

**ANALISIS METODE ELEMEN HINGGA 3D  
TEROWONGAN GANDA DENGAN PROTEKSI  
UMBRELLA GROUTING DAN METODE GALIAN  
NATM: STUDI KASUS TEROWONGAN  
CISUMDAWU**

**TESIS**



**Oleh:**

**Wellyanto Wijaya  
8101901036**

**Pembimbing:**

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

**Ko-Pembimbing:**

**Aswin Lim, S.T., MSc.Eng., Ph.D.**

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



**HALAMAN PENGESAHAN**

**ANALISIS METODE ELEMEN HINGGA 3D TEROWONGAN GANDA  
DENGAN PROTEKSI UMBRELLA GROUTING DAN METODE GALIAN  
NATM: STUDI KASUS TEROWONGAN CISUMDAWU**



**Oleh:**

**Wellyanto Wijaya  
8101901036**

**Disetujui Untuk Diajukan Sidang pada Hari/Tanggal:  
Sabtu, 4 September 2021**

**Pembimbing:**

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

**Ko-Pembimbing:**

**Aswin Lim, S.T., MSc.Eng., Ph.D.**

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

## **PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Wellyanto Wijaya

NPM : 8101901036

Program Studi : Teknik Sipil

Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan

Dengan ini menyatakan bahwa tesis saya yang berjudul: Analisis Metode Elemen Hingga 3D Terowongan Ganda Dengan Proteksi Umbrella Grouting dan Metode Galian NATM: Studi Kasus Terowongan Cisumdawu adalah benar-benar karya saya sendiri di bawah bimbingan dosen pembimbing. Saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam karya saya, atau jika ada tuntutan formal atau non formal dari pihak lain berkaitan dengan keaslian karya saya ini, saya siap menanggung segala resiko, akibat, dan/atau sanksi yang dijatuhkan kepada saya, termasuk pembatalan gelar akademik yang saya peroleh dari Universitas Katolik Parahyangan.

Dinyatakan: di Bandung,

Agustus 2021



Wellyanto Wijaya

8101901036



**ANALISIS METODE ELEMEN HINGGA 3D TEROWONGAN GANDA  
DENGAN PROTEKSI UMBRELLA GROUTING DAN METODE GALIAN  
NATM: STUDI KASUS TEROWONGAN CISUMDAWU**

**Wellyanto Wijaya (NPM: 8101901036)**  
**Pembimbing: Prof. Paulus Pramono Rahardjo, Ir., MSCE., Ph.D.**  
**Ko-Pembimbing: Aswin Lim, S.T., MSc.Eng., Ph.D.**  
**Magister Teknik Sipil**  
**Bandung**  
**September 2021**

**ABSTRAK**

Terowongan Cisumdawu merupakan terowongan jalan tol pertama di Indonesia dengan panjang 472m. Terowongan tersebut merupakan *twin tunnel* dimana terdapat dua terowongan bersebelahan. Sistem proteksi yang digunakan adalah *umbrella grouting* dengan metode galian NATM. Pemilihan metode galian dan sistem proteksi dikarenakan terowongan termasuk jenis terowongan tanah lunak yang memiliki *stand-up time* rendah. Analisis deformasi terowongan menggunakan metode elemen hingga 3D dengan bantuan program Midas GTS-NX diharapkan dapat menggambarkan deformasi terowongan yang terjadi akibat konstruksi galian di lapangan. Analisis dilakukan dalam dua pemodelan yaitu *single tunnel* dan *twin tunnel* untuk mengetahui pengaruh dari konstruksi *twin tunnel* terhadap deformasi terowongan dan penurunan tanah permukaan. Tahapan konstruksi dan sistem proteksi dalam pemodelan disesuaikan dengan konstruksi di lapangan. Parameter tanah dalam analisis diambil berdasarkan data Pressuremeter dan pengeboran yang dilakukan. Hasil analisis 3D *twin tunnel* menunjukkan deformasi maksimum sebesar 3.3 & 4.4 cm sedangkan hasil aktual monitoring sebesar 3.3 & 4.3 cm diukur mengikuti pembacaan monitoring. Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa pemodelan analisis 3D FEM dengan parameter dari PMT menunjukkan hasil yang menggambarkan kondisi deformasi aktual di lapangan. Berdasarkan kajian yang telah dilakukan pada studi tersebut, konstruksi terowongan bersebelahan meningkatkan deformasi lateral terowongan (+40%) dan penurunan permukaan (+61%) jika dibandingkan dengan konstruksi *single tunnel*.

Kata Kunci: Twin Tunnel, NATM, Umbrella Grouting, Midas 3D, PMT



**3D FINITE ELEMENT ANALYSIS OF TWIN TUNNEL WITH  
UMBRELLA GROUTING PROTECTION & NATM EXCAVATION  
METHOD: CASE STUDY CISUMDAWU TUNNEL**

**Wellyanto Wijaya (NPM: 8101901036)**  
**Advisor: Prof. Paulus Pramono Rahardjo, Ir., MSCE., Ph.D.**  
**Co-Advisor: Aswin Lim, S.T., MSc.Eng., Ph.D.**  
**Magister of Civil Engineering**  
**Bandung**  
**September 2021**

**ABSTRACT**

Cisumdawu Tunnel is the first toll road tunnel in Indonesia. There is two adjacent tunnels with 472m long in this study. The protection used is umbrella grouting with NATM excavation method. The reason for choosing this protection is because the tunnel is classified as a soft ground tunnel that has a low stand-up time. Deformation analysis using 3D FEM with program Midas GTS-NX is expected to represent the actual deformation that occurs. There is two analysis in this study which is single tunnel and twin tunnel, to know the effect of twin adjacent tunnel construction towards tunnel deformation and ground settlement. The construction stage and the protection system are adjusted with actual construction. Analysis parameter used based on the pressuremeter test and drilling. The result of twin tunnel analysis shows the maximum of roof settlement is 3.3 & 4.4 cm where the monitoring results maximum roof settlement is 3.3 cm & 4.3 cm. From the result, it can be said that 3D FEM modeling using parameters from PMT gives represent actual condition. Based on this studies that have been carried out, adjacent tunnel construction increases the lateral tunnel deformation (+40%) and surface settlement (+61%) when compared to single tunnel construction.

Keywords: Twin Tunnel, NATM, Umbrella Grouting, Midas 3D, PMT





## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kepada Tuhan yang Maha Esa atas berkat rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan tesis dengan judul Analisis Metode Elemen Hingga 3D Terowongan Ganda Dengan Proteksi Umbrella Grouting dan Metode Galian NATM Studi Kasus Terowongan Cisumdawu. Tesis tersebut merupakan salah satu syarat lulus program magister di program studi teknik sipil, fakultas teknik, Universitas Katolik Parahyangan.

Penyelesaian tesis tersebut tidak terlepas dari bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak dalam menyelesaikan masalah-masalah yang ada. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dan memberi dukungan dalam proses pengerjaan tesis ini, yaitu:

1. Orang tua dan saudara-saudara kandung penulis atas dukungan, doa, dan semangat yang selalu diberikan kepada penulis.
2. Bapak Prof. Paulus Pramono Rahardjo, Ph.D., selaku dosen pembimbing yang selalu membimbing dan memberikan masukan kepada penulis selama proses penulisan tesis.
3. Bapak Aswin Lim, Ph.D., selaku Ko-Pembimbing yang selalu memberikan saran dan masukan dalam penulisan tesis ini.
4. Seluruh dosen dan staff pengajar KBI Geoteknik Universitas Katolik Parahyangan selaku dosen penguji atas segala masukan, kritik, dan saran terhadap tesis tersebut.
5. Seluruh staff PT. Geotechnical Engineering Consultant yang telah membantu dalam memberikan data dan masukan yang sangat bermanfaat kepada penulis,
6. Rocky Mountainhia, Vincent, Yohanes, Yonathan, Dea, Kefas selaku teman yang telah berjuang bersama penulis dan memberikan semangat dari awal hingga akhir proses penulisan tesis.
7. Sharen Nathania selaku rekan yang selalu memberikan masukan selama proses penulisan tesis.

ii

8. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu yang telah membantu secara langsung maupun tidak langsung dalam penulisan tesis tersebut.

Penulis menyadari dalam penulisan tesis ini masih terdapat kekurangan dan ketidaksempurnaan. Oleh karena itu, penulis dengan senang hati bersedia menerima kritik dan saran yang membangun. Semoga tesis ini dapat menambah wawasan bagi pembaca, terima kasih.

Bandung, Agustus 2021

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Wellyanto Wijaya', written in a cursive style.

Wellyanto Wijaya

8101901036

## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iii
<b>DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN</b> .....	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	ix
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xv
<b>BAB 1</b> .....	1
<b>PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Maksud dan Tujuan Penelitian .....	3
1.3. Lingkup Penelitian.....	4
1.4. Metode Penelitian .....	4
1.4.1. Lokasi Studi .....	4
1.4.2. Studi Literatur .....	4
1.4.3. Pengumpulan data.....	5
1.4.4. Analisis Terowongan dan Verfikasi.....	5
1.4.5. Membandingkan Analisis <i>Single Tunnel</i> dan <i>Twin Tunnel</i> .....	5
1.5. Sistematika Penulisan.....	5
1.6. Diagram Alir .....	7
<b>BAB 2</b> .....	9
<b>STUDI LITERATUR</b> .....	9
2.1. Karakteristik Tanah Vulkanik .....	9
2.1.1. Formasi Tanah Lempung Vulkanik Alofan.....	9
2.1.2. Ukuran Partikel, Kadar Air, Angka Pori, dan Batas Atterberg.....	10
2.1.3. Kompresibilitas dan Karaktersitik Konsolidasi .....	11
2.1.4. Karakteristik Kekuatan Tanah Lempung Vulkanik Alofan.....	12
2.1.5. Perilaku Kompaksi Tanah Lempung Vulkanik Alofan .....	13
2.2. Penyelidikan Geoteknik Konstruksi Terowongan.....	14
2.2.1. Pemboran Teknik & <i>Standard Penetration Test</i> (SPT).....	14

2.2.2. <i>Pressuremeter Test (PMT)</i> .....	16
2.3. <b>Metode Konstruksi Terowongan</b> .....	18
2.3.1. <i>Cut-and-Cover Tunnels</i> .....	19
2.3.2. <i>New Austrian Tunnelling Method (NATM)</i> .....	19
2.4. <b>Sistem Proteksi Terowongan <i>Umbrella Grouting</i> dan Konstruksi Lining</b> .....	24
2.4.1. <i>Umbrella Grouting</i> .....	24
2.4.2. <i>Sprayed Concrete Lining (Shotcrete)</i> .....	27
2.5. <b>Monitoring Selama Operasi NATM</b> .....	27
2.5.1. <b>Pengukuran Deformasi</b> .....	27
2.5.2. <b>Interpretasi Hasil Pengukuran</b> .....	28
2.5.2.1. <i>Displacement</i> .....	28
2.5.2.2. <b>Perbandingan Hasil Pengamatan</b> .....	29
2.5.2.3. <b>Deformasi</b> .....	30
2.5.2.4. <b>Frekuensi Monitoring dan Durasi</b> .....	31
2.6. <b>Tegangan yang Bekerja Pada Terowongan</b> .....	31
2.7. <b>Pertimbangan Geologi Dalam Perencanaan dan Konstruksi Terowongan</b> .....	33
2.8. <b>Sistem Aliran Udara Buatan (Ventilasi)</b> .....	34
2.8.1. <b>Persyaratan Ventilasi</b> .....	34
2.8.2. <b>Kualitas Udara Di dalam Terowongan</b> .....	34
2.8.3. <b>Sistem Ventilasi</b> .....	35
2.9. <b>Penelitian Terdahulu</b> .....	36
2.9.1. <b>Penggunaan NATM Pada Batuan Lemah (Aygar, 2020)</b> .....	36
2.9.2. <b>Deformasi Terowongan Dengan Penggunaan <i>Umbrella Grouting</i> and <i>Facebolt</i> (Aksoy, 2010)</b> .....	37
2.9.3. <b>Analisis Terowongan Dengan Proteksi <i>Umbrella Grouting</i> Menggunakan Metode Elemen Hingga 2D (Yogaswara, 2019)</b> .....	37
2.9.4. <b>Pengaruh Karakteristik Pipa <i>Umbrella Arch</i> Terhadap Penurunan Tanah (Morovatdar, 2020)</b> .....	38
2.9.5. <b>Mengontrol Penurunan Permukaan Dengan UAM Saat Galian (Ocak 2008)</b> .....	38

2.9.6. Penurunan Permukaan Tanah Akibat Konstruksi <i>Twin Tunnel</i> Dengan Metode NATM (Agbay, 2019) .....	40
2.9.7. Kesimpulan Penelitian Terdahulu .....	41
<b>BAB 3</b> .....	<b>43</b>
<b>METODE PENELITIAN</b> .....	<b>43</b>
3.1. Lokasi Studi.....	43
3.2. Penentuan Parameter Tanah.....	43
3.3. Pemodelan Metode Elemen Hingga 3D – Midas GTS-NX.....	49
3.3.1. Definisi Umum Tegangan-Regangan.....	51
3.3.2. Prinsip Umum Metode Elemen Hingga .....	52
3.3.3. <i>Mohr-Coulomb Soil Model</i> pada Midas GTS-NX .....	53
3.4. Hasil Monitoring.....	55
3.5. Perbandingan Hasil Analisis.....	56
<b>BAB 4</b> .....	<b>59</b>
<b>STUDI KASUS &amp; ANALISIS TEROWONGAN CISUMDAWU</b> .....	<b>59</b>
4.1. Deskripsi Studi Kasus.....	59
4.2. Kajian Geologi dan Kegempaan Terowongan .....	61
4.2.1. Kondisi Geologi.....	61
4.2.2. Tinjauan Kegempaan Lokasi Studi .....	61
4.2.3. Tinjauan Geologi Lokasi Studi.....	64
4.3. Kondisi Tanah & Penyelidikan Tanah .....	67
4.3.1. Kondisi Tanah Permukaan.....	67
4.3.2. Hasil Uji Pemboran & SPT .....	68
4.3.3. Hasil Uji Pressuremeter .....	71
4.3.4. Hasil Uji Laboratorium .....	73
4.3.5. Penentuan Parameter Tanah.....	77
4.4. Analisis Deformasi Terowongan.....	78
4.4.1. Metode Analisa dan Pemodelan .....	78

4.4.2. Tahapan Konstruksi.....	82
4.4.3. Hasil Analisis Terowongan.....	87
4.5. Instrumentasi dan Monitoring Geoteknik.....	90
4.6. Verifikasi Hasil Analisis.....	92
4.7. Perbandingan Analisis <i>Single Tunnel</i> dan <i>Twin Tunnel</i> .....	94
<b>BAB 5</b> .....	96
<b>KESIMPULAN &amp; SARAN</b> .....	96
5.1. Kesimpulan.....	96
5.2. Saran.....	97
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	98
<b>LAMPIRAN 1: Hasil Uji SPT</b> .....	103
<b>LAMPIRAN 2 :Hasil Uji Pressuremeter</b> .....	153
<b>LAMPIRAN 3 Data Hasil Monitoring (STA 12 +700 &amp; STA 12+705)</b> .....	163

## DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

3D	= 3 Dimensi
c	= Kohesi
Cc	= Compression Index
Cs	= Swelling Index
Ctc.	= Center to center
Cv	= Koefisien konsolidasi
e	= Angka Pori
Em	= Menard Modulus
Eur	= Unloading-reloading Modulus
K <sub>o</sub>	= Koefisien tekanan tanah at rest
LI	= Liquidity Index
MH	= Silt High Plasticity
MIDAS GTS-NX	= Midas Geo-Technical analysis System New eXperience
m <sub>v</sub>	= Coefficient of volume compressibility
NATM	= New Austrian Tunneling Method
NC	= Normally Consolidated
OC	= Overly Consolidated
P <sub>L</sub>	= Limit Pressure
PMT	= Presseuremeter Test
P <sub>y</sub>	= Yield Pressure
Q <sub>yu</sub>	= Hasil gunung api muda tak teruraikan
SNI	= Standar Nasional Indonesia
SPT	= Standard Penetration Test
Su	= Undrained Shear Strength
Triaxial CU	= Triaxial Consolidated Undrained
UAM	= Umbrella Arch Method



viii

$V$	= Volume
$\varepsilon$	= Regangan
$\gamma$	= Berat isi Tanah
$\phi$	= Sudut Geser Dalam
$\sigma$	=Tegangan tanah
$\nu$	= Poisson Ratio

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. <i>Twin Tunnel Cisumdawu (Pikiran-Rakyat.com, 2020)</i> .....	2
Gambar 1.2. Diagram Alir Penelitian .....	7
Gambar 2.1. <i>Atterberg limits</i> dari Tanah Vulkanik Alofan (Wesley, 1973).....	10
Gambar 2.2. Tipikal Hasil Uji Odometer Tanah Lempung Vulkanik Alofan (Wesley, 1973)	11
Gambar 2.3. Rangkuman Hasil Disipasir Air Pori Tanah Lempung Vulkanik Alofan (Wesley, 1973).....	12
Gambar 2.4. Kuat Geser Tanah Efektif Untuk Tanah Lempung Vulkanik Alofan (Wesley, 1973).....	13
Gambar 2.5. Contoh Penentuan Lokasi Bor Pada Konstruksi Terowongan (Chapman 2010)	15
Gambar 2.6. <i>Diagrammatic Sketch of The Mennard Pressuremeter</i> (Gibson & Anderson 1961) .....	17
Gambar 2.7. Kurva Tekanan Terhadap Perubahan Volume (Penyelidikan geoteknik dengan uji In-Situ 2008) .....	18
Gambar 2.8. Contoh Gambar Potongan Konstruksi Terowongan Menggunakan NATM (Chapman 2010).....	22
Gambar 2.9. Konstruksi Terowongan Menggunakan NATM (Chapman 2010) .....	23
Gambar 2.10. Ilustrasi Penggunaan Umbrella Grouting (Chapman 2010).....	24
Gambar 2.11. Sketsa <i>Umbrella Arch Method</i> (UAM).....	25
Gambar 2.12. Prinsip kerja jet grouting.....	26
Gambar 2.13. Ilustrasi alat jet grouting .....	26
Gambar 2.14. Contoh Titik-Titik monitoring a) <i>Crown</i> b) <i>Double Track Tunnel Excavated With Side Wall Drifts</i> (Chapman 2010).....	28
Gambar 2.15. Tipe-Tipe Deformasi Lining Terowongan (Rokahr et. al. 2002).....	30
Gambar 2.16. Rekomendasi Terzaghi Untuk Beban Yang Bekerja Di Lining erowongan (Terzaghi, 1946) .....	32
Gambar 2.17. Titik-Titik monitoring (Ocak, 2005).....	39
Gambar 2.18. Kondisi Lapangan Area Akhir Terowongan (STA 13+050) .....	68
Gambar 3.1. Korelasi Nilai $\phi'$ terhadap PI (Bjerrum dan Simons, 1960) .....	47
Gambar 3.2. Sistem Koodinat Program Midas GTS-NX .....	50
Gambar 3.3. Perilaku Material dari Model <i>Mohr-Coulomb</i> .....	53

Gambar 3.4. <i>Mohr-Coulomb Failure envelope (Drained/Undrained)</i> .....	55
Gambar 3.5. Titik Pembacaan Monitoring .....	56
Gambar 4.1. Lokasi DED Terowongan Cisumdawu .....	60
Gambar 4.2. Lokasi Studi (Sumber: Google Earth, 2021).....	67
Gambar 4.3. Profil Rencana Terowongan (Sumber: Direktorat Jendral Bina Marga, 2018) ..	67
Gambar 4.4. Lokasi Pemboran Terhadap Profil Terowongan (Sumber: PT. GEC, 2013) .....	69
Gambar 4.5. Stratifikasi Tanah Area Terowongan (PT. GEC, 2013).....	70
Gambar 4.6. Tipikal Hasil Uji Pressuremeter (BH-02: 18 – 19m) .....	71
Gambar 4.7. Korelasi Parameter PMT terhadap Nilai N-SPT.....	73
Gambar 4.8. Distribusi Berat isi Tanah dan Angka Pori terhadap kedalaman .....	74
Gambar 4.9. Jenis tanah berdasarkan Casagrande <i>Plasticity Chart</i> .....	74
Gambar 4.10. Hasil uji <i>Atterberg Limit</i> terhadap kedalaman .....	75
Gambar 4.11. Hasil Uji Triaxial CU terhadap kedalaman.....	76
Gambar 4.12. Korelasi kuat geser tanah tak teralir ( $S_u$ ) terhadap N-SPT.....	76
Gambar 4.13. Korelasi nilai $\phi'$ terhadap PI (Bjerrum dan Simons, 1960) .....	77
Gambar 4.14. Kondisi Geologi Lokasi Studi (Sumber: Peta Geologi Lembar Jawa, P.H. Silitonga, 1973) .....	61
Gambar 4.15. Peta Percepatan Gempa Probalitas 2% Periode Ulang 50 tahun (Sumber: Kementrian Pekerjaan Umum) .....	63
Gambar 4.16. Percepatan Gempa Terowongan Cisumdawu (Sumber: Puskim.pu.go.id).....	63
Gambar 4.17. Zona Fisiografi Jawa Barat (Sumber: Van Bammelen, 1949).....	64
Gambar 4.18. Geometri Terowongan Cisumdawu (Sumber: PT. GEC, 2013) .....	79
Gambar 4.19. Sketsa Sistem Proteksi Terowongan .....	80
Gambar 4.20. Pemodelan 3D kondisi eksisting (STA 12 + 750 – STA 12 + 660).....	81
Gambar 4.21. Pemodelan 3D <i>Twin Tunnel</i> Cisumdawu.....	81
Gambar 4.22. Pemodelan <i>Ground Support</i> .....	82
Gambar 4.23. Tahapan galian Terowongan Cisumdawu.....	83
Gambar 4.24. Tahap Pemasangan Pipa Baja dan Umbrella Grouting.....	83
Gambar 4.25. Galian tahap 1 (9 m).....	84
Gambar 4.26. Pemasangan Pipa Baja dan Umbrella Grouting (2) .....	84
Gambar 4.27. Galian tahap 1 (9 – 18 m), tahap 2,3,6-1 (0 – 9m).....	84
Gambar 4.28. Pemasangan Pipa Baja dan Umbrella Grouting (3) .....	85

Gambar 4.29. Galian tahap 1 (18 – 27 m), tahap 2,3,6-1 (9 – 18m), Tahapan 4,5,6-2 (0 – 9m) tiap 1 m.....	85
Gambar 4.30. Pemasangan Pipa Baja dan Umbrella Grouting (4) .....	85
Gambar 4.31. Galian Tahapan 1 (27m – 36m), Tahapan 2,3,6-1 (18 – 27m), Tahapan 4,5,6-2 (9 – 18m), Tahapan 6-3 (0 -9m) setiap 1 m.....	86
Gambar 4.32. Pemasangan Pipa Baja dan Umbrella Grouting (5) .....	86
Gambar 4.33. Displacement terowongan arah Z analisis <i>twin tunnel</i> .....	87
Gambar 4.34. Displacement terowongan arah X analisis <i>twin tunnel</i> .....	88
Gambar 4.35. Kontur Total Displacement Hasil Analisis <i>Twin Tunnel</i> .....	88
Gambar 4.36. Displacement terowongan arah Z analisis <i>single tunnel</i> .....	89
Gambar 4.37. Displacement terowongan arah x analisis <i>single tunnel</i> .....	89
Gambar 4.38. Kontur Total Displacement Hasil Analisis <i>Single Tunnel</i> .....	90
Gambar 4.39. Lokasi titik Monitoring Pemodelan 3 Dimensi.....	91
Gambar 4.40. Hasil Monitoring <i>Roof Settlement</i> STA. 12+700 .....	91
Gambar 4.41. Hasil Monitoring <i>Roof Settlement</i> STA. 12+705 .....	92
Gambar 4.42. Komparasi 3D Analisis dengan Data Monitoring STA 12+700.....	93
Gambar 4.43. Komparasi 3D Analisis dengan Data Monitoring STA 12+705 .....	93



## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Panduan dalam Memperkirakan Nilai <i>Undrained Shear Strength</i> (after Briaud, 1992).....	44
Tabel 3.2. Korelasi parameter PMT dengan kuat geser tanah lempung (Amar &Jezequel, 1972).....	45
Tabel 3.3. Kohesi dan Sudut Geser Dalam Efekif Tanah Lempung NC (Look, 2007) .....	45
Tabel 3.4. Sudut Geser Dalam Efekif Tanah Pasir (Kulhawy & Mayne, 1990).....	46
Tabel 3.5. Ratio antara $E_m$ dan $E_{oed}$ untuk tanah terkonsolidasi normal (Menard & Rousseau, 1962) .....	48
Tabel 3.6. Nilai Possoin Ratio ( $v'$ ) (Muni Budhu 2015) .....	48
Tabel 3.7. Korelasi nilai $\gamma_{sat}$ dan $\gamma_d$ (Look, 2007) .....	49
Tabel 4.1. Hasil Uji PMT Terowongan Cisumdawu .....	72
Tabel 4.2. Resume Parameter Geoteknik.....	78
Tabel 4.3. Pemodelan Material Analisis .....	82
Tabel 4.4. Rangkuman Hasil Analisis.....	94



## **DAFTAR LAMPIRAN**

<b>LAMPIRAN 1: Hasil Uji SPT .....</b>	<b>103</b>
<b>LAMPIRAN 2: Hasil Uji Pressuremeter .....</b>	<b>153</b>
<b>LAMPIRAN 3: Data Hasil Monitoring (STA 12 +700 &amp; STA 12+705) .....</b>	<b>163</b>





# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Saat ini, pemerintah mengharapkan adanya inovasi baru melalui pemanfaatan teknologi konstruksi terowongan. Kondisi geologi dan topografi Indonesia yang beragam mulai dari dataran rendah, perbukitan maupun pegunungan menjadi tantangan sendiri dalam konstruksi terowongan. Salah satu jenis terowongan yang paling sering digunakan adalah terowongan jalan raya. Terowongan jalan raya yang sedang dikonstruksi di Indonesia salah satunya adalah terowongan Cisumdawu dan merupakan terowongan jalan tol pertama di Indonesia.

Terowongan Cisumdawu merupakan bagian dari ruas Tol Cileunyi-Sumedang-Dawuan (Cisumdawu) dengan panjang terowongan 472 meter dan diameter 14 meter yang berlokasi di Cilengser, Sumedang, Jawa Barat. Jalan Tol Cisumdawu dibangun dengan panjang  $\pm$  60 km. Pembangunan terowongan Cisumdawu dapat memangkas waktu tempuh, mereduksi konsumsi bahan bakar, polusi dan diharapkan dapat mengurangi biaya pemeliharaan jalan nasional. Dalam perencanaannya, pembangunan jalan tol tersebut dihadapkan dengan karakteristik tanah yang berbeda-beda sehingga diperlukan perencanaan yang disesuaikan dengan kondisi tanah.

Pada Sta. 12+628 – Sta.13+100, terdapat perbukitan dalam rencana awal alur ruas jalan yang akan dibangun. Beberapa alternatif diajukan seperti mengubah alur ruas jalan rencana ataupun dengan menggunakan rekayasa geoteknik yaitu menggali dan membangun terowongan membelah bukit yang ada. Oleh karena itu, dengan kondisi tanah yang berbeda-beda di sepanjang area yang akan digali dan dibangun terowongan, diperlukan metode konstruksi dan analisis yang memadai. Pembangunan terowongan tersebut menggunakan metode *New Austrian Tunneling Method* (NATM). Metode tersebut dinilai merupakan metode yang sangat cocok

untuk kondisi tanah pada terowongan tersebut, dimana berdasarkan kondisi tanahnya terowongan tersebut termasuk jenis terowongan tanah lunak (*Soft Ground Tunnel*). Jenis tanah tersebut cenderung mengalami keruntuhan saat proses penggalian berlangsung, sehingga dibutuhkan dinding atau atap yang kuat sebelum proses penggalian (Rahardjo, 2004). Terowongan tersebut merupakan *twin tunnel* dimana terdapat dua terowongan bersebelahan satu sama lain (Gambar 1.1) Pembangunan *twin tunnel* bersebelahan satu sama lain mengakibatkan adanya efek interaksi antar terowongan saat galian dilakukan berupa deformasi terowongan dan penurunan permukaan tanah yang lebih besar (Pedro et al, 2018). Oleh karena itu, struktur penyangga harus mampu mengurangi deformasi akibat penggalian terowongan tersebut maupun akibat penggalian terowongan di sebelahnya.



Gambar 1.1. *Twin Tunnel Cisumdawu (Pikiran-Rakyat.com, 2020)*

Perencanaan struktur penyangga terowongan sangat dibutuhkan sebelum proses penggalian berlangsung dikarenakan material tanah di sekitar terowongan memiliki *stand-up time* yang rendah sehingga diperlukan struktur penyangga. Sistem proteksi terowongan sangat dipengaruhi oleh *stand-up time* (Schuerch et al, 2016). Penurunan tanah permukaan pada saat konstruksi terowongan diakibatkan oleh adanya deformasi pada area terowongan, hal ini sangat bergantung pada metode konstruksi, kecepatan penggalian, dan tegangan awal tanah (Peck, 1969). Masalah lain yang mungkin terjadi pada konstruksi terowongan seperti masalah dewatering, keruntuhan di muka terowongan saat penggalian, dan bocoran pada lining sehingga diperlukan metode dan sistem proteksi yang tepat agar kegagalan struktur dan stabilitas terowongan dapat dihindarkan (Dastjerdi, 2013).

Sistem perkuatan terowongan yang digunakan pada terowongan tersebut adalah *Umbrella Arch Method* (UAM). Penggunaan perkuatan UAM dapat mengurangi deformasi yang terjadi di terowongan dan penurunan permukaan akibat galian pada terowongan (Ranjibarnia et al, 2017). Konstruksi *Umbrella Arch Method* dilakukan dengan membuat lengkungan seperti cangkang melalui pipa yang di-*grouting* di sekeliling terowongan sebelum galian dilakukan untuk mencegah keruntuhan akibat galian terjadi.

Deformasi terowongan akibat konstruksi galian *twin tunnel* menggunakan metode NATM dan proteksi UAM menjadi latar penelitian tersebut. Pemodelan 3D metode elemen hingga menggunakan bantuan program MIDAS GTS-NX diharapkan dapat menggambarkan fase konstruksi dan deformasi yang terjadi di lapangan. Pengaruh dari konstruksi *twin tunnel* terhadap deformasi dan penurunan tanah permukaan akan dikaji dan dibandingkan dengan konstruksi *single tunnel* pada penelitian tersebut.

## **1.2. Maksud dan Tujuan Penelitian**

Maksud dari penelitian tersebut adalah untuk menganalisis deformasi terowongan dengan menggunakan perkuatan *Umbrella Arch Method* (UAM). Penelitian dilakukan dengan menggunakan data terowongan Cisumdawu dengan parameter tanah berdasarkan data *Pressuremeter Test* (PMT). Data monitoring digunakan sebagai verifikasi hasil analisis yang dilakukan. Analisis dilakukan dengan menggunakan model tiga dimensi menggunakan program komputer elemen hingga MIDAS GTS-NX. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui deformasi terowongan dengan perkuatan UAM akibat konstruksi galian terowongan, mengetahui efek dari konstruksi *twin tunnel* terhadap deformasi dan penurunan tanah permukaan dibandingkan dengan konstruksi *single tunnel*, dan mengetahui keandalan parameter dari data PMT untuk keperluan analisis terowongan. Hal ini

diharapkan dapat membantu perkembangan teknologi konstruksi terowongan di Indonesia.

### **1.3. Lingkup Penelitian**

Dalam mencapai tujuan penelitian tersebut, lingkup penelitian sebagai berikut:

1. Studi literatur mengenai konstruksi terowongan dengan *New Austrian Tunneling Method* dan sistem perkuatan *Umbrella Arch Method* (UAM);
2. Data yang digunakan dalam penelitian merupakan data sekunder dari Terowongan Cisumdawu;
3. Penentuan parameter tanah yang digunakan dalam analisis berdasarkan hasil uji lapangan berupa data bor dan *Pressuremeter Test* (PMT);
4. Pemodelan tiga dimensi dan analisis numerik terowongan menggunakan bantuan program komputer MIDAS GTS-NX.
5. Mengkaji deformasi yang didapatkan dari hasil analisis numerik dan pengukuran di lapangan.

### **1.4. Metode Penelitian**

Metode penelitian yang digunakan dalam studi tersebut terdiri atas lokasi studi, studi literatur, pengumpulan data, analisis terowongan dan verifikasi.

#### **1.4.1. Lokasi Studi**

Studi penelitian tersebut merupakan terowongan Cisumdawu yang berlokasi di Cilengser, Sumedang, Jawa Barat, yang merupakan bagian dari jalan Tol Cisumdawu tepatnya pada Sta. 12+628 – Sta. 13+100. Terowongan Cisumdawu dibangun dengan diameter 14 m dan panjang 472 m.

#### **1.4.2. Studi Literatur**

Pembelajaran mengenai *New Austrian Tunneling Method* (NATM) dan *Umbrella Arch Method* (UAM) dari beberapa literatur seperti *textbooks*, jurnal,

penelitian terdahulu, dan tesis terdahulu yang relevan. Sebagai acuan penelitian tersebut.

#### **1.4.3. Pengumpulan data**

Data yang digunakan merupakan data sekunder, seperti hasil SPT, geometri terowongan, dan desain perkuatan yang dilakukan.

#### **1.4.4. Analisis Terowongan dan Verifikasi**

Pemodelan terowongan tiga dimensi menggunakan bantuan program MIDAS GTS-NX. Hasil deformasi yang didapatkan dari program tersebut kemudian akan dibandingkan dengan hasil pengukuran deformasi hasil monitoring di lapangan.

#### **1.4.5. Membandingkan Analisis *Single Tunnel* dan *Twin Tunnel***

Deformasi dan penurunan permukaan tanah hasil analisis *single tunnel* akan dibandingkan dengan hasil analisis *twin tunnel*.

### **1.5. Sistematika Penulisan**

Penelitian tersebut dibagi menjadi lima bab utama antara lain:

#### **BAB 1 PENDAHULUAN**

Bab ini akan membahas mengenai latar belakang masalah, maksud dan tujuan penelitian, lingkup penelitian, metode penelitian, dan sistematika penulisan.

#### **BAB 2 STUDI LITERATUR**

Bab ini membahas mengenai teori-teori dan landasan yang berhubungan dengan konstruksi terowongan, *New Austrian Tunneling Method* (NATM), dan *Umbrella*

*Arch Method* (UAM) yang diambil dari jurnal, buku, dan karya ilmiah yang berkaitan.

### BAB 3 METODE ANALISIS

Bab ini membahas mengenai metode-metode yang digunakan dalam penelitian tersebut, seperti lokasi studi, pengumpulan data, analisis terowongan, verifikasi hasil deformasi terowongan terhadap pengukuran di lapangan, Perbandingan hasil analisis *single tunnel & twin tunnel*.

### BAB 4 STUDI KASUS DAN PEMBAHASAN

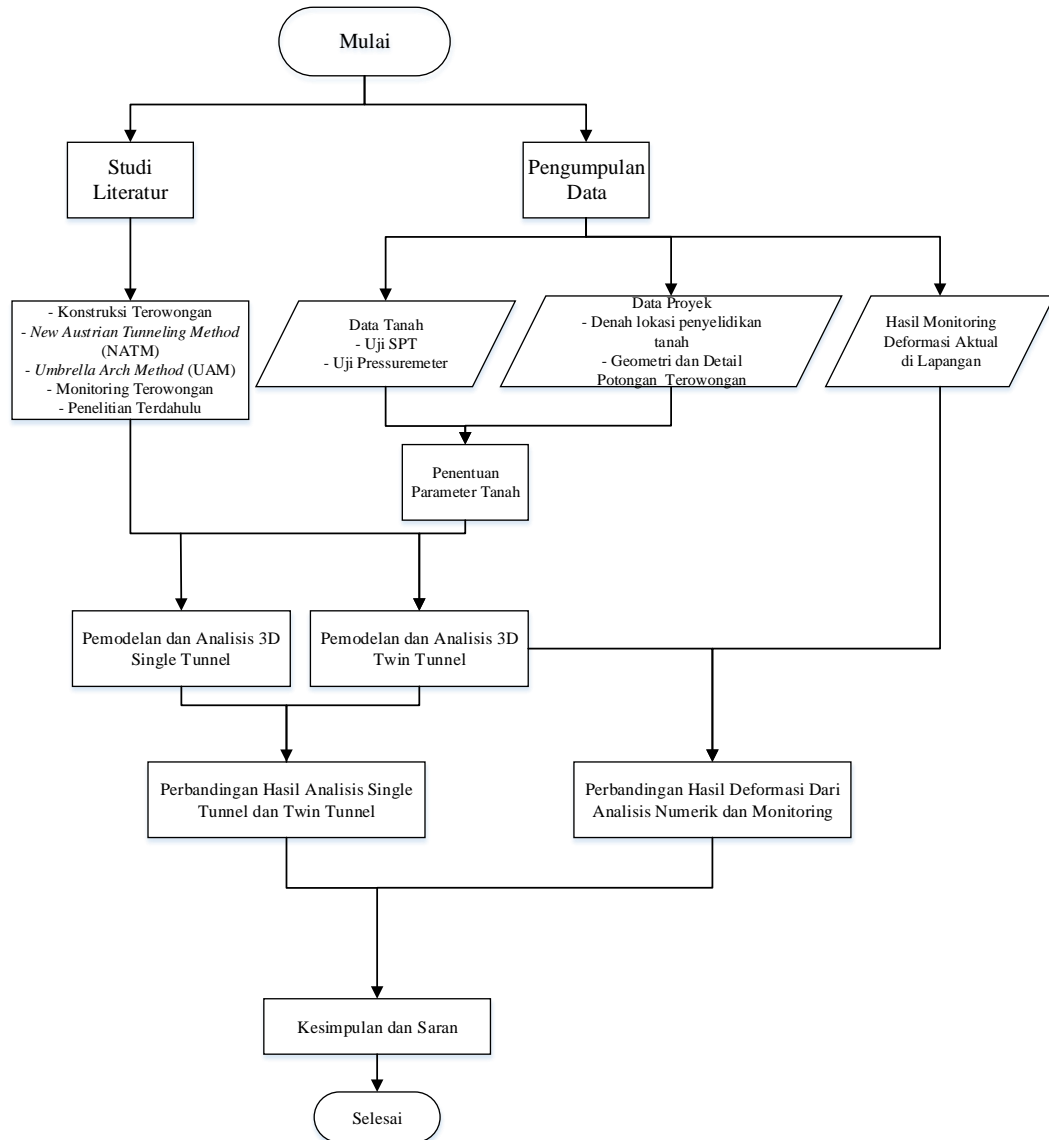
Bab ini berisi pemodelan dan hasil analisis terowongan yang ditinjau kemudian dilakukan verifikasi hasil numerik terhadap pengukuran di lapangan dan membandingkan hasil analisis *single tunnel* dan *twin tunnel*.

### BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan mengenai hasil analisis yang telah dilakukan dan menyampaikan saran terhadap penelitian selanjutnya.

## 1.6. Diagram Alir

Penelitian ini dikerjakan dengan beberapa tahap seperti terlihat pada Gambar 1.2.



Gambar 1.2. Diagram Alir Penelitian



