma 3 (b) Pada Pada Penggalian Top Heading Dengan Penyangga Shotcrete K-400 #10 mm .....	88
<b>Gambar 38.</b> Nilai Strength Factor Pada Penggalian Top Heading Dengan Penyangga Shotcrete K-400 #10 mm.....	89
<b>Gambar 39.</b> Vertical Displacement (a) dan Horizontal Displacement (b) Pada Penggalian Top Heading Dengan Penyangga Shotcrete K-400 #10 mm....	90

## DAFTAR TABEL

	Halaman
<b>Tabel 1.</b> Identifikasi Kekuatan Material Batuan Utuh - UCS .....	16
<b>Tabel 2.</b> Indeks Rock Designation Quality .....	17
<b>Tabel 3.</b> Identifikasi Jarak Bidang Diskontinuitas .....	19
<b>Tabel 4.</b> Klasifikasi Panjang Bidang Diskontinu .....	20
<b>Tabel 5.</b> Klasifikasi Bukaannya/ rekahan pada Bidang Diskontinu .....	20
<b>Tabel 6.</b> Penggolongan Kekasaran Bidang Diskontinu .....	21
<b>Tabel 7.</b> Tingkat Pelapukan Batuan .....	22
<b>Tabel 8.</b> Panduan Klasifikasi Kondisi Kekar .....	23
<b>Tabel 9.</b> Kondisi Air Tanah .....	24
<b>Tabel 10.</b> Kesesuaian Bidang Lemah atau Diskontinuitas .....	25
<b>Tabel 11.</b> Efek Orientasi Diskontinuitas pada Terowongan .....	26
<b>Tabel 12.</b> Kualitas Massa Batuan .....	26
<b>Tabel 13.</b> Petunjuk Penggalian dan Penyanggan terowongan dengan bentang 10 meter .....	28
<b>Tabel 14.</b> Tipe persentase pencampuran komponen kering dengan berat: .....	35
<b>Tabel 15.</b> Mutu $F_c'$ dan Modulus Elastisitas Berdasarkan SNI 2013 .....	37
<b>Tabel 16.</b> Hasil Pengukuran Rock Mass Rating (RMR) .....	72
<b>Tabel 17.</b> Parameter Batuan .....	72
<b>Tabel 18.</b> Parameter Shotcrete Tipe K-400 .....	73
<b>Tabel 19.</b> Parameter Shotcrete Tipe K-175 .....	73
<b>Tabel 20.</b> Parameter Shotcrete Tipe K-300 .....	74
<b>Tabel 21.</b> Parameter Wiremesh .....	74
<b>Tabel 22.</b> Dimensi Terowongan .....	75
<b>Tabel 23.</b> Hasil Faktor Keamanan Secara Analitik Pada Penggalian Full Face Tanpa Penyangga .....	80
<b>Tabel 24.</b> Hasil Displacement Pada Penggalian Full Face Tanpa Penyangga .....	81
<b>Tabel 25.</b> Hasil Faktor Keamanan Secara Analitik Pada Penggalian Full Face dengan penyangga shotcrete k-400 #10 mm .....	82

<b>Tabel 26.</b> Hasil Displacement Pada Penggalian Full Face Dengan Penyangga Shotcrete K-400 #10 mm.....	84
<b>Tabel 27.</b> Hasil Faktor Keamanan Secara Analitik Pada Penggalian Top Heading Tanpa Penyangga .....	86
<b>Tabel 28.</b> Hasil Displacement Pada Penggalian Top Heading Tanpa Penyangga .....	87
<b>Tabel 29.</b> Hasil Faktor Keamanan Secara Analitik Pada Penggalian Top Heading Dengan Penyangga Shotcrete K 400 #10 mm .....	88
<b>Tabel 30.</b> Hasil Displacement Pada Penggalian Top Heading Dengan Penyangga Shotcrete K-400 #10 mm.....	90
<b>Tabel 31.</b> Hasil Faktor Keamanan Secara Analitik Pada Penggalian Middle Tanpa Penyangga.....	91
<b>Tabel 32.</b> Hasil Displacement Pada Penggalian Middle Tanpa Penyangga .....	92
<b>Tabel 33.</b> Hasil Faktor Keamanan Secara Analitik Pada Penggalian Middle Dengan Penyangga Shotcrete K-400 #10 mm.....	94
<b>Tabel 34.</b> Hasil Displacement Pada Penggalian Middle Dengan Penyangga Shotcrete K-400 #10 mm .....	95
<b>Tabel 35.</b> Hasil Faktor Keamanan Secara Analitik Pada Penggalian Lower Tanpa Penyangga.....	96
<b>Tabel 36.</b> Hasil Displacement Pada Penggalian Lower Tanpa Penyangga .....	97
<b>Tabel 37.</b> Hasil Faktor Keamanan Secara Analitik Pada Penggalian Lower Dengan Penyangga Shotcrete K-400 #10 mm.....	98
<b>Tabel 38.</b> Hasil Displacement Pada Penggalian Lower Dengan Penyangga Shotcrete K-400 #10 mm .....	99
<b>Tabel 39.</b> Hasil Faktor Keamanan Secara Analitik Pada Penggalian Top Heading Tanpa Penyangga .....	101
<b>Tabel 40.</b> Hasil Displacement Pada Penggalian Top Heading Tanpa Penyangga .....	101
<b>Tabel 41.</b> Hasil Faktor Keamanan Secara Analitik Pada Penggalian Top Heading Dengan Penyangga Shotcrete K-175 dan 10 mm .....	102

<b>Tabel 42.</b> . Hasil Displacement Pada Penggalian Top Heading Dengan Penyangga Shotcrete K-175 #10 mm.....	103
<b>Tabel 43.</b> Hasil Faktor Keamanan Secara Analitik Pada Penggalian Middle Tanpa Penyangga.....	104
<b>Tabel 44.</b> Hasil Displacement Pada Penggalian Middle Tanpa Penyangga .....	105
<b>Tabel 45.</b> Hasil Faktor Keamanan Secara Analitik Pada Penggalian Pada Middle Dengan Penyangga Shotcrete K-175 #10 mm.....	106
<b>Tabel 46.</b> Hasil Displacement Pada Penggalian Middle Dengan Penyangga Shotcrete K-175 #10 mm .....	108
<b>Tabel 47.</b> Hasil Faktor Keamanan Secara Analitik Pada Penggalian Lower Tanpa Penyangga.....	109
<b>Tabel 48.</b> Hasil Displacement Pada Penggalian Lower Tanpa Penyangga .....	110
<b>Tabel 49.</b> Hasil Faktor Keamanan Secara Analitik Pada Penggalian Lower Dengan Penyangga Shotcrete K-175 #10 mm .....	111
<b>Tabel 50.</b> Hasil Displacement Pada Penggalian Lower Dengan Penyangga Shotcrete K-175 #10 mm .....	112
<b>Tabel 51.</b> Hasil Faktor Keamanan Secara Analitik Pada Penggalian Top Heading Tanpa Penyangga .....	113
<b>Tabel 52.</b> Hasil Displacement Pada Penggalian Top Heading Tanpa Penyangga .....	114
<b>Tabel 53.</b> Hasil Faktor Keamanan Secara Analitik Pada Penggalian Top Heading Dengan Penyangga Shotcrete K-300 #10 mm .....	115
<b>Tabel 54.</b> Hasil Displacement Pada Penggalian Top Heading Dengan Penyangga Shotcrete K-300 #10 mm.....	116
<b>Tabel 55.</b> Hasil Faktor Keamanan Secara Analitik Pada Penggalian Middle Tanpa Penyangga.....	117
<b>Tabel 56.</b> Hasil Displacement Pada Penggalian Middle Tanpa Penyangga .....	118
<b>Tabel 57.</b> Hasil Faktor Keamanan Secara Analitik Pada Penggalian Middle Dengan Penyangga Shotcrete K 300 #10 mm .....	119
<b>Tabel 58.</b> Hasil Displacement Pada Penggalian Middle Dengan Penyangga Shotcrete K-300 #10 mm.....	120

<b>Tabel 59.</b> Hasil Faktor Keamanan Secara Analitik Pada Penggalian Lower Tanpa Penyangga.....	121
<b>Tabel 60.</b> Hasil Displacement Pada Penggalian Lower Tanpa Penyangga .....	122
<b>Tabel 61.</b> Hasil Faktor Keamanan Secara Analitik Pada Penggalian Lower Dengan Penyangga Shotcrete K-300 #10 mm .....	124
<b>Tabel 62.</b> Hasil Displacement Pada Penggalian Lower dengan Penyangga Shotcrete K-300 #10 mm .....	125

## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
<b>Lampiran 1.</b> Hasil Pengolahan Data.....	134
<b>Lampiran 2.</b> Peta Geologi Regional .....	165
<b>Lampiran 3.</b> Peta Rencana Pembangunan Terowongan 11 .....	166
<b>Lampiran 4.</b> Peta Kesampaian Daerah .....	167
<b>Lampiran 5.</b> Faktor Keamanan Secara Analitik .....	168
<b>Lampiran 6.</b> Klasifikasi Rock Mass Rating .....	187
<b>Lampiran 7.</b> Foto Dokumentasi.....	218

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang**

Pembangunan kereta cepat Jakarta bandung merupakan salah satu proyek nasional yang dikelola oleh PT Kereta Cepat Indonesia Cina (KCIC). Pembangunan ini menghubungkan ibu kota Jakarta dengan kota bandung dengan jarak membentang sejauh 150 km. Jalur pembangunan kereta cepat ini dimulai 0 km dari Jakarta sampai ke kota bandung. Pembangunan ini dimulai sejak 2015 dan ditargetkan rampung pada tahun 2022. Pembangunan struktur *trase* atau jalur kereta cepat menggunakan *grider box* dan terowongan bawah tanah (*underground tunneling*).

Pembangunan terowongan kereta cepat Jakarta bandung terdiri dari 13 terowongan, salah satu pembangunan terowongan kereta cepat Jakarta bandung adalah terowongan 11 yang menembus bukit bohong yang terletak di padalarang, kabupaten bandung barat. Terowongan ini memiliki panjang total 1,1 km dengan bentuk penampang berupa tapal kuda dengan lebar 15 meter dan tinggi 13 meter.

Dari analisis klasifikasi *rock mass rating* (RMR) pada terowongan 11, didapatkan nilai RMR 78. Sehingga batuan pada terowongan 11 termasuk batuan kelas II. Berdasarkan tabel klasifikasi Bieniawski 1989 tentang petunjuk penggalian dan penyanggan terowongan dengan bentang 10 meter berdasarkan nilai RMR. Penggalian pada terowongan 11 menggunakan metoda penggalian *Full Face* .

Sedangkan kondisi aktual dilapangan metoda penggalian yang digunakan adalah metoda *top Heading and benching* , dengan penggalian secara bertahap yang terdiri dari 3 bagian yaitu *top heading*, *middle* dan *lower*. Metoda konstruksi yang digunakan pada penggalian terowongan 11 adalah *new austrian tunneling method* (NATM). Dimana metode NATM digunakan pada penggalian terowongan yang lebar dan dalam untuk mencegah terjadinya potensi *deformasi* pada lubang bukaan. Penggalian kemajuan pada terowongan 11 menggunakan penggalian dengan cara peledakan dan pemboran serta penggalian mekanis.

Setiap dilakukan /penggalian pada *top heading*, *middle* dan *lower* akan berpotensi terjadi nya *deformasi* yang mempengaruhi kestabilan terowongan. *Deformasi* yang terjadi diakibatkan dari penggalian lubang bukaan yang dalam dan lebar. Sehingga akan menimbulkan tegangan dan regangan yang besar sekitar lubang bukaan. *Deformasi* pada terowongan akan menyebabkan terjadinya runtuh pada saat melakukan penggalian.

Pemilihan DK 113+630 tempat pengamatan penelitian karna adanya proses penggalian lubang maju dan pelebaran terowongan yang akan dilakukan pemasangan *final lining*. Sebelum pemasangan *final lining*, lubang bukaan di berikan penyanggan berupa *shotcrete* dan *wiremesh*. Pemasangan *shotcrete* dan *wiremesh* berguna untuk menjaga kestabilan terowongan saat dilakukan penggalian lubang maju. Lokasi penelitian terletak pada kedalaman 67 m dengan jarak dari poros miring 570 m.

Sehingga diperlukan rancangan permodelan secara numerik dalam pembuatan terowongan untuk memprediksi kestabilan terowongan sebelum terpasangnya *final lining*. Permodelan dilakukan untuk melihat kondisi terowongan sebelum dilakukan penyanggan dan setelah dilakukan penyanggan. Kestabilan pada terowongan dilihat dari *deformasi* dan *strength factor* disekitar lubang bukaan. Permbuatan model terowongan harus sesuai dengan kondisi batuan, struktur geologi, dan kaidah geologi teknik yang baik.

Dengan adanya permasalahan tersebut diperlukan suatu kajian geoteknik terhadap kestabilan terowongan menggunakan metode elemen hingga atau *finite element method* (FEM) dengan kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb. Berdasarkan uraian dari permasalahan tersebut penulis tertarik melakukan kajian dengan judul “ **Analisis Kestabilan Terowongan #11 Kereta Cepat Jakarta Bandung Dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga**”.

## **B. Identifikasi Masalah**

Identifikasi masalah bertujuan untuk mempermudah dalam penyelesaian masalah yang akan dibahas, sehingga pada tahap penyelesaian masalah tersebut dapat tersusun dengan baik. Berdasarkan permasalahan yang ada, maka dapat dikelompokkan sebagai berikut .

1. Berdasarkan nilai *rock mass rating* (RMR) rekomendasi penggalian menggunakan metoda Full Face

2. Adanya bidang lemah pada terowongan yang menyebabkan terganggunya kestabilan pada terowongan
3. Adanya potensi deformasi akibat kegiatan penggalian lubang maju dan pelebaran terowongan yang mempengaruhi kestabilan terowongan 11
4. Diperlukan pemodelan terowongan menggunakan metode elemen hingga pada terowongan 11

### **C. Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah yang diperhatikan untuk analisis Penelitian ini dititik beratkan pada aspek teknisnya saja yang meliputi:

1. Lokasi penelitian terbatas pada terowongan 11 DK 113+630
2. Permodelan pada terowongan 11 berdasarkan rekomendasi RMR dan kondisi aktual dilapangan dengan menggunakan metoda elemen hingga pada phase 2
3. Analisa kestabilan pada terowongan 11 pada bagian *top heading*, *middle* dan *lower* menggunakan metode elemen hingga pada software phase2
4. Analisa kestabilan berdasarkan nilai faktor keamanan dan displacement sekitar lubang bukaan.
5. Evaluasi perkuatan penyangga terowongan 11 menggunakan *shotcrete* tipe K-400 #10 mm, K-300 #10 mm dan K 175 #10 mm berdasarkan simulasi yang dilakukan dengan metode elemen hingga pada phase 2

#### **D. Rumusan Masalah**

Berdasarkan identifikasi masalah dan batasan masalah yang telah diuraikan di atas maka untuk lebih terarahnya penelitian ini, maka penulis merumuskan permasalahan ditinjau dari beberapa aspek diantaranya :

1. Bagaimana nilai *strength factor* dan *displacement* dari hasil permodelan terowongan 11 dengan dengan penggalian *full face* berdasarkan nilai RMR dengan menggunakan metode elemen hingga pada phase2?
2. Bagaimana nilai *strength factor* dan *displacement* dari hasil permodelan pada terowongan 11 sesuai kondisi aktual di lapangan pada bagian *top heading, middle dan lower* dengan menggunakan metode elemen hingga pada phase2?
3. Bagaimana Optimasi perkuataan penyangga pada terowongan 11 dengan penyangga *shotcrete* tipe K-400 #10 mm, K-300 #10 mm dan K-175 #10 mm berdasarkan simulasi yang dilakukan dengan metode elemen hingga pada phase 2 ?

#### **E. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah :

1. Mendapatkan nilai *strength factor* dan *displacement* terowongan 11 dengan penggalian *full face* berdasarkan nilai RMR dengan menggunakan metode elemen hingga pada phase2
2. Mendapatkan nilai *strength factor* dan *displacement* pada terowongan 11 sesuai kondisi aktual dilapangan pada bagian *top heading, middle dan lower* dengan menggunakan metode elemen hingga pada phase2

3. Mendapatkan perkuatan penyangga terowongan 11 yang optimal dengan penyangga *shotcrete* tipe K-400 #10 mm, K-300 #10 mm dan K-175 #10 mm dengan metode elemen hingga pada phase 2 ?

## **F. Manfaat Penelitian**

Penelitian diharapkan dapat memberi manfaat bagi perusahaan, peneliti dan universitas:

### **1. Bagi Penulis**

- a. Meningkatkan kemampuan penulis dalam menganalisis kestabilan terowongan dengan metoda elemen hingga
- b. Meningkatkan pengetahuan penulis dalam menentukan faktor keamanan dan nilai *displacement* dengan menggunakan metoda elemen hingga.
- c. Mendapatkan pengetahuan baru mengenai tipe penyangga dan menentukan tipe penggalian berdasarkan nilai *rock mass rating* (RMR)
- d. Menyelesaikan salah satu syarat bagi penulis untuk mendapatkan gelar sarjana teknik.

### **2. Bagi Perusahaan**

- a. Dapat menjadi pedoman dan referensi bagi perusahaan dalam melakukan pengembangan pada terowongan.
- b. Menciptakan kondisi kerja yang aman dan nyaman di dalam terowongan.

## **BAB V PENUTUP**

### **A. Kesimpulan**

Berdasarkan analisis data dan pembahasan diatas dapat disimpulkan bahwa

1. Setelah dilakukan analisis kestabilan terowongan berdasarkan rekomendasi dari Bieniawski 1989 menggunakan nilai RMR. Metoda penggalian menggunakan metoda *full face* dengan penyangga shotcrete K-400 #10 mm. Setelah dilakukan analisis kestabilan terowongan dengan metoda elemen hingga. Nilai *strength factor* paling rendah yaitu 6,3 dan nilai *displacement* paling besar yaitu 1,69 cm pada dinding kiri tanpa penyangga. Nilai faktor keamanan yang didapatkan sudah sesuai dengan KEPMEN 1827K/MEM/30/2018 dan *displacement* yang didapatkan sudah sesuai dengan *Japan Society Civil Engineers* (JSCE).
2. Berdasarkan kondisi aktual dilapangan penggalian pada terowongan 11 menggunakan metoda *top heading and bench*. Setelah dilakukan analisis kestabilan terowongan menggunakan metoda elemen hingga. Nilai *strength factor* paling kecil yaitu 5,2 dan nilai *displacement* paling besar yaitu 1,7 cm pada dinding kiri lower tanpa penyangga. Nilai faktor keamanan yang didapatkan sudah sesuai dengan KEPMEN 1827K/MEM/30/2018 dan nilai *displacement* yang didapatkan sudah sesuai dengan dengan *Japan Society Civil Engineers* (JSCE).

3. Berdasarkan simulasi permodelan pada terowongan 11 dengan menggunakan tipe *shotcrete* yang berbeda. Didapatkan penyangga yang optimal pada terowongan 11 yaitu dengan menggunakan *shotcrete* K-175 #10 mm dan penggalian menggunakan metoda *top heading and bench*

## **B. Saran**

1. Dalam melakukan analisis secara numerik permodelan dibuat menggunakan autocad dalam bentuk DXF
2. Pastikan permodelan yang di import ke dalam phase 2 sudah benar sesuai settingan sebelum diimport.
3. Dalam memasukan properties material, pastikan data yang didapat sudah sesuai dan lengkap
4. Jika memasukan penyanggaan pada terowongan di phase2 dengan menggunakan stage penggalian, maka install support dilakukan secara bertahap
5. Permodelan pada phase 2 dalam bentuk 2D memiliki kekurangan seperti tidak bisanya memasukan faktor kemajuan saat penggalian. Sebaiknya untuk selanjutnya penulis menyarankan analisis numerik dengan menggunakan permodelan 3D

## DAFTAR PUSTAKA

- Annisaul Hidayah. 2019. Analisis Pengaruh Penggunaan *Rockbolt* Pada Terowongan Notog Bh 1440. Menggunakan Software phase2. Jurnal Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang .
- Arwan Apriyono dan Sumiyanto. 2010. Tinjauan Kekuatan Sistem Penyangga Terowongan dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga. Jurnal Rekayasa Dinamika Prodi UNSOED.
- Rai, Made Astawa. Perencanaan dan Pelatihan Teknik Terowongan. Laboratorium Geoteknik Pusat Antar Universitas Ilmu Rekayasa Institut Teknologi Bandung. Bandung. 1988.
- Bieniawski, Z.T., 1976. *Rock Mass Clasifications in Rock Engineering.*, Proceeding Symposium on Exploration for Rock Engineering, Ed. Z.T. Bieniawski, A.A. Balkema, Rotterdam, p. 97-106.
- Bieniawski, Z.T., 1989. *Engineering Rock Mass Clasifications.*, John Wiley & Sons, New York, p. 251.
- Bieniawski, Z.T., 1984, *Rock Mechanics Design in Mining and Tunnelling.*, The Pennsylvania State University, A.A. Balkema, Rotterdam, p. 272.
- Das, Ratan. 2017. "Numerical analysis of surface subsidence in asymmetric parallel highway tunnels". Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 9 (2017) 170-179.
- Desmawita, I., Kopa, R., & Gusman, M. (2018). Analisis Kestabilan Lubang Bukaan Berdasarkan Klasifikasi Geomekanika Pada Tambang Bawah Tanah CV. Tahiti Coal, Kota Sawahlunto, Sumatera Barat. *Bina Tambang*, 3(1), 365-37
- Dias Dwi Hatmoko, Dan Hanindya Kusuma Artati. 2018. Analisis Stabilitas Terowongan Dengan Perkuatan Wiremesh Dan Rockbolt Menggunakan Metode Elemen Hingga, Jurnal Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia.
- Dody Hermawan<sup>1</sup>, Indra Noer Hamdhan. 2019. Analisis Geoteknik Terowongan Kereta Api Kebasen Menggunakan Metode Elemen Hingga 3d. Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Bandung. Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional. Bandung.