

## DAFTAR ISI

	Halaman
RINGKASAN.....	v
KATA PENGANTAR .....	vii
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL .....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB	
I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Tujuan Penelitian.....	2
1.3. Rumusan Masalah .....	2
1.4. Batasan Masalah.....	2
1.5. Metodologi Penelitian .....	3
1.6. Diagram Alir Penelitian.....	4
1.7. Manfaat Penelitian.....	5
II. TINJAUAN UMUM	
2.1. Kesampaian Daerah.....	6
2.2. Keadaan Geologi .....	7
2.3. Hidrologi dan Klimatologi.....	11
2.4. Penggalan Terowongan <i>Double Tunnel</i> Cisumdawu.....	12
III. DASAR TEORI	
3.1. Tanah .....	16
3.2. Klasifikasi Tanah.....	18
3.3. Tegangan Insitu dan Tegangan Terinduksi.....	27
3.4. Finite Element Method (FEM) .....	32
3.5. Analisis Deformasi Terowongan .....	42
3.6. <i>New Austrian Tunneling Method</i> (NATM).....	49
3.7. Metode Penggalan .....	53
3.8. Penyanggaan Terowongan.....	56
IV. HASIL PENELITIAN	
4.1. Klasifikasi Tanah .....	62

	Halaman
4.2. Sifat Fisik dan Sifat Mekanik Tanah .....	63
4.3. Penggalian Terowongan .....	67
4.4. Pemodelan.....	70
4.5. Perhitungan Numerik.....	72
V. PEMBAHASAN	
5.1. Faktor-Faktor yang Berpengaruh Terhadap Stabilitas Terowongan di Tanah Lunak .....	77
5.2. Analisis Stabilitas pada Penggalian <i>Double Tunnel</i> .....	78
VI. KESIMPULAN DAN SARAN	
6.1. Kesimpulan .....	122
6.2. Saran .....	122
DAFTAR PUSTAKA .....	124
LAMPIRAN .....	126

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1. Peta Kesampaian Daerah Lokasi Penelitian.....	6
2.2. Peta Geologi Lembar Bandung, Jawa.....	8
2.3. Metode NATM 3 <i>benchs</i> & 7 <i>steps</i> .....	13
2.4. <i>Marking</i> .....	14
2.5. Pemasangan Penyangga Terowongan.....	15
2.6. Monitoring Terowongan .....	15
3.1. Klasifikasi berdasarkan Tekstur Tanah oleh Departemen Pertanian Amerika Serikat .....	19
3.2. Rentang (range) dari batas cair (LL) dan indeks plastisitas (PI) untuk tanah dalam kelompok A-2, A-4, A-5, A-6, dan A-7. ....	22
3.3. Diagram plastisitas menurut ASTM, berdasarkan tanah yang lolos ayakan 75 mm (3 in) .....	25
3.4. Konsep beban batuan di terowongan .....	28
3.5. Rasio tegangan horizontal terhadap vertikal untuk modulus deformasi yang berbeda berdasarkan persamaan Sheorey .....	30
3.6. Ilustrasi tegangan terinduksi utama pada elemen batuan disekitar terowongan horizontal .....	31
3.7. Arah tegangan utama batuan disekitar terowongan horizontal yang dikenai tegangan insitu horizontal $\sigma_{h1} = 3\sigma_v$ .....	31
3.8. Tegangan bekerja di sebuah body material yang terdeformasi diasumsikan kontinum .....	33
3.9. Hubungan antara regangan dan perpindahan .....	35
3.10. Ilustrasi tegangan tiga dimensi dalam bentuk kubus .....	37
3.11. Sistem sumbu asal dan baru .....	38
3.12. Potongan tetrahedron dari kubus .....	38
3.13. Sayatan vertikal model <i>finite element</i> terhadap keruntuhan dan deformasi batuan disekitar kemajuan terowongan .....	42
3.14. Pola deformasi pada massa batuan disekitar kemajuan terowongan.....	43
3.15. Hubungan antara tegangan utama mayor dan minor pada kriteria keruntuhan Hoek-Brown dan kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb.....	45

Gambar	Halaman
3.16. <i>Strength Factor</i> .....	46
3.17. Zona Plastik di sekitar Terowongan Melingkar .....	47
3.18. Representasi grafis hubungan antara tekanan penyangga dan perpindahan radial dinding terowongan.....	48
3.19. Ukuran zona plastis dibandingkan dengan tekanan penyangga .....	48
3.20. Deformasi terowongan dibandingkan dengan tekanan penyangga .....	49
3.21. Penyanggaan efektif apabila diaplikasikan secara menyeluruh, tidak hanya pada beberapa titik tertentu .....	51
3.22. Penyangga harus terdiri dari lapisan tipis yang fleksibel untuk <i>bending</i> . Kemampuan untuk membawa momen <i>bending</i> dan kegagalan <i>bending</i> berkurang.....	52
3.23. Penyangga harus didukung dengan penggunaan <i>wire meshes</i> , <i>steel arches</i> dan <i>anchor</i> . Bukan dengan meningkatkan ketebalan beton.....	53
3.24. <i>Excavator</i> ; <i>Roadheader</i> .....	54
3.25. Gripper TBM; 1) Shield, 2) arch segments, 3) annular errector, 4) drilling equipment for rock bolting, 5) protection canopy, 6) protection girder, 7) grippers .....	55
3.26. Prinsip Penyanggaan.....	56
3.27. Perbedaan antara penerapan aplikasi <i>shotcrete</i> dengan (a) <i>wire mesh</i> dan (b) <i>steel fiber</i> .....	58
3.28. Skema <i>forepoling</i> .....	60
4.1. Pola Tahapan Penggalian Terowongan I); II); III).....	68
4.2. Model Terowongan pada Kondisi Batas di STA 12+825 dan Perlapisan Batuan di Sekitar Terowongan .....	71
4.3. Kondisi Total Perpindahan.....	73
4.4. Kondisi <i>Strength Factor</i> .....	74
4.5. Kondisi Tegangan Mayor ( $\sigma_1$ ).....	75
4.6. Kondisi Tegangan Minor ( $\sigma_3$ ).....	75
5.1. Stabilitas terowongan dengan pola penggalian I.....	80
5.2. Stabilitas terowongan dengan pola penggalian II .....	81
5.3. Stabilitas terowongan dengan pola penggalian III .....	82
5.4. Hasil perhitungan FEM untuk a) Tegangan Mayor; b) Tegangan Minor pada Kondisi Tanpa Penyangga .....	84

Gambar	Halaman
5.5. Hasil perhitungan FEM untuk a) Total Perpindahan; b) <i>Strength Factor</i> pada Kondisi Tanpa Penyangga .....	85
5.6. Hasil perhitungan FEM untuk a) Tegangan Mayor; b) Tegangan Minor pada Kondisi dengan Penyangga.....	87
5.7. Hasil perhitungan FEM untuk a) Total Perpindahan; b) <i>Strength Factor</i> pada Kondisi dengan Penyangga.....	88
5.8. Perbandingan Tegangan Mayor ( $\sigma_1$ ) antara <i>Supported Tunnel</i> dan <i>Unsupported Tunnel</i> pada a) Terowongan Kiri; b) Terowongan Kanan Cisumdawu.....	91
5.9. Perbandingan Tegangan Minor ( $\sigma_3$ ) antara <i>Supported Tunnel</i> dan <i>Unsupported Tunnel</i> pada a) Terowongan Kiri; b) Terowongan Kanan Cisumdawu.....	94
5.10. Perbandingan Total Perpindahan antara <i>Supported Tunnel</i> dan <i>Unsupported Tunnel</i> pada a) Terowongan Kiri; b) Terowongan Kanan Cisumdawu.....	97
5.11. Perbandingan <i>Strength Factor</i> antara <i>Supported Tunnel</i> dan <i>Unsupported Tunnel</i> pada a) Terowongan Kiri; b) Terowongan Kanan Cisumdawu.....	99
5.12. Perhitungan FEM terhadap a) Tegangan Mayor; b) Tegangan Minor dengan jarak spasi antar terowongan 2 D .....	101
5.13. Perhitungan FEM terhadap a) Total Perpindahan; b) <i>Strength Factor</i> dengan jarak spasi antar terowongan 2 D .....	102
5.14. Perhitungan FEM terhadap a) Tegangan Mayor; b) Tegangan Minor dengan jarak spasi antar terowongan 3 D .....	103
5.15. Perhitungan FEM terhadap a) Total Perpindahan; b) <i>Strength Factor</i> dengan jarak spasi antar terowongan 3 D .....	104
5.16. Perbandingan Tegangan Mayor ( $\sigma_1$ ) pada a) Terowongan Kiri; b) Terowongan Kanan Cisumdawu dengan Variasi Jarak Antar Terowongan.....	107
5.17. Perbandingan Tegangan Minor ( $\sigma_3$ ) pada a) Terowongan Kiri; b) Terowongan Kanan Cisumdawu dengan Variasi Jarak Antar Terowongan.....	110
5.18. Perbandingan <i>Total Displacement</i> pada a) Terowongan Kiri; b) Terowongan Kanan Cisumdawu dengan Variasi Jarak Antar Terowongan.....	112
5.19. Perbandingan <i>Strength Factor</i> pada a) Terowongan Kiri; b) Terowongan Kanan Cisumdawu dengan Variasi Jarak Antar Terowongan.....	114

Gambar	Halaman
5.20. Stabilitas penggalian terowongan ganda dengan jarak horizontal 1 D ....	116
5.21. Stabilitas penggalian terowongan ganda dengan jarak horizontal 2 D ....	117
5.22. Stabilitas penggalian terowongan ganda dengan jarak horizontal 3 D ....	118
5.23. Hubungan jarak horizontal terowongan terhadap nilai total perpidahan ..	119
5.24. Hasil pemantauan atap terowongan .....	121

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
3.1. Batasan – batasan ukuran golongan tanah menurut beberapa sistem (M.Das, 1995) .....	16
3.2. Klasifikasi Tanah untuk Lapisan Tanah Dasar Jalan Raya (AASHTO, 1945) .....	21
3.3. Sistem Klasifikasi Unified (M. Das, 1995).....	24
3.4. Interpretasi nilai SPT dengan Terzaghi dan Peck .....	27
4.1. Data Klasifikasi Tanah.....	63
4.2. Data Sifat Fisik Material Tanah .....	64
4.3. Data Sifat Mekanik Material Tanah .....	66
4.4. Data Hasil Uji Sifat Mekanik <i>Wiremesh</i> .....	68
4.5. Data Hasil Uji Sifat Mekanik SFRS .....	69
4.6. Data Hasil Uji Sifat Mekanik <i>H-Beam</i> .....	69
4.7. Hasil Perhitungan Tegangan Mayor ( $\sigma_1$ ), Tegangan Minor ( $\sigma_3$ ), <i>Strength Factor</i> , dan Perpindahan Metode Elemen Hingga .....	76

## DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN	HALAMAN
A. PETA GEOLOGI LEMBAR BANDUNG, JAWA .....	127
B. DATA CURAH HUJAN .....	129
C. GEOMETRI TEROWONGAN CISUMDAWU .....	131
D. PETA TOPOGRAFI .....	133
E. HASIL BOR LOG PADA TEROWONGAN CISUMDAWU .....	135
F. HASIL UJI LABORATORIUM MATERIAL TANAH PADA TEROWONGAN CISUMDAWU .....	142
G. HASIL UJI LABORATORIUM MATERIAL PENYANGGA .....	144
H. HASIL PERHITUNGAN <i>FINITE ELEMENT METHOD</i> .....	153