

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	i
KATA PENGANTAR.....	ii
Abstrak.....	iv
Abstract.....	v
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xvi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	4
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Rumusan Masalah	5
1.5 Tujuan Penelitian	5
BAB 2 LANDASAN TEORI	6
2.1 Kondisi Daerah Kalimantan Timur	6
2.1.1 Kondisi Topografi	6
2.1.2 Kondisi Geologi	7
2.2 Korelasi Data Tanah	11
2.2.1 Korelasi Tipe Tanah	11
2.2.2 Korelasi γ_{sat} dan γ_{bulk}	15
2.2.3 Korelasi Cc dan Cs	16
2.2.4 Korelasi Su	17
2.2.5 Korelasi ϕ'	19

2.2.6	Korelasi c'	21
2.2.7	Korelasi E_u dan E'	21
2.2.8	Korelasi M	23
2.2.9	Korelasi OCR	25
2.2.10	Korelasi ψ	25
2.3	Penurunan Tanah pada Timbunan	25
2.3.1	Tegangan Timbunan.....	25
2.3.2	Penurunan Elastis	26
2.3.3	Penurunan Konsolidasi	27
2.4	Jenis Perbaikan Tanah Berdasarkan SNI 8460:2017	28
2.4.1	Penyuntikan Semen (<i>Grouting</i>).....	28
2.4.2	<i>Deep Mixing</i>	31
2.4.3	Pemadatan Dalam (<i>Deep Compaction</i>)	34
2.4.4	<i>Prefabricated Vertical Drain</i> (PVD).....	36
2.4.5	Metode Ruang Hampa (<i>Vacuum Preloading</i>)	36
2.5	Metode <i>Rigid Inclusion</i>	37
2.5.1	<i>Load Transfer Platform</i> (LTP)	39
2.5.2	Mekanisme Transfer Beban pada Tanah Lunak.....	41
2.5.2.1	<i>Negative Skin Friction</i> (NSF) pada 1 tiang.....	41
2.5.2.2	<i>Negative Skin Friction</i> (NSF) pada grup tiang	44
2.5.3	Perilaku Tiang Inklusi	46
2.5.3.1	Tiang Tunggal.....	46
2.5.3.2	Tiang Grup.....	47
2.5.4	Perilaku Tanah di Sekitar Grup <i>Rigid Inclusion</i>	48
2.5.4.1	Tanah Terhadap Kekuatan	48

2.5.4.2	Tanah Terhadap Konsolidasi	49
2.5.5	Desain <i>Rigid Inclusion</i>	50
BAB 3 METODE PENELITIAN		64
3.1	Tahapan Penelitian.....	64
3.2	Tahap Penetapan Tujuan, Metode Penelitian, dan Analisis Data ...	64
3.3	Parameter Data Tanah	66
3.4	Membuat Stratifikasi Tanah	66
3.5	Analisis Penurunan Tanah	66
3.6	Menentukan Metode Perbaikan.....	66
3.7	Analisis Hasil.....	67
3.8	Kesimpulan dan Saran.....	67
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		68
4.1	Parameter Tanah.....	68
4.2	Pengecekan Metode Perbaikan Berdasarkan SNI 8460:2017	69
4.3	Pemodelan Geoteknik	70
4.3.1	Pemodelan Tanah	71
4.3.2	Pemodelan Timbunan Batubara	74
4.3.3	Pemodelan <i>Rigid Inclusion</i>	76
4.3.4	Pemodelan <i>Deep Cement Mixing</i>	83
4.4	<i>Meshing</i>	86
4.5	Validasi Model Tanah dan Timbunan Batubara	88
4.6	Validasi Ketebalan LTP	90
4.7	Hasil Analisis.....	91
4.7.1	Hasil Analisis Deformasi.....	91
4.7.2	Hasil Analisis Waktu Konsolidasi.....	97

4.7.3	Hasil Analisis Faktor Keamanan	98
4.7.4	Hasil Analisis Tiang <i>Rigid Inclusion</i>	99
4.7.5	Hasil Analisis <i>Geogrid</i>	100
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		108
5.1	Kesimpulan	108
5.2	Saran.....	109
DAFTAR PUSTAKA.....		111
LAMPIRAN.....		115

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Peta Kalimantan Timur (Pemerintah Provinsi Kalimantan Timur Badan Kepegawaian Daerah, 2019).....	2
Gambar 1.2. Denah pertambangan batubara (Data Primer, 2020).....	3
Gambar 1.3. Contoh kerusakan akibat penurunan tanah sekitar (Data Primer, 2020)	3
Gambar 2.1. Peta Atlas Provinsi Kalimantan Timur (Supriyadi, 2016)	6
Gambar 2.2. Peta geologi Kalimantan Timur (A.D, 2013).....	7
Gambar 2.3. Peta tanah lunak Kalimantan Timur (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Badan Geologi, 2019)	8
Gambar 2.4. Tanah aluvial (Yulia, 2015)	8
Gambar 2.5. Tanah organosol (Yulia, 2015)	9
Gambar 2.6. Tanah latosol (Yulia, 2015).....	10
Gambar 2.7. Tanah podsol (Yulia, 2015).....	10
Gambar 2.8. Tanah podsolik (Yulia, 2015).....	11
Gambar 2.9. Gambar grafik plastisitas (Braja M Das, 2014)	12
Gambar 2.10. Klasifikasi USCS (Braja M Das, 2014)	13
Gambar 2.11. Interpretasi jenis tanah Schmertmann (1978) (ScienceDirect, 2020)	13
Gambar 2.12. Grafik hubungan S_u vs LL (Jay Ameratunga, 2016)	18
Gambar 2.13. Korelasi pendekatan antara S_u dan nilai $N-SPT$, diadopsi dari Terzaghi dan Peck (1967) dan Sowers (1979), (Michael Carter, 2016)	18
Gambar 2.14. Grafik korelasi antara sudut efektif dari ketahanan gesek dan indeks plastisitas Gibson (1953), (Michael Carter, 2016)	19
Gambar 2.15. Grafik sudut gesek ϕ vs $N-SPT$ Peck <i>et al.</i> (1974), (Michael Carter, 2016)	20
Gambar 2.16. Skema Perhitungan Tegangan Timbunan (Das, 2011)	26
Gambar 2.17. Jenis-jenis metode perbaikan tanah (SNI 8460:2017).....	28
Gambar 2.18. Gambar pipa penyuntikan semen (SNI 8460:2017).....	29

Gambar 2.19. Proses pelaksanaan <i>compaction grouting</i> (kiri) proses pengeboran awal, (tengah) injeksi bagian bawah), dan (kanan) injeksi bagian atas (Darwis, 2017)	30
Gambar 2.20. Klasifikasi umum metode <i>deep mixing</i> (SNI 8460:2017).....	31
Gambar 2.21. Diagram aplikasi metode <i>deep mixing</i> (SNI 8460:2017).....	31
Gambar 2.22. Pola-pola yang umum digunakan (a) Kolom individual, (b) Tipe blok, (c) Tipe dinding, (d) Tipe grid (Han, 2015)	32
Gambar 2.23. Pengoperasian <i>stone columns</i> (Darwis, 2017).....	34
Gambar 2.24. Gambar ilustrasi <i>stone columns</i> (Darwis, 2017)	35
Gambar 2.25. Gambar <i>dynamic compaction</i> (Dharmendra Singh, 2016).....	35
Gambar 2.26. Skema dan penerapan PVD (Darwis, 2017).....	36
Gambar 2.27. Skema metode ruang hampa (Darwis, 2017)	37
Gambar 2.28. Contoh <i>rigid inclusion</i> di lapangan (Varaksin, Hamidi, Huybrechts, & Denies, 2016)	38
Gambar 2.29. Perbedaan fondasi dangkal, fondasi dalam, fondasi campuran, dan <i>rigid inclusion</i> (ASIRI, 2011)	38
Gambar 2.30. Komponen <i>rigid inclusion</i> (ASIRI, 2011)	39
Gambar 2.31. <i>Arching effect</i> pada bagian LTP Van Eekelen <i>et al</i> 2013 (Pham, 2018)	40
Gambar 2.32. Beban distribusi aksial dalam <i>rigid inclusion</i> (Kristóf Lödör, 2020)	41
Gambar 2.33. Tata letak grup <i>rigid inclusion</i> (ASIRI, 2011)	44
Gambar 2.34. Zona pengaruh 1 tiang dalam tiang group tidak terhingga (ASIRI, 2011)	45
Gambar 2.35. Model NSF menurut Combarieu (1985) (ASIRI, 2011)	45
Gambar 2.36. Cek kapasitas geoteknik untuk tiang tunggal dalam fungsi dari diameter kolom berdasarkan standar dan rekomendasi (Bohn, 2016)	47
Gambar 2.37. Posisi dari 3 bidang netral ditentukan dari tegangan geser profil beserta inklusi. (ASIRI, 2011)	48
Gambar 2.38. Perpindahan tanah pada tingkat kepala inklusi (ASIRI, 2011)	48

Gambar 2.39. Kurva penurunan dari tanah <i>overconsolidated</i> yang dengan perkuatan dan tanpa perkuatan (ASIRI, 2011)	49
Gambar 2.40. Contoh pemodelan <i>axisymmetric models</i> untuk timbunan (ASIRI, 2011)	50
Gambar 2.41. Contoh pemodelan <i>axisymmetric models</i> untuk pelat beton (ASIRI, 2011)	51
Gambar 2.42. Contoh pemodelan <i>axisymmetric models</i> untuk pelat beton (ASIRI, 2011)	51
Gambar 2.43. Contoh pemodelan <i>plane strain models</i> untuk timbunan (ASIRI, 2011)	52
Gambar 2.44. Contoh pemodelan dari 2D menjadi 3D, Satibi (2009) (Pham, 2018)	52
Gambar 2.45. Parameter pemodelan (ASIRI, 2011)	53
Gambar 2.46. Contoh konfigurasi pemodelan timbunan 3D untuk analisis (a) pertimbangan potongan, (b) model elemen hingga (Iman Hosseinpour, 2019)....	53
Gambar 2.47. Kondisi batas untuk pemodelan (ASIRI, 2011)	54
Gambar 2.48. (a) <i>Embedded beam</i> , (b) <i>Hybrid beam</i> , (c) <i>Volumetric element</i> (Kristóf Lődör, 2020)	57
Gambar 2.49. Pola persebaran tiang persegi dan tiang (Gunnvard, 2016)	58
Gambar 3.1. Tahapan Penelitian	65
Gambar 4.1. <i>Grain size</i> BH 1 kedalaman 10 m (merah), BH 1 kedalaman 15 m (jingga), BH 2 kedalaman 10 m (ungu), BH 2 kedalaman 15 m (biru tua), BH 3 kedalaman 10 m (biru muda), BH 3 kedalaman 15 m (kuning) (Data Primer)	69
Gambar 4.2. Sketsa lokasi (Data Primer)	70
Gambar 4.3. Lokasi yang dimodelkan (Data Primer)	70
Gambar 4.4. Lokasi pengecekan tanah (Data Primer)	71
Gambar 4.5. Stratifikasi tanah	71
Gambar 4.6. Dimensi tanah (lapisan C1 (biru muda), lapisan C2 (hijau), lapisan C3-C6 (kuning), lapisan S3-S5 (biru tua)	72
Gambar 4.7. Dimensi timbunan batubara (Data Primer)	75
Gambar 4.8. Dimensi yang dimodelkan	75

Gambar 4.9. Hasil akhir pemodelan timbunan batubara.....	75
Gambar 4.10. Dimensi timbunan batu bara dan <i>rigid inclusion</i> yang dimodelkan tiang sebanyak 642 tiang (tanpa/dengan <i>geogrid</i>)	76
Gambar 4.11. Potongan A-A tampak atas <i>rigid inclusion</i>	77
Gambar 4.12. Potongan A-A tampak samping <i>rigid inclusion</i> (tanpa <i>geogrid</i>)...	77
Gambar 4.13. Potongan A-A tampak samping <i>rigid inclusion</i> (dengan <i>geogrid</i>)	77
Gambar 4.14. Potongan B-B tampak atas <i>rigid inclusion</i>	78
Gambar 4.15. Potongan B-B tampak samping <i>rigid inclusion</i> (tanpa <i>geogrid</i>)....	78
Gambar 4.16. Potongan B-B tampak samping <i>rigid inclusion</i> (dengan <i>geogrid</i>).	78
Gambar 4.17. Pemodelan <i>embedded pile</i> dan <i>plate</i> untuk tiang-tiang CFG.....	79
Gambar 4.18. Pemodelan seluruh model tiang yang dimodelkan.....	79
Gambar 4.19. Pemodelan LTP	80
Gambar 4.20. Pemodelan <i>geogrid</i>	80
Gambar 4.21. Pemodelan lapisan LTP bawah dan tiang	81
Gambar 4.22. Pemodelan <i>geogrid</i> , LTP bawah, dan tiang	81
Gambar 4.23. Pemodelan LTP utuh dan tiang (tanpa/dengan <i>geogrid</i>).....	82
Gambar 4.24. Pemodelan <i>rigid inclusion</i> dan timbunan.....	82
Gambar 4.25. Hasil akhir pemodelan <i>rigid inclusion</i> (tanpa/dengan <i>geogrid</i>)....	83
Gambar 4.26. Dimensi timbunan batubara dan pembagian zona DCM	83
Gambar 4.27. Pembagian pengerjaan zona DCM tiap 3 derajat	84
Gambar 4.28. Dimensi DCM	84
Gambar 4.29. Potongan tampak samping DCM	84
Gambar 4.30. Pemodelan DCM	85
Gambar 4.31. Pemodelan DCM dan timbunan batubara	85
Gambar 4.32. Hasil akhir pemodelan DCM	86
Gambar 4.33. Diskritisasi model tanah	87
Gambar 4.34. Diskritisasi model <i>rigid inclusion</i> (tanpa/dengan <i>geogrid</i>).....	87
Gambar 4.35. Diskritisasi model DCM	88
Gambar 4.36. Hasil pemodelan pada timbunan batubara	89
Gambar 4.37. <i>Arching effect</i> pada LTP dengan tebal 2 m	90
Gambar 4.38. σ'_1 pada area tanah, timbunan batubara, dan <i>rigid inclusion</i>	90

Gambar 4.39. Lokasi potongan	92
Gambar 4.40. Deformasi total pada sepanjang potongan	93
Gambar 4.41. Deformasi arah x pada sepanjang potongan.....	93
Gambar 4.42. Deformasi arah z pada sepanjang potongan	94
Gambar 4.43. Lokasi pengecekan daerah <i>radial pad</i>	95
Gambar 4.44. Deformasi total pada daerah <i>radial pad</i>	96
Gambar 4.45. Deformasi arah x pada daerah <i>radial pad</i>	96
Gambar 4.46. Deformasi arah z pada daerah <i>radial pad</i>	97
Gambar 4.47. Hasil diagram interaksi tiang <i>rigid inclusion</i>	100
Gambar 4.48. Lokasi peninjauan tiang-tiang <i>rigid inclusion</i>	101
Gambar 4.49. Gaya aksial pada tiang-tiang yang ditinjau	101
Gambar 4.50. Gaya lateral arah x pada tiang-tiang yang ditinjau.....	102
Gambar 4.51. Gaya lateral arah y pada tiang-tiang yang ditinjau.....	102
Gambar 4.52. Momen arah x pada tiang-tiang yang ditinjau.....	103
Gambar 4.53. Momen arah y pada tiang-tiang yang ditinjau.....	103
Gambar 4.54. Gesekan kulit pada tiang-tiang yang ditinjau.....	104
Gambar 4.55. Gaya interaksi penurunan tiang arah sumbu x pada tiang-tiang yang ditinjau	104
Gambar 4.56. Gaya interaksi penurunan tiang arah sumbu y pada tiang-tiang yang ditinjau	105
Gambar 4.57. Potongan <i>rigid inclusion</i> tanpa <i>geogrid</i> pada kedalaman -2,5 m.	105
Gambar 4.58. Potongan <i>rigid inclusion</i> dengan <i>geogrid</i> pada kedalaman -2,5 m	106

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Tabel simbol USCS (Das, 2011).....	12
Tabel 2.2. Tabel kepadatan relatif dan klasifikasi tanah berdasarkan nilai N-SPT, Terzaghi dan Peck (1967), (Trihanyndio Rendy Satrya, 2014)	14
Tabel 2.3. Hubungan antara konsistensi dan tekanan konus, Begemann (1965), (Trihanyndio Rendy Satrya, 2014).....	14
Tabel 2.4. Hubungan antara kepadatan, kepadatan relatif, nilai SPT, qc, dan sudut gesekan dalam ϕ , Begemann (1965), (Trihanyndio Rendy Satrya, 2014).....	15
Tabel 2.5. Nilai k menurut Ramaswamy <i>et al</i> (1982) (Bowles, 1997)	15
Tabel 2.6. Nilai tipikal untuk berat jenis tanah dan berat jenis tanah basah, (Jay Ameratunga, 2016).....	16
Tabel 2.7. Korelasi untuk <i>compression index</i> C_c , (Braja M Das, 2014).....	17
Tabel 2.8. Nilai-nilai biasa kohesi efektif, c' (Wesley, 2010).....	21
Tabel 2.9. Nilai tipikal e_u pada tanah <i>clay</i> (Jay Ameratunga, 2016)	22
Tabel 2.10. Nilai tipikal rasio Poisson (Jay Ameratunga, 2016)	22
Tabel 2.11. Rentang nilai m_v untuk berbagai jenis tanah Domenico dan Mifflin (1965), (Jay Ameratunga, 2016)	24
Tabel 2.12. Koefisien M untuk tanah kohesif. (Jay Ameratunga, 2016).	24
Tabel 2.13. Kriteria tanah untuk <i>deep mixing</i> Elias et al (2006) (Han, 2015)	32
Tabel 2.14. Properti umum untuk tanah yang distabilisasi dengan metode basah (Elias et al (2006)), (Han, 2015)	33
Tabel 2.15. Properti umum untuk tanah yang distabilisasi dengan metode kering (Elias et al (2006)), (Han, 2015)	34
Tabel 2.16. Tabel rekomendasi nilai $K_{tan\delta}$ (ASIRI, 2011)	43
Tabel 2.17. Nilai dari parameter $K_{tan\delta}$ (ASIRI, 2011).....	44
Tabel 2.18. Parameter Mohr Coulomb (ASIRI, 2011).....	55
Tabel 2.19. Parameter <i>soft soil model</i> (ASIRI, 2011)	55
Tabel 2.20. Tabel nilai N_q *berdasarkan teori Meyerhof (Das, 2011)	58
Tabel 2.21. Nilai K berdasarkan tes lapangan, Mansur dan Hunter (1970) (Das, 2011)	60

Tabel 2.22. Variasi nilai λ (Das, 2011)	61
Tabel 4.1. Parameter tanah desain.....	68
Tabel 4.2. Jenis tanah pada lapisan yang digunakan dan kedalamannya.....	72
Tabel 4.3. Parameter tanah model <i>soft soil</i> (<i>effective shear strength</i>)	73
Tabel 4.4. Parameter tanah model Mohr Coulomb (<i>drained</i>).....	73
Tabel 4.5. Parameter tanah model Mohr Coulomb (<i>undrained</i>).....	74
Tabel 4.6. Jumlah nodal dan elemen.....	86
Tabel 4.7. Hasil analisis manual	89
Tabel 4.8. Hasil deformasi maksimum dari seluruh bagian model.....	91
Tabel 4.9. Hasil deformasi maksimum pada keseluruhan potongan tanah pada model.....	92
Tabel 4.10. Hasil deformasi pada daerah potongan <i>radial pad</i>	95
Tabel 4.11. Waktu untuk menyelesaikan konsolidasi.....	98
Tabel 4.12. Hasil faktor keamanan	99
Tabel 4.13. Hasil perhitungan <i>geogrid</i> dari program elemen hingga	106