DAFTAR ISI

Halaman

ABSTRAK ..... **i**

ABSTRACT ..... **ii**

KATA PENGANTAR ..... **iii**

DAFTAR ISI ..... **v**

DAFTAR GAMBAR ..... **xii**

DAFTAR TABEL ..... **xxiv**

BAB I PENDAHULUAN **1-1**

1.1 Latar Belakang 1-1

1.2 Maksud dan Tujuan 1-1

1.3 Pembatasan Masalah 1-2

1.4 Sistematika Pembahasan Masalah 1-2

BAB II STUDI LITERATUR **2-1**

2.1 Terowongan 2-1

2.1.1 Pengertian Terowongan 2-1

2.1.2 Maksud dan Tujuan Pembuatan Terowongan 2-1

2.1.3 Bentuk – Bentuk Terowongan 2-2

2.1.4 Kelebihan dan Kelemahan Terowongan 2-4

2.1.5 Klasifikasi Terowongan..... 2-5

2.1.5.1 Klasifikasi Terowongan Berdasarkan Kegunaannya 2-5

2.1.5.2 Klasifikasi Terowongan Berdasarkan Lokasinya 2-7

2.1.5.3 Klasifikasi Terowongan Berdasarkan Material 2-7

2.1.6 Metode Kontruksi Terowongan..... 2-8
2.1.7 Metode Pelaksanaan Terowongan..... 2-13
2.1.7.1 Pekerjaan Persiapan..... 2-13
2.1.7.2 Pekerjaan Galian Terowongan (Tunnel Driving) 2-15
2.1.7.3 Pekerjaan Pembuangan Hasil Galian 2-17
2.1.7.4 Pekerjaan Galian Pada *Rock*..... 2-17
2.1.7.5 Pengendalian Air Tanah..... 2-24
2.1.8 Fasilitas Untuk Pekerjaan Galian..... 2-29
2.1.9 Steel Support..... 2-29
2.1.10 Lining Tunnel 2-30
2.2 Mekanika Batuan..... 2-33
2.2.1 Perilaku Batuan 2-33
2.2.2 Sifat Fisik dan Sifat Mekanik Batuan 2-35
2.2.2.1 Penentuan Sifat Fisik Batuan 2-35
2.2.2.2 Penentuan Sifat Mekanik Batuan..... 2-36
2.2.3 Kriteria Keruntuhan Batuan 2-43
2.2.3.1 Kriteria Mohr – Coulomb 2-43
2.2.3.2 Kriteria Hoek-Brown 2-46
2.2.3.3 Kriteria Tegangan Tarik Maksimum 2-52
2.2.3.4 Kriteria Tegangan Geser Maksimum..... 2-53
2.2.4 Korelasi Parameter Batuan..... 2-53
2.2.4 Pemodelan Pada Batuan..... 2-58
2.3 Struktur Geologi Batuan..... 2-58
2.3.1 Massa Batuan 2-58
2.3.2 Struktur Batuan 2-59

2.3.3 Bidang Diskontinu 2-60
2.3.3.1 Bidang Perlapisan..... 2-60
2.3.3.2 Patahan/Sesar (Faults)..... 2-61
2.3.3.3 Lipatan (Folds)..... 2-64
2.3.3.4 Kekar (Joint) 2-66
2.3.3.5 Bidang Ketidakselarasan *(Unconformity)*..... 2-73
2.4 Metode Analisis dan Desain Terowongan..... 2-77
2.4.1 Metode Analitis..... 2-77
2.4.1.1 Metode Elastis..... 2-78
2.4.1.2 Metode Plastis dan Elastoplastis..... 2-80
2.4.1.2.1 Analisis Plastis pada Material Kohesif.... 2-81
2.4.1.2.2 Analisis Plastis pada Material Non Kohesif 2-83
2.4.2 Metode Empirik..... 2-85
2.4.2.1 Terzaghi‟s Rock Mass Classification or Rock Load Classification Method 2-87
2.4.2.2 Klasifikasi *Stand-Up Time*..... 2-90
2.4.2.3 Rock Quality Designing Index (RQD)..... 2-91
2.4.2.3.1 Metode Langsung..... 2-91
2.4.2.3.2 Metode Tidak Langsung..... 2-94
2.4.2.4 Rock Structure Rating (RSR)..... 2-95
2.4.2.5 Rock Mass Rating System (RMR)..... 2-99
2.4.2.6 Rock Mass Quality (Q) System..... 2-110
2.4.2.7 Contoh Penggunaan Metode Empirik..... 2-119
2.4.3 Metode Numerik..... 2-124
2.4.3.1 Persamaan Konstitutif..... 2-126

2.4.3.2 Material Elastik Linier..... 2-127

2.4.3.1 Kondisi Plane Strain 2-128

2.4.3.2 Kondisi Plane Stress..... 2-129

2.4.3.1 Kondisi Axially Symetric Solid 2-129

BAB III METODE PENELITIAN..... 3-1

3.1 Umum 3-1

3.2 Studi Literatur..... 3-2

3.3 Pengumpulan Data Batuan 3-2

3.4 Penentuan Parameter Desain 3-2

3.5 Analisis Desain Terowongan pada Batuan. 3-3

3.6 Metode Empirik..... 3-3

3.7 Metode Numerik..... 3-4

BAB IV METODE PERHITUNGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE 4-1

4.1 Umum 4-1

4.2 Program Komputer Phase2..... 4-1

4.2.1 Pendahuluan 4-1

4.2.2 Model (Input Data)..... 4-3

4.2.2.1 Project Setting 4-3

4.2.2.2 Boundaries 4-4

4.2.2.3 Mesh..... 4-8

4.2.2.4 Boundary Condition..... 4-11

4.2.2.5 Field Stress 4-12

4.2.2.6 Support..... 4-14

4.2.2.7 Propeties..... 4-14

4.2.2.8 Excavating 4-20
4.2.3 Compute (Perhitungan dalam Phase2) 4-23
4.2.4 Interpret (Output Data)..... ... 4-24
4.2.4.1 Total Displacement 4-24
4.2.4.2 Lining/Shotcrete 4-25
4.3 Program Komputer Plaxis 3D Tunnel 4-27
4.3.1 Penduluan 4-27
4.3.2 Input Data..... 4-30
4.3.2.1 General Setting 4-30
4.3.2.2 Geometry Contour and Structures 4-32
4.3.2.3 Boundary Conditions 4-35
4.3.2.4 Material Data Sets 4-36
4.3.2.5 2D Mesh Generation 4-41
4.3.2.6 3D Mesh Generation 4-42
4.3.2.7 Initial Condition 4-43
4.3.3 Calculations (Perhitungan dalam Plaxis 3D Tunnel) 4-46
4.3.4 Output Data..... 4-52
4.3.4.1 Total Diplacement 4-52
4.3.4.2 Lining/Shotcrete 4-56
BAB V ANALISIS DATA 5-1
5.1 Umum 5-1
5.2 Lokasi Studi 5-1
5.3 Data Teknis Terowongan 5-2
5.4 Parameter Desain 5-3
5.4.1 Pofil Batuan 5-3

5.4.2 Data Geologi 5-4

5.4.3 Parameter Batuan 5-5

5.5 Analisis Desain Terowongan 5-11

5.5.1 Analisis Desain Terowongan dengan Metode Empirik 5-11

5.5.1.1 Terzaghi's Rock Mass Classification 5-11

5.5.1.2 Klasifikasi Stund Up Time 5-12

5.5.1.3 Rock Mass Rating System (RMR) 5-13

5.5.1.4 Rock Quality Designing Index (RQD) 5-17

5.5.1.5 Rock Structure Rating (RSR) 5-17

5.5.1.6 Rock Mass Quality (Q) System 5-17

5.5.2 Analisis Desain Terowongan dengan Menggunakan PHASE2 5-28

5.5.2.1 Analisis PHASE2 Tanpa Support dan Tidak Mempertimbangkan Joint 5-29

5.5.2.2 Analisis PHASE2 Dengan Support dan Tidak Mempertimbangkan Joint 5-31

5.5.2.3 Analisis PHASE2 Tanpa Support dan Mempertimbangkan Joint 5-38

5.5.2.4 Analisis PHASE2 Dengan Support dan Mempertimbangkan Joint 5-41

5.5.3 Perbandingan Pengaruh Support dan Joint Pada Analisis PHASE2 5-48

5.5.4 Analisis Desain Terowongan dengan Menggunakan Plaxis 3D Tunnel 5-50

5.5.5 Perbandingan Analisis PHASE2 2D dan Plaxis 3D Tunnel 5-55

5.5.6 Perbandingan Analisis Metode Emprik dan Numerik 5-56

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN..... 6-1

6.1 Kesimpulan..... 6-1

6.2 Saran..... 6-2

DAFTAR PUSTAKA..... xxviii

LAMPIRAN..... xxx

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2. 1 Bentuk terowongan lingkaran 2-2
Gambar 2. 2 Bentuk terowongan kotak..... 2-2
Gambar 2. 3 Bentuk terowongan tapal kuda..... 2-3
Gambar 2. 4 Bentuk terowongan oval..... 2-3
Gambar 2. 5 Bentuk terowongan poligon 2-4
Gambar 2. 6 Shield tunneling..... 2-8
Gambar 2. 7 Cut and Cover System..... 2-9
Gambar 2. 8 Pipe Jacking System (Micro Tunneling)..... 2-10
Gambar 2. 9 Tunneling Bor Machine (TBM) 2-11
Gambar 2. 10 New Austrian Tunneling Method..... 2-12
Gambar 2. 11 Immersed-Tube Tunneling System 2-12
Gambar 2. 12 Acces road (Asiyanto, 2012) 2-13
Gambar 2. 13 Fore-Polling Method 2-16
Gambar 2. 14 Shield Baja 2-16
Gambar 2. 15 Mesin Bor..... 2-17
Gambar 2. 16 Full Face Method 2-18
Gambar 2. 17 Metoda “heading” dan ”bench”..... 2-19
Gambar 2. 18 Metoda top drift..... 2-20
Gambar 2. 19 Metoda Centre drift..... 2-21
Gambar 2. 20 Metoda Bottom drift 2-22
Gambar 2. 21 Metoda side drift 2-22

Gambar 2. 22 Metode Sumuran Vertikal 2-23

Gambar 2. 23 Metode Pilot Tunnel 2-24

Gambar 2. 24 Ilustrasi dari proses Dewatering 2-25

Gambar 2. 25 Tipikal Instalasi Deep well 2-25

Gambar 2. 26 Aplikasi Grouting Pada Saluran Air 2-26

Gambar 2. 27 Pemakaian Compressed Air dalam Penggalian Terowongan . . 2-27

Gambar 2. 28 Proses Ground Freezing pada Terowongan Essen 2-28

Gambar 2. 29 Ilustrasi prinsip Eektro-osmosis pada Proses Dewatering 2-29

Gambar 2. 30 Macam-macam Stell Support 2-30

Gambar 2. 31 Ketebalan Lining 2-31

Gambar 2. 32 Penulangan Lining 2-31

Gambar 2. 33 Bermacam-macam metode pengecoran (Asiyanto, 2012) 2-33

Gambar 2.34 (a,b) Kurva tegangan-regangan, (c) Kurva regangan-waktu untuk perilaku elastik linier dan elastik non linier 2-34

Gambar 2. 35 (a) Kurva tegangan-regangan dan (b) Kurva regangan-waktu untuk perilaku batuan elasto plastik 2-34

Gambar 2.36 Penyebaran tegangan didalam percontoh batu (a) teoritis dan (b) eksperimental, (c) Bentuk pecahan teoritis dan (d) Bentuk pecahan eksperimental..... 2-37

Gambar 2. 37 Kodisi tegangan didalam percontoh untuk l/D berbeda 2-38

Gambar 2. 38 Regangan yang dihasilkan dari pengujian kuat tekan batuan ... 2-40

Gambar 2. 39 Kurva tegangan-regangan hasil pengujian kuat tekan batuan .. 2-41

Gambar 2. 40 Kondisi tegangan pada pengujian triaksial 2-42

Gambar 2. 41 Lingkaran Mohr dan kurva instrinsik hasil pengujian triaksial 2-42

Gambar 2. 42 Pengujian Kuat Tarik 2-43

Gambar 2. 43 Kriteria Mohr : $\tau = f(\sigma)$ 2-44

Gambar 2. 44 Kriteria keruntuhan Mohr – Coulomb..... 2-45

Gambar 2. 45 Penentuan Faktor Keamanan..... 2-46

Gambar 2.46 GSI untuk karakterisasi massa batuan blocky berdasarkan Interlocking dan kondisi joint (Hoek, 2000) 2-49

Gambar 2. 47 Perkiraan Kekuatan Geologi Index GSI untuk massa batuan heterogen seperti Flysch (After Marinos and Hoek, 2001) 2-50

Gambar 2. 48 Grafik untuk menentukan nilai kohesi batuan (Hoek, 200) 2-51

Gambar 2. 49 Grafik untuk menentukan nilai sudut geser bataun (Hoek, 2000) 2-51

Gambar 2. 50 Konsep Pembentukkan Massa Batuan (Palmstrom, 2001) 2-59

Gambar 2. 51 Bidang perlapisan pada batuan..... 2-61

Gambar 2. 52 Macam-macam struktur sesar dalam geologi..... 2-62

Gambar 2. 53 Dip dan Strike..... 2-64

Gambar 2. 54 Lipatan Sinklin (Syncline folds) 2-65

Gambar 2. 55 Lipatan Antiklin (Anticline folds) 2-65

Gambar 2. 56 Srinkage Joint 2-67

Gambar 2. 57 Sheet Joint. 2-68

Gambar 2. 58 Sistematik Joint 2-68

Gambar 2. 59 Non Sistematik Joint 2-69

Gambar 2. 60 Kekar Kolom 2-69

Gambar 2. 61 Kekar Gerus 2-70

Gambar 2. 62 Kekar Tarik 2-71

Gambar 2. 63 Extension Joint..... 2-72

Gambar 2. 64 Nonconformity 2-73

Gambar 2. 65 Ketidakselarasan sudut (Angular unconformity) 2-74

Gambar 2. 66 Disconformity 2-74

Gambar 2. 67 Paraconformity 2-75

Gambar 2. 68 Diagram Blok dengan 3 Joint Set..... 2-76

Gambar 2. 69 Strike dan Dip..... 2-77

Gambar 2. 70 Penamaan tegangan-tegangan berdasarkan solusi Kirsch pada lubang silindris di dalam medium elastis yang isotropis dan homogen 2-79

Gambar 2. 71 Distribusi tegangan disekitar terowongan lingkarna pada media elastis, isotropic, dan homogen (Paulus P.Raharjo, 2004)..... 2-80

Gambar 2. 72 Daerah plastis disekitar lingkaran terowongan pada material kohesif 2-82

Gambar 2. 73 Radius dari Zona plastis sebagai fungsi dari parameter tanah (Paulus P.Raharjo, 2004). 2-84

Gambar 2. 74 Distribusi tegangan disekeliling tegangan terowongan untuk kasus tertentu (Paulus P.Raharjo, 2004) 2-85

Gambar 2. 75 Konsep Terzaghi (1946) 2-88

Gambar 2. 76 Contoh aplikasi rockbolt 2-89

Gambar 2. 77 Metode pengukuran RQD menurut Deere. 2-92

Gambar 2. 78 Metode pengukuran RQD menurut CNI 2-94

Gambar 2. 79 Hubungan RQD dan Jv Palmstron (1982)..... 2-95

Gambar 2. 80 Perkiraan support RSR untuk terowongan bentuk lingkaran dengan diameter 24 feet (7.3 m)..... 2-99

Gambar 2. 81 Contoh Petunjuk Penggalian 2-109

Gambar 2. 82 Grafik hubungan stand up time, span dan klasifiksai RMR (after Bieniawski 1989). 2-110

Gambar 2. 83 Grafik Hubungan Antara Nilai Q, Maksimum Span, Dan Nilai ESR 2-118

Gambar 2. 84 Grafik Penentuan Rekomendasi Penyangga Berdasarkan Q-System 2-119

Gambar 2. 85 Hubungan antara variabel-variabel dalam penyusunan persamaan elemen hingga (Chen and Baladi, 1985) 2-126

Gambar 2. 86 Elemen Axisymmetric (Cook, 1989) 2-130

Gambar 3. 1 Diagram alir metode penelitian 3-1

Gambar 4. 1 Diagram alir PHASE2 4-2

Gambar 4. 2 Tampilan project setting 4-3

Gambar 4. 3 Tampilan Add External 4-5

Gambar 4. 4 Tampilan Add Excavation 4-6

Gambar 4. 5 Tampilan Creat Joint 4-6

Gambar 4. 6 Tampilan add joint 4-7

Gambar 4. 7 Tampilan add piezometric line 4-7

Gambar 4. 8 Tampilan Add Stage 4-8

Gambar 4. 9 Tampilan mesh setup 4-9

Gambar 4. 10 Tampilan discretize 4-10

Gambar 4. 11 Tampilan mesh 4-10

Gambar 4. 12 Tampilan boundary condition 4-12

Gambar 4. 13 Tampilan field stress properties 4-13

Gambar 4. 14 Tampilan Field Stress 4-13

Gambar 4. 15 Tampilan add iner 4-14

Gambar 4. 16 Tampilan define material properties batuan untuk model Mohr Coulumb 4-15

Gambar 4. 17 Tampilan define material properties batuan untuk model Hoek-Brown 4-16

Gambar 4. 18 Tampilan define liner properties 4-18

Gambar 4. 19 Tampilan Define Joint Properties 4-19
Gambar 4. 20 Tampilan excavate pada jendela assign material 4-21
Gambar 4. 21 Tampilan galian top heading PHASE2 4-22
Gambar 4. 22 Tampilan galian bench PHASE2 4-22
Gambar 4. 23 Tampilan assign liner 4-23
Gambar 4. 24 Tampilan Total Displacement Top Heading PHASE2 4-24
Gambar 4. 25 Tampilan Total Displacement Bench PHASE2 4-25
Gambar 4. 26 Tampilan show values liner 4-25
Gambar 4. 27 Tampilan output bending moment liner top heading PHASE2. 4-26
Gambar 4. 28 Tampilan output bending moment liner bench PHASE2 4-26
Gambar 4. 29 Tampilan output sheer force liner top heading PHASE2 4-27
Gambar 4. 30 Tampilan output sheer force liner bench PHASE2 4-27
Gambar 4. 31 Diagram Alir Plaxis 3D 4-29
Gambar 4. 32 Tampilan Creat/Open Object 4-30
Gambar 4. 33 Tampilan tab parameter general setting 4-31
Gambar 4. 34 Tampilan tab dimension general setting 4-32
Gambar 4. 35 Tampilan geometry contour 4-33
Gambar 4. 36 Tampilan tunnel designer 4-34
Gambar 4. 37 Tampilan geometry stucture 4-35
Gambar 4. 38 Tampilan standart fixities 4-35
Gambar 4. 39 Tampilan soil & interfaces 4-36
Gambar 4. 40 Tampilan input parameter bataun tabs general 4-37
Gambar 4. 41 Tampilan input parameter bataun tabs parameter 4-37
Gambar 4. 42 Tampilan advanced parameters Mohr Coulumb 4-38
Gambar 4. 43 Tampilan Plates 4-39

Gambar 4. 44 Tampilan plates properties 4-40
Gambar 4. 45 Tampilan drag material 4-41
Gambar 4. 46 Tampilan 2D mesh generation 4-41
Gambar 4. 47 Tampilan input koodinat z-palne..... 4-42
Gambar 4. 48 Tampilan rear plane..... 4-43
Gambar 4. 49 Tampilan 3D mesh generation 4-43
Gambar 4. 50 Tampilan water weight..... 4-44
Gambar 4. 51 Tampilan input muka air tanah..... 4-44
Gambar 4. 52 Tampilan pore pressure 4-45
Gambar 4. 53 Tampilan K0-procedure 4-45
Gambar 4. 54 Tampilan initial soil stresses 4-46
Gambar 4. 55 Tampilan save project 4-46
Gambar 4. 56 Tampilan calculation..... 4-47
Gambar 4. 57 Tampilan input plate..... 4-48
Gambar 4. 58 Tampilan slice 1 <Phase 1> 4-48
Gambar 4. 59 Tampilan slice 1 <Phase 2> 4-49
Gambar 4. 60 Tampilan select node for displacement curve 4-50
Gambar 4. 61 Tampilan select stress pint for stress/strain curve..... 4-50
Gambar 4. 62 Tampilan proses calculation..... 4-51
Gambar 4. 63 Tampilan setelah proses calculations 4-52
Gambar 4. 64 Tampilan total diplacement 3D top heading Plaxis 3D Tunnel 4-53
Gambar 4. 65 Tampilan total diplacement 3D bench Plaxis 3D Tunnel 4-53
Gambar 4. 66 Total Displacement Top Heading Plaxis 3D Tunnel 4-54
Gambar 4. 67 Total Displacement Bench Plaxis 3D Tunnel 4-54
Gambar 4. 68 Total Displacement Top Heading Plaxis 3D Tunnel 4-55

Gambar 4. 69 Total Displacement Bench Plaxis 3D Tunnel 4-55

Gambar 4. 70 Arah Axial Force (manual Plaxis 3D Tunnel) 4-56

Gambar 4. 71 Arah Shear Force (manual Plaxis 3D Tunnel) 4-56

Gambar 4. 72 Arah Bending Moment (manual Plaxis 3D Tunnel) 4-57

Gambar 4. 73 Bending Moment Shotcrete Top Heading Plaxis 3D Tunnel.... 4-57

Gambar 4. 74 Bending Moment Shotcrete Bench Plaxis 3D Tunnel 4-58

Gambar 4. 75 Shear Force Shotcrete Top Heading Plaxis 3D Tunnel..... 4-58

Gambar 4. 76 Shear Force Shotcrete Bench Plaxis 3D Tunnel 4-59

Gambar 5. 1 Lokasi Studi 5-1

Gambar 5. 2 Penampang Terowong..... 5-3

Gambar 5. 3 Profil melintang geologi sepanjang as terowongan..... 5-4

Gambar 5. 4 Parameter desain modulus young..... 5-10

Gambar 5. 5 Stand Up Time untuk batu pasir RMR (after Bieniawski 1989) 5-15

Gambar 5. 6 Grafik Penentuan Rekomendasi Penyangga Berdasarkan Q-System untuk Batu Lumpur (After Grimstad & Barton, 1993)..... 5-19

Gambar 5. 7 Grafik Penentuan Rekomendasi Penyangga Berdasarkan Q-System untuk Batu Pasir (After Grimstad & Barton, 1993)..... 5-22

Gambar 5. 8 Total Displacement Top Heading dengan Pemodelan Mohr-Coulumb PHASE2 Tanpa Support dan Tidak Mempertimbangkan Joint..... 5-29

Gambar 5. 9 Total Displacement Bench dengan Pemodelan Mohr-Coulumb PHASE2 Tanpa Support dan Tidak Mempertimbangkan Joint..... 5-30

Gambar 5. 10 Total Displacement Top Heading dengan Pemodelan Hoek and Brown PHASE2 Tanpa Support dan Tidak Mempertimbangkan Joint 5-30

Gambar 5. 11 Total Displacement Bench dengan Pemodelan Hoek and Brown PHASE2 Tanpa Support dan Tidak Mempertimbangkan Joint 5-31

Gambar 5. 12 Total Displacement Top Heading dengan Pemodelan Mohr-Coulumb PHASE2 Dengan Support dan Tidak Mempertimbangkan Joint 5-32

Gambar 5. 13 Total Displacement Bench dengan Pemodelan Mohr-Coulumb PHASE2 Dengan Support dan Tidak Mempertimbangkan Joint 5-32

Gambar 5. 14 Bending Moment Shotcrete Top Heading Mohr Coulumb PHASE2 Dengan Support dan Tidak Mempertimbangkan Joint 5-33

Gambar 5. 15 Bending Moment Shotcrete Bench Mohr Coulumb PHASE2 Dengan Support dan Tidak Mempertimbangkan Joint 5-33

Gambar 5. 16 Shear Force Shotcrete Top Heading Mohr Coulumb PHASE2 Dengan Support dan Tidak Mempertimbangkan Joint 5-34

Gambar 5. 17 Shear Force Shotcrete Bench Mohr Coulumb PHASE2 Dengan Support dan Tidak Mempertimbangkan Joint..... 5-34

Gambar 5. 18 Total Displacement Top Heading dengan Pemodelan Hoek and Brown PHASE2 Dengan Support dan Tidak Mempertimbangkan Joint 5-35

Gambar 5. 19 Total Displacement Bench dengan Pemodelan Hoek and Brown PHASE2 Dengan Support dan Tidak Mempertimbangkan Joint 5-35

Gambar 5. 20 Bending Moment Shotcrete Top Heading Hoek and Brown PHASE2 Dengan Support dan Tidak Mempertimbangkan Joint 5-36

Gambar 5. 21 Bending Moment Shotcrete Bench Hoek and Brown PHASE2 Dengan Support dan Tidak Mempertimbangkan Joint 5-36

Gambar 5. 22 Shear Force Shotcrete Top Heading Hoek and Brown PHASE2 Dengan Support dan Tidak Mempertimbangkan Joint 5-37

Gambar 5. 23 Shear Force Shotcrete Bench Hoek and Brown PHASE2 Dengan Support dan Tidak Mempertimbangkan Joint 5-37

Gambar 5. 24 Total Displacement Top Heading dengan Pemodelan Mohr-Coulumb PHASE2 Tanpa Support dan Mempertimbangkan Joint 5-39

Gambar 5. 25 Total Displacement Bench dengan Pemodelan Mohr-Coulumb PHASE2 Tanpa Support dan Mempertimbangkan Joint 5-39

Gambar 5. 26 Total Displacement Top Heading dengan Pemodelan Hoek and Brown PHASE2 Tanpa Support dan Mempertimbangkan Joint 5-40

Gambar 5. 27 Total Displacement Bench dengan Pemodelan Hoek and Brown PHASE2 Tanpa Support dan Mempertimbangkan Joint 5-40

Gambar 5. 28 Total Displacement Top Heading dengan Pemodelan Mohr-Coulumb PHASE2 Dengan Support dan Mempertimbangkan Joint 5-41

Gambar 5. 29 Total Displacement Top Bench dengan Pemodelan Mohr-Coulumb PHASE2 Dengan Support dan Mempertimbangkan Joint 5-42

Gambar 5. 30 Bending Moment Shotcrete Top Heading Mohr Coulumb PHASE2 Dengan Support dan Mempertimbangkan Joint 5-42

Gambar 5. 31 Bending Moment Shotcrete Bench Mohr Coulumb PHASE2 Dengan Support dan Mempertimbangkan Joint 5-43

Gambar 5. 32 Shear Force Shotcrete Top Heading Mohr Coulumb PHASE2 Dengan Support dan Mempertimbangkan Joint 5-43

Gambar 5. 33 Shear Force Shotcrete Bench Mohr Coulumb PHASE2 Dengan Support dan Mempertimbangkan Joint 5-44

Gambar 5. 34 Total Displacement Top Heading dengan Pemodelan Hoek and Brown PHASE2 Dengan Support dan Mempertimbangkan Joint 5-44

Gambar 5. 35 Total Displacement Bench dengan Pemodelan Hoeak and Brown PHASE2 Dengan Support dan Mempertimbangkan Joint 5-45

Gambar 5. 36 Bending Moment Shotcrete Top Heading Hoek and Brown PHASE2 Dengan Support dan Mempertimbangkan Joint 5-45

Gambar 5. 37 Bending Moment Shotcrete Bench Hoek and Brown PHASE2 Dengan Support dan Mempertimbangkan Joint 5-46

Gambar 5. 38 Shear Force Shotcrete Top Heading Hoek and Brown PHASE2 Dengan Support dan Mempertimbangkan Joint 5-46

Gambar 5. 39 Shear Force Shotcrete Bench Hoek and Brown PHASE2 Dengan Support dan Mempertimbangkan Joint 5-47

Gambar 5. 40 Total displacement top heading 3D Plaxis 3D Tunnel..... 5-50

Gambar 5. 41 Total displacement bench 3D Plaxis 3D Tunnel..... 5-50

Gambar 5. 42 Total Displacement Top Heading Plaxis 3D Tunnel 5-51

Gambar 5. 43 Total Displacement Bench Plaxis 3D Tunnel 5-51

Gambar 5. 44 Total Displacement Top Heading Plaxis 3D Tunnel 5-52

Gambar 5. 45 Total Displacement Bench Plaxis 3D Tunnel 5-52

Gambar 5. 46 Bending Moment Shotcrete Top Heading Plaxis 3D Tunnel.... 5-53

Gambar 5. 47 Bending Moment Shotcrete Bench Plaxis 3D Tunnel 5-53

Gambar 5. 48 Shear Force Shotcrete Top Heading Plaxis 3D Tunnel..... 5-54

Gambar 5. 49 Shear Force Shotcrete Bench Plaxis 3D Tunnel 5-54

Gambar 5. 50 Tegangan PHASE2 5-57

Gambar 5. 51 Tampilan 3D Tegangan Plaxis 3D Tunnel..... 5-57

Gambar 5. 52 Tegangan di atas terowongan Plaxis 3D Tunnel..... 5-58

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 2.1 Nilai m_i untuk batuan utuh (Hoek, 2000)..... 2-41

Tabel 2. 2 Pedoman untuk menentukan besarnya nilai D (Hoek,200)..... 2-46

Tabel 2. 3 Porasities of Some Typical Rocks Showing Effects of Age and Deptha 2-47

Tabel 2. 4 Specific Gravities of Common Minerals 2-48

Tabel 2. 5 Dry Densities of Some Typical Rocks..... 2-48

Tabel 2. 6 Conductivtties of Typical Rock 2-49

Tabel 2. 7 Typical Point Load Index Values..... 2-49

Tabel 2. 8 Kuat tekan uniaksial dan kuat tarik dari beberapa jenis bataun (Peters, 1978) 2-49

Tabel 2. 9 Weathering indices for granite (after Irfan & Dearman, 1978) 2-50

Tabel 2. 10 Physical properties of fresh rock materials..... 2-50

Tabel 2. 11 Mechanical properties of rock materials..... 2-51

Tabel 2. 12 Selected equations for estimating deformation modulus of rock mass E_{mass} 2-51

Tabel 2. 13 Klasifikasi massa batuan yang banyak digunakan..... 280

Tabel 2. 14 Klasifikasi Rock Load Terzaghi (1946)..... 2-82

Tabel 2. 15 Klasifikasi Rock Load Terzaghi (1970)..... 2-84

Tabel 2. 16 Hubungan RQD dan kualitas massa batuan (Deere, 1967)..... 2-85

Tabel 2. 17 Parameter A..... 2-91

Tabel 2. 18 Parameter B..... 2-91

Tabel 2. 19 Parameter C..... 2-92

Tabel 2. 20 Adjustment Factor untuk berbagai diameter terowongan 2-92

Tabel 2. 21 Kekuatan material batuan utuh (Bieniawski, 1989)..... 2-95

Tabel 2. 22 Rock Quality Designation (RQD) (Bieniawski, 1989) 2-95

Tabel 2. 23 Jarak antar (spasi) kekar (Bieniawski, 1989) 2-96

Tabel 2. 24 Penggolongan dan pembobotan kekasaran menurut Bienawski (1976) 2-97

Tabel 2. 25 Tingkat pelapukan batuan (Bieniawski, 1976) 2-98

Tabel 2. 26 Panduan Klasifikasi Kondisi Kekar (Bieniawski, 1989) 2-98

Tabel 2. 27 Kondisi air tanah (Bieniawski, 1989) 2-99

Tabel 2. 28 Penyesuaian rating untuk orientasi bidang-bidang diskontinuitas 2-100

Tabel 2. 29 Kelas massa batuan, kohesi dan sudut geser dalam berdasarkan nlai RMR (Bieniawski, 1989) 2-100

Tabel 2. 30 Rock Mass Rating System (Bieniawski, 1989)..... 2-100

Tabel 2. 31 Petunjuk untuk penggalian dan penyangga terowongan batuan dengan sistem RMR 2-102

Tabel 2. 32 RQD-values and volumetric jointing. 2-106

Tabel 2. 33 Jn-values..... 2-106

Tabel 2. 34 Jr – values..... 2-107

Tabel 2. 35 Ja –values 2-107

Tabel 2. 36 Jw – values 2-108

Tabel 2. 37 SRF-values 2-109

Tabel 2. 38 Conversion from actual Q-values to adjusted Q-values for design of wall support. 2-110

Tabel 2. 39 ESR-values..... 2-111

Tabel 2. 40 Penyelesaian soal berdasarkan metode RSR..... 2-114

Tabel 2. 41 Penyelesaian soal berdasarkan metode RMR. 2-115

Tabel 2. 42 Penyelesaian soal berdasarkan metode Q-system. 2-116

Tabel 4. 1 Koordinat penampang terowongan 4-5

Tabel 4. 2 Parameter batuan untuk kedua tipe keruntuhan 4-17

Tabel 4. 3 Parameter liner 4-19

Tabel 4. 4 Parameter Joint 4-20

Tabel 4. 5 Parameter batuan Plaxis 3D Tunnel 4-38

Tabel 4. 6 Parameter lining (plates) Plaxis 3D Tunnel 4-39

Tabel 5. 1 Parameter batuan Phase2 5-10

Tabel 5. 2 Parameter batuan Plaxis 3dTunnel 5-11

Tabel 5. 3 Analisis klasifikasi RMR untuk batu lumpur 5-13

Tabel 5. 4 Analisis klasifikasi RMR untuk batu lumpur 5-16

Tabel 5. 5 Analisis Q-System untuk batu lumpur 5-18

Tabel 5. 6 Analisis Q-System untuk batu pasir 5-21

Tabel 5. 7 Tabel Hasil dari Metode Empiris 5-24

Tabel 5. 8 Tabel Perabandingan studi kasus dan tugas akhir 5-27

Tabel 5. 9 Nilai total displacement PHASE2 tanpa support dan tidak memepertimbangkan joint untuk kedua jenis pemodelan tanah ... 5-31

Tabel 5. 10 Nilai total displacement displacement PHASE2 dengan support dan tidak memepertimbangkan joint untuk kedua jenis pemodelan tanah 5-38

Tabel 5. 11 Hasil analisis support PHASE2 dengan support dan tidak memepertimbangkan joint untuk kedua jenis pemodelan tanah ... 5-38

Tabel 5. 12 Nilai total displacement displacement PHASE2 dengan support dan tidak memepertimbangkan joint untuk kedua jenis pemodelan tanah 5-41

Tabel 5. 13 Nilai total displacement displacement PHASE2 dengan support dan mempertimbangkan joint untuk kedua jenis pemodelan tanah 5-47

Tabel 5. 14 Hasil analisis support PHASE2 dengan support dan tidak mempertimbangkan joint untuk kedua jenis pemodelan tanah 5-47

Tabel 5. 15 Pengaruh support pada PHASE2 dengan tidak mempertimbangkan joint 5-48

Tabel 5. 16 Pengaruh support pada PHASE2 dengan mempertimbangkan joint 5-49

Tabel 5. 17 Pengaruh joint pada PHASE2 untuk kondisi support 5-49

Tabel 5. 18 Pengaruh joint pada PHASE2 untuk kondisi unsupport 5-49

Tabel 5. 19 Hasil Analisis total displacemnet Plaxis 3D Tunnel 5-54

Tabel 5. 20 Hasil analisis support Plaxis 3D Tunnel 5-55

Tabel 5. 21 Hasil analisis total displacement PHASE2 2D dan Plaxis 3D Tunnel Tanpa Support 5-55

Tabel 5. 22 Hasil analisis gaya dalam PHASE2 2D dan Plaxis 3D Tunnel Dengan Support 5-56

Tabel 5. 23 Niali tegangan yang terjadi di atas terowongan untuk metode empirik dan metode numerik 5-58