

**ANALISIS TEROWONGAN JALAN RAYA
DENGAN PROTEKSI UMBRELLA GROUTING
MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA 2D
KASUS STUDI TOL CISUMDAWU**

TESIS



Oleh:

**Dendi Yogaswara
2015831007**

Pembimbing:

Prof. Ir. Paulus P. Rahardjo, MSCE, Ph. D

**PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK SIPIL
BIDANG KONSENTRASI GEOTEKNIK
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
BANDUNG
AGUSTUS 2019**

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISIS TEROWONGAN JALAN RAYA
DENGAN PROTEKSI UMBRELLA GROUTING
MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA 2D
KASUS STUDI TOL CISUMDAWU**



Oleh:

**Dendi Yogaswara
2015831007**

**Disetujui Untuk Diajukan Ujian Sidang pada Hari/Tanggal:
Selasa, 20 Agustus 2019**

Pembimbing:

Prof. Ir. Paulus P. Rahardjo, MSCE, Ph. D

**PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK SIPIL
BIDANG KONSENTRASI GEOTEKNIK
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
BANDUNG
AGUSTUS 2019**

LEMBAR PENGUJI

**ANALISIS TEROWONGAN JALAN RAYA
DENGAN PROTEKSI UMBRELLA GROUTING
MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA 2D
KASUS STUDI TOL CISUMDAWU**

SIDANG UJIAN TESIS

Hari/ Tanggal : Selasa, 20 Agustus 2019

**Oleh :
Dendi Yogaswara
2015831007**

Persetujuan Tesis

Dosen Pembimbing :

Prof. Ir. Paulus P. Rahardjo, MSCE, Ph. D



Dosen Penguji :

Budijanto Widjaja, Ph. D.

Dosen Penguji :

Aswin Liem, Ph. D

LEMBAR PERNYATAAN

Yang bertandatangan dibawah ini, saya dengan data diri sebagai berikut :

Nama : Dendi Yogaswara
Nomor Pokok Mahasiswa : 2014831031
Program Studi : Magister Teknik Sipil,
Bidang Konsentrasi Geoteknik,
Program Pascasarjana,
Universitas Katolik Parahyangan.

Menyatakan bahwa Tesis dengan judul :

Analisa Terowongan Jalan Raya Dengan Proteksi Umbrella Grouting
Menggunakan Metode Elemen Hingga 2D Kasus Studi Tol Cisumdawu

adalah benar-benar karya tulis 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 : 16 Agustus 2018

Dendi Yogaswara

**ANALISIS TEROWONGAN JALAN RAYA
DENGAN PROTEKSI UMBRELLA GROUTING
MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA 2D
KASUS STUDY TOL CISUMDAWU**

**Dendi Yogaswara (NPM: 2015831007)
Pembimbing: Prof. Ir. Paulus P. Rahardjo., MSCE, Ph. D
Magister Teknik Sipil
Bandung
Agustus 2019**

ABSTRAK

Pada pembangunan Jalan Tol Cisumdawu, akan ada pembangunan terowongan pertama untuk jalan tol di Indonesia tepatnya berada di Sta. 12+600 – Sta. 13+100. Total panjang pembangunan terowongan adalah 472 meter dan memiliki diameter 14 meter. Kondisi geologi di daerah terowongan merupakan daerah perbukitan vulkanik berumur quarter dan sudah menjadi tanah residual. Oleh karena itu, konstruksi terowongan utama sepanjang 362 meter menggunakan metode NATM (*New Austrian Tunneling Method*). Tingkat kesulitan pelaksanaan terowongan pada tanah sangat ditentukan oleh *stand-up time* dan posisi muka air tanah. Posisi terowongan di atas muka air tanah, *stand-up time* ditentukan oleh kuat geser dan kuat tarik material, sedangkan di bawah muka air tanah, *stand-up time* ditentukan oleh nilai permeabilitasnya. Penurunan tanah di permukaan adalah akibat deformasi yang disekitar galian. Salah satu metode tambahan untuk perkuatan terowongan adalah *Umbrella Arch Method* (UAM). Metode tambahan ini digunakan untuk mencegah penurunan muka tanah. *Umbrella Arch Method* (UAM) adalah teknik penguatan tanah di mana semua atau sebagian dukungan dari bagian terowongan ditempatkan sebelum memulai penggalian. Hasil analisis dengan menggunakan metode elemen hingga 2D menunjukkan bahwa deformasi terowongan di titik yang ditinjau terjadi sebesar 40 mm dan nilai tersebut masih lebih besar bila dibandingkan dengan deformasi yang didapatkan berdasarkan hasil dari monitoring terowongan dilapangan yaitu sebesar 33 mm di titik yang sama dilakukan penelitian.

Kata Kunci: Tol Cisumdawu, Terowongan, Deformasi, Metode Elemen Hingga 2D.

**HIGHWAY TUNNEL ANALYSIS
WITH UMBRELLA GROUTING PROTECTION
USING 2D FINITE ELEMENT METHODS
CASE STUDY TOLL ROAD CISUMDAWU**

**Dendi Yogaswara (NPM: 2015831007)
Adviser: Prof. Ir. Paulus P. Rahardjo., MSCE, Ph. D
Magister of Civil Engineering
Bandung
August 2019**

ABSTRACT

In the construction of the Cisumdawu Toll Road, there will be the construction of the first tunnel for toll roads in Indonesia to be precisely located at Sta. 12 + 600 - Sta. 13 + 100. The total length of the tunnel construction is 472 meters and has a diameter of 14 meters. The geological condition in the tunnel area is a quarter-year volcanic hilly area and has become residual land. Therefore, the construction of the 362 meters main tunnel uses the NATM (New Austrian Tunneling Method) method. The level of difficulty in carrying out tunnels on the ground is largely determined by the stand-up time and ground water level position. The position of the tunnel above the ground water level, stand-up time is determined by the shear strength and tensile strength of the material, while below the ground water level, stand-up time is determined by the permeability value. Land subsidence is due to deformation around the excavation. One additional method for tuning tunnels is the Umbrella Arch Method (UAM). This additional method is used to prevent land subsidence. Umbrella Arch Method (UAM) is a soil strengthening technique where all or part of the support from the tunnel section is placed before starting the excavation. The results of analysis using 2D finite element method show that the tunnel deformation at the point observed is 40 mm and that value is still greater than the deformation obtained based on the results of monitoring the tunnel in the field at 33 mm at the same point conducted research.

Keywords: Cisumdawu Toll Road, Tunnel, Deformation, 2D Finite Element Method.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat dan kasih karunia-Nya sehingga Tesis ini dapat diselesaikan dengan baik dan tepat pada waktunya. Penulisan tesis merupakan persyaratan kurikulum Program Pascasarjana Magister Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan ini bertujuan untuk memberikan bekal kepada mahasiswa dan tambahan pengetahuan untuk kalangan yang bekerja di bidang Geoteknik.

Pada kesempatan ini saya ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Paulus P. Rahardjo., Ph. D. selaku pembimbing tunggal atas bimbingan dan arahnya selama penyusunan dan penulisan tesis ini.
2. Bapak Budijanto Widjaja, Ph. D. atas saran dan masukan saat seminar judul, seminar isi maupun ujian sidang.
3. Bapak Aswin Liem, Ph. D. atas saran dan masukan saat seminar judul, seminar isi maupun ujian sidang.
4. Kedua orang tua saya serta istri saya yang telah membantu dalam memberikan dorongan dan semangat untuk menyelesaikan tesis ini.
5. Keluarga besar Sekolah Tinggi Teknologi Garut, Dr. H. Hilmi Aulawi, M.T. , yang saya hormati, yang telah memberikan kesempatan, kepercayaan dan beasiswa kepada saya selama studi. Tak lupa pula rekan-rekan (Ibu Ida, Bapak Eko, Ibu Athaya, Bapak Subhan, Bapak Sulwan, dan Bapak Kukun, dan lainnya) yang telah banyak membantu dan memberikan dorongan dalam penulisan tesis ini.

6. Keluarga besar PT. Geotechnical Engineering Consultant (GEC) yang telah mengizinkan untuk menggunakan data-data Terowongan Cisumdawu.
7. Keluarga besar PT. Waskita Karya Cisumdawu yang telah banyak memberikan motivasi dan masukan-masukan positif terhadap penulis.
8. Rekan mahasiswa geoteknik yang telah banyak membantu dan memberikan dorongan dalam penulisan tesis ini.

Bila ada kesalahan dalam tesis ini, segala kritik dan saran akan diterima untuk menyempurnakan isi tesis.

Bandung, 16 Agustus 2019

Penulis

Dendi Yogaswara

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
HALAMAN PENGESAHAN	
ABSTRAK	
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 MAKSUD dan TUJUAN PENELITIAN	5
1.3 LINGKUP PENELITIAN	5
1.4 METODE PENELITIAN	6
1.4.1 LOKASI PENELITIAN	6
1.4.2 STUDI LITERATUR	6
1.5 SISTEMATIKA PENELITIAN	6
BAB 2 STUDI LITERATUR	9
2.1 TEORI MEKANIKA KEKUATAN MATERIAL	9
2.1.1 HUBUNGAN TEGANGAN – REGANGAN	9
2.1.2 KRITERIA KERUNTUHAN MOHR-COULOMB	12
2.2 PENENTUAN PARAMETER TANAH	13
2.2.1 PENYELIDIKAN LAPANGAN	15
2.2.2 KORELASI NILAI-NILAI PARAMETER TANAH	16

2.2.3	PENGGUNAAN PARAMETER DRAIN dan UNDRAINED UNTUK TANAH KOHESIF	21
2.2.4	KARAKTERISTIK TANAH	24
2.3	METODE PENGGALIAN TEROWONGAN	25
2.3.1	METODE FULL FACE	25
2.3.2	METODE HEADING dan BENCH	26
2.3.3	METODE DRIFT	27
2.3.3.1	CENTER DRIFT	27
2.3.3.2	SIDE DRIFT	28
2.3.3.3	TOP DRIFT	29
2.3.3.4	BOTTOM DRIFT	30
2.3.4	METODE SUMURAN VERTIKAL	30
2.3.5	METODE PILOT TUNNEL	31
2.4	NEW AUSTRIAN TUNNELING METHOD (NATM)	32
2.5	SISTEM PENYANGGA UNTUK PERKUATAN LINING TEROWONGAN	35
2.5.1	PENYANGGA KAYU	35
2.5.2	PENYANGGA BAJA	36
2.5.3	PENYANGGA BAUT BATUAN	37
2.5.4	BETON SEMPROT	38
2.5.5	PRECAST CONCRETE LINING	39
2.6	GROUTING	40
2.6.1	METODE PELAKSANAAN GROUTING	41
2.6.2	TIPE-TIPE GROUTING dan KEGUNAANNYA	44
2.7	METODE TAMBAHAN	46

2.7.1	METODE TAMBAHAN UNTUK STABILITAS PERMUKAAN KERJA PENGGALIAN	46
2.7.2	METODE TAMBAHAN UNTUK PENGONTROL ALIRAN AIR MASUK	52
2.7.3	METODE TAMBAHAN UNTUK MENCEGAH PENURUNAN MUKA TANAH	55
2.7.4	METODE TAMBAHAN UNTUK PERLINDUNGAN STRUKTUR YANG BERDEKATAN DENGAN TEROWONGAN	60
BAB 3 METODE PENELITIAN		63
3.1	PENDAHULUAN	63
3.2	ALUR PENELITIAN	63
3.3	PLAXIS	65
3.3.1	DEFINISI UMUM STRESS dan STRAIN	65
3.3.2	REGANGAN ELASTIS	67
3.3.3	ANALISIS UNDRAINED DENGAN PARAMETER EFEKTIF PADA PLAXIS	68
3.3.4	MODEL MOHR-COULOMB PADA PLAXIS	69
3.3.5	MODULUS KEKAKUAN PADA PLAXIS	71
3.3.6	POISSON RATIO PADA PLAXIS	72
3.3.7	PARAMETER SUDUT GESER PADA PLAXIS	73
3.3.8	PARAMETER KOHESI PADA PLAXIS	73
BAB 4 STUDI KASUS		75
4.1	DESKRIPSI PROYEK	75
4.2	TINJAUAN GEOLOGI	77
4.2.1	KONDISI GEOLOGI JAWA BARAT	77

4.2.2 KONDISI GEOLOGI DI LOKASI TEROWONGAN	80
4.3 PENYELIDIKAN GEOTEKNIK	81
4.3.1 HASIL UJI SPT	82
4.3.2 HASIL UJI PRESSUREMETER	84
4.4 STRATIGRAFI TANAH DAN PARAMETER	85
4.4.1 PARAMETER TANAH	85
4.4.2 BERAT ISI TANAH LEMPUNG	88
4.4.3 KUAT GESER TANAH LEMPUNG TAK TERDRAINASE ...	88
4.4.4 KUAT GESER TANAH LEMPUNG EFEKTIF	88
4.4.5 SUDUT GESER TANAH LEMPUNG EFEKTIF	90
4.4.6 MODULUS KEKAKUAN TANAH LEMPUNG	90
4.4.7 PARAMETER DESAIN GEOTEKNIK	91
4.5 PEMODELAN TEROWONGAN DENGAN PLAXIS 2D	91
4.6 PEMODELAN TEROWONGAN DENGAN PLAXIS 3D	96
4.7 DISKUSI	115
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	119
3.1 KESIMPULAN	119
3.2 SARAN	120
DAFTAR PUSTAKA	121
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Hubungan Tegangan-Regangan untuk Beberapa Jenis Material .	11
Gambar 2.2 Garis Keruntuhan menurut Mohr dan hukum keruntuhan Mohr-Coulomb ..	13
Gambar 2.3 Alat Uji Standar Penetration Test	15
Gambar 2.4 Alat Uji Pressuremeter Test	16
Gambar 2.5 Hubungan Antara Kohesi dan Nilai N-SPT	17
Gambar 2.6 Korelasi Antara Tahanan Penetrasi Konus dan ϕ	18
Gambar 2.7 Korelasi Antara Friction Angle dan N-SPT	18
Gambar 2.8 Hubungan N-SPT dengan Relatif Density	19
Gambar 2.9 Efek OCR terhadap Kekuatan Tanah Lempung Drained dan Undrained	22
Gambar 2.10 Korelasi Empiris antara ϕ' dan Indeks Plastisitas	23
Gambar 2.11 Metode Heading dan Bench	27
Gambar 2.12 Metode Center Drift	28
Gambar 2.13 Metode Side Drift	29
Gambar 2.14 Metode Top Drift	29
Gambar 2.15 Metode Bottom Drift	30
Gambar 2.16 Metode Sumuran Vertikal	30
Gambar 2.17 Metode Pilot Tunnel	31
Gambar 2.18 Penyangga Kayu di Terowongan	36
Gambar 2.19 Steel Rib	37
Gambar 2.20 Rock Bolt	38

Gambar 2.21 Turap Depan	47
Gambar 2.22 Beton Semprot Permukaan	49
Gambar 2.23 Baut Permukaan Kerja	49
Gambar 2.24 Metode Injeksi	50
Gambar 2.25 Penyangga Baja dengan Sayap-desak	51
Gambar 2.26 Lantai Dasar Sementara Depam Atas	51
Gambar 2.27 Tiang Perkuatan Telapak	52
Gambar 2.28 Kombinasi Penggunaan Drainase Ruang dan Drainase Bor	53
Gambar 2.29 Sumur Titik Terbenam	54
Gambar 2.30 Sistem Sumur Dalam	54
Gambar 2.31 Injeksi (dari dalam terowongan)	55
Gambar 2.32 Atap Pipa Berdiameter Besar	56
Gambar 2.33 Injeksi-tekan-horisontal Tinggi	57
Gambar 2.34 Turap Depan Pipa Baja	59
Gambar 2.35 Contoh Kombinasi Penggunaan Pra-Perkuatan Vertikal dan Injeksi Kimiawi	60
Gambar 2.36 Dinding Halang Rembesan	61
Gambar 3.1 Flowchart Metode Penelitian	64
Gambar 4.1 Peta Jalan Bebas Hambatan Cisumdawu	75
Gambar 4.2 Lokasi Terowongan di Jalan Tol Cisumdawu	76
Gambar 4.3 Metode Galian Terowongan di Jalan Cisumdawu	76
Gambar 4.4 Peta Geologi Tol Cisumdawu	79
Gambar 4.5 Peta Geologi Lokasi Terowongan	81
Gambar 4.6 Stratigrafi Tanah Lokasi Terowongan Kiri	83
Gambar 4.7 Stratigrafi Tanah Lokasi Terowongan Kanan	84

Gambar 4.8 Korelasi Su dengan N-SPT	89
Gambar 4.9 Korelasi Kohesi dengan N-SPT	89
Gambar 4.10 Korelasi Modulus Kekakuan dengan N-SPT	91
Gambar 4.11 Perancangan Terowongan	92
Gambar 4.12 Model Terowongan Yang Digunakan Dalam Penelitian	93
Gambar 4.13 Posisi Muka Air Tanah	93
Gambar 4.14 Tahapan Kontruksi Pada Plaxis	95
Gambar 4.15 Total Displacement Tanah Pada Terowongan	96
Gambar 4.16 Titik Tinjau Untuk Model A	98
Gambar 4.17 Titik Tinjau Untuk Model Tanpa Perkuatan dan Model B	99
Gambar 4.18 Deformasi Yang Terjadi Saat Galian Atas Terowongan 21.6 m Model Tanpa Perkuatan	100
Gambar 4.19 Deformasi Yang Terjadi Saat Galian Atas Terowongan 50.4 m Model Tanpa Perkuatan	100
Gambar 4.20 Deformasi Yang Terjadi Saat Galian Atas Terowongan 79.2 m Model Tanpa Perkuatan	101
Gambar 4.21 Deformasi Yang Terjadi Saat Galian Atas Terowongan 100 m Model Tanpa Perkuatan	102
Gambar 4.22 Grafik Deformasi versus Kedalaman Fase Galian Model Tanpa Perkuatan	104
Gambar 4.23 Deformasi Yang Terjadi Saat Galian Atas Terowongan 12 m Model A	105
Gambar 4.24 Deformasi Yang Terjadi Saat Galian Atas Terowongan 24 m Model A	106
Gambar 4.25 Deformasi Yang Terjadi Saat Galian Atas Terowongan 36 m Model A	106

Gambar 4.26 Deformasi Yang Terjadi Saat Galian Atas Terowongan 48 m Model A	107
Gambar 4.27 Grafik Deformasi versus Kedalaman Fase Galian Model A	109
Gambar 4.28 Deformasi Yang Terjadi Saat Galian Atas Terowongan 12 m Model B	110
Gambar 4.29 Deformasi Yang Terjadi Saat Galian Atas Terowongan 24 m Model B	111
Gambar 4.30 Deformasi Yang Terjadi Saat Galian Atas Terowongan 48 m Model B	111
Gambar 4.31 Deformasi Yang Terjadi Saat Galian Atas Terowongan 100 m Model B	112
Gambar 4.32 Grafik Deformasi versus Kedalaman Fase Galian Model B	115
Gambar 4.33 Titik Monitoring Terowongan	118

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Lokasi dan Panjang Jalan Tol Cisumdawu	1
Tabel 2.1 Metode Investigasi Tanah	14
Tabel 2.2 Korelasi N-SPT dengan Kepadatan Relatif Tanah Non Kohesif	19
Tabel 2.3 Korelasi Nilai N-SPT dengan CPT dengan Modulus Elastisitas	20
Tabel 2.4 Hubungan N-SPT Terhadap Kekuatan Tanah Lempung	21
Tabel 2.5 Kondisi Kritis untuk Stabilitas Lempung Jenuh	23
Tabel 2.6 Klasifikasi Tanah untuk Terowongan	24
Tabel 4.1 Hasil Uji SPT	82
Tabel 4.2 Hasil Uji Pressuremeter	84
Tabel 4.3 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Nilai SPT	85
Tabel 4.4 Nilai Berat Isi Tanah Lempung Untuk Setiap Tipe	88
Tabel 4.5 Nilai Sudut Geser Efektif	90
Tabel 4.6 Parameter Desain Geoteknik	91
Tabel 4.7 Deformasi Yang Terjadi Pada Setiap Fase Galian Model Tanpa Perkuatan	102
Tabel 4.8 Deformasi Yang Terjadi Pada Setiap Fase Galian Model A	108
Tabel 4.9 Deformasi Yang Terjadi Pada Setiap Fase Galian Model B	112

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Teknis Terowongan	122
Lampiran 2. Data Borlog Terowongan.....	133
Lampiran 3. Hasil Pressuremeter.....	182
Lampiran 4. Hasil Plaxis	191

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Jalan Tol Cisumdawu merupakan salah satu proyek strategis nasional, jalan tol ini dibangun dengan panjang \pm 60 kilometer yang merupakan bagian dari Jalan Tol Trans Jawa yang berada di Propinsi Jawa Barat dan menghubungkan daerah Cileunyi-Sumedang dan Cirebon daerah Dawuan atau Jalan Tol Padaleunyi dengan Jalan Tol Palimanan-Kanci dengan keseluruhan mempergunakan lahan seluas 825 ha (Sumber : Wikipedia). Keberadaan jalan tol Cisumdawu ini juga semakin strategis, dengan adanya proyek pembangunan Bandara Internasional Kertajati di daerah Majalengka, Jawa Barat. Adapun lokasi pembangunan jalan Tol Cisumdawu dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 1.1. Lokasi dan Panjang Jalan Tol Cisumdawu

Seksi	Lokasi	Panjang Jalan (km)
I	Cileunyi-Rancakalong	12,025
II	Rancakalong-Sumedang	17,350
III	Sumedang-Cimalaka	3,750
IV	Cimalaka-Legok	7,200
V	Legok-Ujung Jaya	15,900
VI	Ujung Jaya-Dawuan	4,048
	Total	60,273

Sumber : Data Program Pelaksanaan Pembangunan Tol Cisumdawu Kementerian PU 2014

Berdasarkan tabel 1.1 diatas, maka dapat diketahui ruas jalan tol akan dilaksanakan untuk sepanjang 60,273 km yang akan melewati daerah Sumedang yang meliputi seksi I Cileunyi-Rancakalong (12,025 km), seksi II Rancakalong-Sumedang (17,350 km), seksi III Sumedang-Cimalaka (3,750 km), seksi IV Cimalaka-Legok (7,200 km), seksi V Legok-Ujung Jaya (15,900 km) dan seksi VI Ujung Jaya-Dawuan (4,048 km).

Dengan panjang jalan tol mencapai 60,273 km tersebut maka dapat dipastikan infrastruktur jalan dihadapkan dengan karakteristik lokasi proyek yang berbeda-beda sehingga perlu adanya rekayasa teknik mengenai pembangunan jalan tol Cisumdawu ini. Dari sekian banyak rekayasa yang dilakukan, daripada membelah bukit, Pemerintah mencari alternatif lain yakni dengan melakukan penggalian dan membuat terowongan. Kondisi tofografi di ruas tersebut yang terjal dan berbukit-bukitlah yang mendasari dibangunnya terowongan tersebut.

Pembangunan terowongan ini merupakan terowongan dalam tol pertama di Indonesia. Lokasi pembangunan terowongan berada di Sta. 12+600 ~ Sta. 13+200 tepatnya di daerah Cigendel, Kecamatan Pamulihan, Sumedang. Panjang total terowongan 472 meter dengan tahap awal dilakukan konstruksi portal di kedua sisi terowongan dengan metode *cut and cover* dan konstruksi *main tunnel* sepanjang 362 meter dengan metode NATM (*New Austrian Tunneling Methode*). Dimesi terowongan memiliki diameter 14 meter dengan lebar badan jalannya 11 meter dan ketinggian bukit dari permukaan jalan mencapai 40 meter.

Metode NATM (*New Austrian Tunneling Methode*) dipilih pada konstruksi *main tunnel*, karena metode ini lebih cocok untuk lokasi proyek dengan kondisi tanah lunak seperti lokasi Tol Cisumdawu. Pengertian tanah lunak adalah material

yang dapat digali secara manual. Material ini pada umumnya tidak dapat menahan berat sendiri dalam jangka waktu yang panjang. Dalam teknologi terowongan tanah dimasukkan dalam kategori *soft ground*.

Tanah yang kokoh dapat memberikan kondisi yang menguntungkan karena atap terowongan dapat dibiarkan tanpa disokong untuk beberapa waktu. Sebaliknya kondisi tanah yang lembek tidak menguntungkan karena dapat terjadi *squeezing* atau penciutan lubang galian, *raveling* atau tanah yang rontok secara bertahap, *running* atau keruntuhan massa tanah, dan *flowing* atau tanah mengalir karena muka air tanah tinggi dan air cenderung membawa material tanah mengalir ke lubang galian terowongan. Tingkat kesulitan pelaksanaan terowongan pada tanah sangat ditentukan oleh *stand-up time* dan posisi muka air tanah. Posisi terowongan di atas muka air tanah, *stand-up time* ditentukan oleh kuat geser dan kuat tarik material, sedangkan di bawah muka air tanah, *stand-up time* ditentukan oleh nilai permeabilitasnya.

Pembuatan terowongan pada jalan tol ini merupakan salah satu pekerjaan yang mempunyai resiko tinggi terjadinya kegagalan struktur. Penurunan tanah di permukaan adalah akibat deformasi yang disekitar galian dan tergantung cara pelaksanaan, kecepatan penggalian dan tegangan awal pada tanah (*Peck, 1969*).

Beberapa potensi masalah pada konstruksi terowongan diantaranya :

- Penurunan di permukaan tanah akibat adanya galian terowongan
- Masalah dewatering
- Keruntuhan di muka terowongan waktu penggalian
- Pergerakan dari struktur di bawah tanah
- Bocoran pada lining

Berdasarkan potensi-potensi tersebut diatas maka perkuatan terowongan harus direncanakan agar terowongan tidak terjadi kegagalan struktur ataupun untuk perlindungan struktur atau bangunan yang letaknya berdekatan dengan terowongan menjadi stabil. Oleh karena itu, perkuatan terowongan harus dapat bekerja dan terintegrasi dengan media disekitarnya untuk menahan tekanan dan pergerakan yang diakibatkan oleh penggalian terowongan. Perkuatan terowongan standar terdiri dari beton semprot, baut batuan dan perkuatan baja. Untuk perencanaan perkuatan terowongan yang efektif, harus dilakukan analisis terhadap karakteristik masing-masing perkuatan dan penerapan satu jenis perkuatan atau kombinasi. Dimana kondisi tanah permukaan dan struktur bawah tanah lainnya yang dimungkinkan terpengaruh oleh penurunan tanah harus sepenuhnya diselidiki.

Salah satu metode tambahan untuk perkuatan terowongan adalah *Umbrella Arch Method* (UAM). Metode tambahan ini digunakan untuk mencegah penurunan muka tanah. *Umbrella Arch Method* (UAM) adalah teknik penguatan tanah di mana semua atau sebagian dukungan dari bagian terowongan ditempatkan sebelum memulai penggalian. Tujuan dari *Umbrella Arch Method* (UAM) ini adalah untuk membentuk lengkungan seperti cangkang *grouting* atau batu bertulang dan massa tanah di sekitar terowongan. Ada tiga metode berbeda dari *Umbrella Arch Method* (UAM) yaitu :

- *Pipe Roof Method* (Metode Atap Pipa)
- *Sub-horizontal Jet-Grouting Method* (Metode injeksi-tekan-horisontal)
- *Injected Steel Pipe Method* (Metode turap-depan pipa baja)

Penelitian menggunakan data proyek terowongan di pembangunan jalan tol Cisumdawu yang sedang berjalan dilaksanakan. Metode perkuatan terowongan dengan *Umbrella Arch Method* (UAM) masih terbilang baru dilaksanakan di Indonesia, dan menjadikan hal ini merupakan salah satu faktor tersendiri yang menjadi latar belakang dari penelitian ini.

1.2. Maksud dan Tujuan Penelitian

Adapun maksud dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Melakukan kajian dan analisa terowongan dengan pola *Umbrella Arch Method* (UAM) yang dilaksanakan di terowongan jalan tol Cisumdawu,
- Melakukan pemodelan analisa perkuatan terowongan dengan bantuan program finite elemen PLAXIS 2D,

Sedangkan, tujuan dari penelitian ini untuk memperoleh pemahaman lebih lanjut mengenai perilaku *Umbrella Arch Method* (UAM) di Indonesia dan menjadikan salah satu referensi mengenai teknologi terowongan. Sehingga dari penelitian ini didapat pendekatan desain yang efisien dan ekonomis sesuai dengan keadaan di lapangan dan dapat menjadikan penelitian-penelitian lebih lanjut.

1.3. Lingkup Penelitian

Kajian dan analisa terhadap terowongan jalan tol Cisumdawu menggunakan data-data yang peneliti dapatkan dari data teknis terowongan Cisumdawu maupun

dari gambar final design terowongan. Pemodelan dilakukan dengan metode elemen hingga dan menggunakan bantuan program geoteknik PLAXIS 2D. Studi dilakukan pada terowongan jalan tol Cisumdawu yang sedang dikonstruksi. Studi kasus tersebut menggunakan data tanah dan parameter tanah yang sudah ada dan dilakukan oleh jasa penyelidikan tanah lokal.

1.4. Metode Penelitian

1.4.1. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian mengambil area di Sta. 12+600 ~ Sta. 13+200 Tol Cisumdawu, dimana konstruksi terowongan beton bawah tanah dilakukan dengan menggunakan metode NATM (*New Austrian Tunneling Methode*) dengan diameter terowongan sekitar ± 14 m.

1.4.2. Studi Literatur

Penelitian diawali dengan pengumpulan data seperti dengan mengumpulkan literature, data penyelidikan tanah ataupun data pendukung lainnya, gambar final design terowongan, yang berhubungan dengan penelitian ini.

1.5. Sistematika Penulisan

Dalam pembahasan tesis ini, dibagi menjadi bagian-bagian sebagai berikut :

1. Pendahuluan

Berisi mengenai latar belakang masalah, tujuan, ruang lingkup, dan sistematika pembahasan.

2. Studi Literatur

Berisi uraian tentang konsep perancangan terowongan, teori mekanika tanah, serta tinjauan mengenai berbagai metode pelaksanaan. Namun penyajian pada tulisan ini tidak bisa terlalu lengkap untuk mempersingkat tulisan serta keterbatasan referensi.

3. Metode Penelitian

Berisi mengenai penjelasan tentang tahapan yang dilakukan dalam analisis, mulai dari tahap pengumpulan materi-materi yang berhubungan dengan terowongan, beserta metoda dan prinsip yang digunakan di setiap tahap tersebut.

4. Studi Kasus

Berisi permodelan dan analisis terhadap kondisi terowongan yang ditinjau. Analisis dilakukan dengan metode elemen hingga

5. Kesimpulan dan Saran

Berisi kesimpulan dan saran yang didapat dari hasil analisis.

