

## DAFTAR ISI

	halaman
RINGKASAN .....	v
ABSTRACT .....	vi
KATA PENGANTAR .....	vii
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL .....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiv
BAB	
I. PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Tujuan Penelitian.....	3
1.3. Rumusan Masalah .....	3
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Metodologi Penelitian .....	4
1.6. Manfaat Penelitian .....	5
1.7. Diagram Alir Penelitian.....	5
II. TINJAUAN UMUM .....	7
2.1. Letak Kesampaian Daerah .....	7
2.2. Keadaan Geologi.....	7
2.3. Hidrologi dan Klimatologi.....	14
2.4. Penggalian.....	14
2.5. Tahapan Penggalian dan Pemasangan Penyangga .....	16
2.6. <i>Pressuremeter Test</i> .....	22
III. DASAR TEORI .....	23
3.1. Tanah .....	23
3.2. Klasifikasi Berdasarkan nilai UCS .....	31
3.3. Pengujian Laboratorium .....	32
3.4. Penetapan Penetrasi Tanah .....	35
3.5. Pengujian Beton Untuk Penyangga .....	35
3.6. Metode Penggalian Terowongan.....	36
3.7. <i>New Austrian Tunneling Method (NATM)</i> .....	37

3.8. Tegangan Disekitar Terowongan .....	41
3.9. Deformasi Pada Kemajuan Terowongan .....	44
3.10 Sistem Penyangga .....	46
3.11 Kriteria Keruntuhan Mohr-Coulomb .....	55
3.12 Strength Factor .....	57
3.13 <i>Pressuremeter Test</i> .....	60
IV. HASIL PENELITIAN .....	62
4.1. Data Primer .....	62
4.2. Hasil Analisis Terowongan .....	68
V. PEMBAHASAN .....	77
5.1. Analisis Pengaruh Sistem Penyangga Terhadap Kestabilan Terowongan Kanan .....	78
5.2. Analisis <i>Total Displacement</i> Pada Penggalian Terowongan Kiri dan Terowongan Kanan .....	81
5.3. Pengaruh Terowongan Kiri Terhadap Terowongan Kanan Berdasarkan Nilai <i>Total Displacement</i> .....	85
5.4. Pengaruh Tegangan Vertikal dan Tegangan Horisontal Terowongan Kanan Terhadap Terowongan Kiri .....	91
5.5. Analisis Pengaruh Perubahan Tegangan Insitu Terhadap <i>Strength Factor</i> .....	96
VI. KESIMPULAN DAN SARAN .....	98
6.1. Kesimpulan.....	98
6.2. Saran.....	99
DAFTAR PUSTAKA .....	100
LAMPIRAN .....	103

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1.1 Diagram Alir Penelitian .....	6
2.1. Fisiografi Daerah Jawa Barat .....	8
2.2. Peta Kesampaian Daerah .....	9
2.3. Peta Geologi Lembar Bandung .....	10
2.4. Stratigrafi Jawa Barat.....	11
2.5. Metode NATM dengan <i>Sequence 3-Bench &amp; 7-Step</i> .....	15
2.6. Diagram Alir Tahapan Sistem Penyangga .....	16
2.7. Sistem Penyanggaan Pada Terowongan Cisumdawu .....	16
2.8. Kegiatan <i>Marking</i> .....	17
2.9. Kegiatan Penggalian Pada <i>Face</i> .....	17
2.10. Kegiatan <i>Mucking</i> .....	18
2.11. Pemasangan H-Beam .....	18
2.12. Pemasangan Wiremesh .....	19
2.13. Kegiatan <i>Shotcrete</i> .....	19
2.14. <i>Forepolling Grouting</i> Pada Bagian <i>Upper</i> .....	20
2.15. Kegiatan <i>Invert Reinforcement</i> .....	20
2.16. Kegiatan Pengecoran Dinding .....	21
2.17. Kegiatan <i>Monitoring</i> .....	21
2.18. Alat <i>Pressuremeter Test</i> .....	22
3.1. (a) Penampang Struktur Tanah Dalam Sistem Tiga Tingkat, (b) Contoh Tanah.....	24
3.2. Komponen alat triaxial.....	33
3.3. Skema pengujian consolidated undrained .....	34
3.4. <i>Pocket penetrometer</i> .....	35
3.5. Sketsa gambar tipe/bentuk kehancuran pada benda uji .....	36
3.6. Alat Mekanis Excavator Yang Digunakan Dalam Proses Penggalian Dengan Karakteristik Daerah Penggalian Batuan Lunak .....	37

3.7. Penyanggan tidak terlalu cepat, tidak terlalu lambat, tidak terlalu kaku dan tidak terlalu fleksibel .....	38
3.8. Penyangga efektif apabila diaplikasikan secara menyeluruh, tidak hanya pada beberapa titik tertentu .....	39
3.9. Penyangga harus terdiri dari lapisan tipis yang fleksibel.....	40
3.10. Penyangga harus didukung dengan penggunaan <i>wire meshes</i> , <i>steel arches</i> dan <i>anchor</i> .....	41
3.11. Ilustrasi Tegangan Utama yang Terinduksi Pada Elemen Batuan .	43
3.12. (a) Kondisi Tegangan Pada Kondisi Awal (b) Kondisi Akibat Transfer Tegangan .....	43
3.13. Teori redistribusi tegangan sekitar lubang bukaan .....	44
3.14. Sayatan vertikal model <i>finite element</i> terhadap keruntuhan dan deformasi batuan disekitar kemajuan terowongan .....	45
3.15. Pola deformasi pada massa batuan disekitar kemajuan terowongan	46
3.16. Prinsip Penyanggaan .....	45
3.17. <i>Toussaint-Heintz-mann yielding arch : (a) cross section; (b) clamp joint; (c) alternative joint; (d) arch configuration before and after yielding; (e) idealised load-radial displacement response</i> .....	48
3.18. <i>Steel Fibres and Steel Fibre Reinforcement Shortcrete (SFRS)</i> ....	49
3.19. Perbedaan antara penerapan aplikasi <i>shotcrete</i> dengan (a) <i>wire mesh</i> dan (b) <i>steel fiber</i> .....	50
3.20. Jenis <i>steel fiber</i> yang digunakan pada <i>shotcrete</i> .....	51
3.21. Susunan <i>spilling dowel</i> pada kemajuan <i>face</i> terowongan.....	49
3.22. Stabilisasi zona terganggu pada kondisi tanah <i>squeezing</i> .....	49
3.23. Pembebanan pada lapisan terowongan pada <i>compensation grouting</i>	50
3.24. Skema <i>forepoling</i> .....	52
3.25. <i>Perforex Forepoling</i> .....	54
3.26. Ilustrasi improvement layer yang diperoleh dari IC-Consulente .	54
3.27. Kurva Mohr-Coulomb .....	56
3.28. Penentuan Faktor Keamanan .....	56
3.29. <i>Strength Factor</i> .....	58
3.30. Penentuan nilai strength factor yang dianggap aman .....	58
3.31. Ilustrasi Tegangan Tiga Dimensi dalam bentuk Kubus .....	59

3.32. Prinsip dasar dalam penggunaan <i>pressuremeter</i> .....	61
4.1. Pipa baja untuk pengambilan sampel tidak terganggu (a) dan <i>Pocket Penetrometer</i> (b) .....	63
4.2. Lokasi pengambilan data kuat tekan tanah dengan penetrometer ..	63
4.3. Komponen alat uji triaxial.....	64
4.4. Uji kuat tekan sampel shotcrete .....	65
4.5. Diagram lingkaran hasil kuat tekan pocket penetrometer dengan jumlah data 180 .....	67
4.6. Diagram lingkaran hasil kuat tekan pocket penetrometer dengan Jumlah data 540 .....	68
4.7. Tahapan permodelan terowongan pada program RS2 2019 .....	69
4.8. Geometri terowongan ganda Cisumdawu .....	70
4.9. Permodelan numerik terowongan ganda Cisumdawu dengan Program RS2 2019 .....	72
4.10. <i>Improvement layer</i> untuk terowongan Cisumdawu .....	73
4.11. Hasil permodelan numerik untuk “perpindahan terowongan” pada terowongan Ganda .....	74
4.12. Hasil permodelan numerik untuk “ <i>strength factor</i> ” pada Terowongan Ganda .....	75
4.13. Hasil permodelan numerik untuk “sigma 1” pada terowongan Ganda .....	76
4.14. Hasil permodelan numerik untuk “sigma 3” pada terowongan Ganda	76
5.1. Grafik nilai <i>strength factor</i> pada sistem penyangga .....	78
5.2. Grafik nilai total displacement pada sistem penyangga.....	79
5.3. Kondisi <i>strength factor</i> untuk sistem penyangga pada terowongan	80
5.4. Distribusi perpindahan di setiap sequence penggalian terowongan Grafik : a) Pengamatan 1, b) Pengamatan 2, c) Pengamatan 3, d) Pengamatan 4 dan e) Pengamatan 5 .....	84
5.5. Kondisi distribusi vektor pada terowongan kanan di <i>sequence</i> akhir penggalian terowongan a) Distribusi vektor tanpa penyangga, b) Distribusi vektor setelah penyangga .....	88
5.6. Perbandingan antara terowongan kiri tanpa penggalian dan terowongan kiri telah pemasangan penyangga permanen ditunjukkan dalam grafik : a) pengamatan 1, b) pengamatan 2, c) pengamatan 3, d) pengamatan 4 dan e) pengamatan 5 .....	90
5.7. Grafik hubungan tegangan in-situ terhadap <i>strength factor</i> .....	97

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
3.1. Ukuran butir .....	25
3.2. Istilah-istilah yang digunakan dalam mekanika tanah .....	26
3.3. Deskripsi kualitas tanah berbutir .....	30
3.4. Angka pori, kadar air dan berat isi tanah kering .....	30
3.5. Estimasi kuat tekan uniaksial batuan di lapangan .....	31
3.6. Evaluasi dari kategori butiran tanah halus .....	32
4.1. Hasil uji triaxial sampel tanah .....	66
4.2. Hasil uji kuat tekan sampel <i>shotcrete</i> .....	66
4.3. Hasil uji kuat tekan sampel <i>grout</i> .....	66
4.4. Klasifikasi kuat tekan penetrometer .....	67
4.5. Nilai input properties material tanah .....	71
4.6. Input permodelan numerik .....	71
4.7. Nilai input properties sistem penyangga .....	72
4.8. Nilai input <i>improvement layer</i> untuk <i>forepolling grouting</i> .....	73
5.1. Pengaruh jenis penyangga pada terowongan kanan .....	78
5.2. Perpindahan pada <i>sequence</i> penggalan terowongan kiri dan terowongan kanan .....	82
5.3. Distribusi perpindahan pada <i>sequence</i> penggalan terowongan kanan ..	86
5.4. Distribusi tegangan terhadap <i>sequence</i> penggalan terowongan ganda .	92
5.5. Nilai koefisien korelasi .....	96

## DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN	Halaman
A. PETA GEOLOGI LEMBAR BANDUNG .....	104
B. DATA CURAH HUJAN .....	106
C. GEOMETRI TEROWONGAN CISUMDAWU .....	107
D. PETA TOPOGRAFI DAERAH PROYEK TEROWONGAN CISUMDAWU .....	108
E. HASIL <i>BOR LOG</i> PADA TEROWONGAN CISUMDAWU .....	110
F. HASIL PENGUJIAN TRIAXIAL TANAH .....	123
G. HASIL PENGUJIAN PENYANGGA SHOTCRETE .....	129
H. HASIL PENGUJIAN GROUT .....	135
I. HASIL PENGUJIAN WIRE MESH .....	140
J. HASIL PENGUJIAN PENYANGGA H-BEAM .....	141
K. HASIL PENGUKURAN PRESSUREMETER TEST .....	142
L. MONITORING TEROWONGAN .....	152
M. HASIL PENELITIAN .....	153