

HALAMAN PERSETUJUAN .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
HALAMAN PERNYATAAN .....	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	v
KATA PENGANTAR .....	vi
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR TABEL .....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
INTISARI .....	xvii
ABSTRACT .....	xviii
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 Studi Terdahulu .....	5
2.2 Gempa Bumi .....	9
2.3 <i>Local Site Effect</i> .....	11
2.4 Kasus-kasus Likuefaksi .....	12
2.4.1 Jembatan <i>Landing, New Zealand</i> .....	13
2.4.2 Jembatan Showa, Jepang .....	14
2.5 Mitigasi Likuefaksi .....	16
2.6 Perilaku Tiang pada Tanah Terlikuefaksi .....	17
2.7 Kebaruan Penelitian .....	18
BAB 3 LANDASAN TEORI .....	20
3.1 Penyelidikan Tanah .....	20
3.1.1 Pengeboran Geoteknik .....	20
3.1.2 <i>Standard Penetration Test (SPT)</i> .....	21
3.1.3 <i>Seismic Downhole Test</i> .....	22
3.2 Analisis Bahaya Seismik .....	23
3.2.1 <i>Deterministic Seismic Hazard Analysis (DSHA)</i> .....	24
3.2.2 <i>Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA)</i> .....	26
3.2.3 Kode Seismik Indonesia SNI 8460:2017 dan SNI 2833:2016 .....	27
3.3 Modifikasi Rekaman Gempa .....	31
3.3.1 Pencocokan dan Penskalaan dalam Modifikasi Rekaman Gempa .....	32
3.3.2 Penentuan Target Respons Spektra .....	32

3.3.3	Pemilihan Rekaman Gerakan Tanah .....	33
3.3.4	Penskalaan dan Pencocokan Spektrum .....	35
3.4	Analisis Potensi Likuefaksi .....	36
3.4.1	Analisis Empiris <i>Simplified Procedure</i> .....	37
3.4.2	Analisis <i>Liquefaction Potential Index (LPI)</i> .....	39
3.4.3	Analisis <i>Liquefaction Severity Index (LSI)</i> .....	39
3.4.4	Analisis Penurunan Tanah Akibat Likuefaksi .....	40
3.4.5	Peningkatan Tekanan Air Pori Berlebih .....	42
3.4.6	Analisis Numeris Potensi Likuefaksi .....	43
3.5	Mitigasi Likuefaksi .....	44
3.6	Kapasitas Dukung Fondasi Tiang Bor .....	44
3.6.1	Metode O'neil dan Reese 1989 .....	45
3.6.2	Berat Tiang Bor dengan Pengaruh Gaya <i>Uplift</i> .....	47
3.6.3	Kapasitas Dukung Izin .....	47
3.6.4	Kapasitas dukung tiang saat kondisi likuefaksi .....	48
3.7	Pemodelan Tiang Bor pada <i>RSPile</i> .....	50
3.7.1	Analisis kapasitas lateral tiang .....	51
BAB 4	METODE PENELITIAN .....	54
4.1	Lokasi Penelitian .....	54
4.2	Data Penelitian .....	55
4.3	Tahapan Penelitian .....	55
4.3.1	Studi Literatur .....	55
4.3.2	Analisis Geologi dan Geoteknik .....	56
4.3.3	Analisis Kegempaan .....	56
4.3.4	Analisis Modifikasi Rekaman Gempa .....	57
4.3.5	Analisis Potensi Likuefaksi .....	58
4.3.6	Analisis Tingkat Keparahan Likuefaksi .....	58
4.3.7	Analisis Penurunan Tanah Pasca Likuefaksi .....	58
4.3.8	Analisis Numeris Potensi Likuefaksi .....	58
4.3.9	Analisis Kapasitas Dukung Fondasi Tiang .....	59
4.3.10	Pemodelan Fondasi Tiang dengan <i>RSPile</i> .....	59
4.4	Bagan Alir Penelitian .....	67
BAB 5	HASIL DAN PEMBAHASAN .....	69
5.1	Analisis Geologi dan Geoteknik .....	69
5.2	Analisis Kegempaan .....	74
5.2.1	Analisis <i>Deterministic Seismic Hazard Analysis</i> .....	75
5.2.2	Analisis <i>Probabilistic Seismic Hazard Analysis</i> melalui <a href="http://lini.binamarga.go.id">lini.binamarga.go.id</a> .....	77
5.3	Modifikasi <i>Ground Motion</i> .....	79
5.3.1	Target Spektra .....	79
5.3.2	Pemilihan Gerak Tanah dan Pencocokan Spektrum .....	80

5.4 Analisis Potensi Likuefaksi.....	82
5.5 <i>Liquefaction Severity Index</i> .....	89
5.6 Analisis Numeris Potensi Likuefaksi.....	89
5.7 Analisis Stabilitas Fondasi Tiang Bor.....	93
5.7.1 Kapasitas Dukung Tiang Bor.....	95
5.7.2 Kapasitas Dukung Lateral menggunakan <i>RSPile</i> .....	104
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN.....	112
6.1 Kesimpulan .....	112
6.2 Saran.....	113
DAFTAR PUSTAKA .....	114
LAMPIRAN.....	121

Tabel 3.1	Hubungan kedalaman muka air tanah dengan kerentanan terjadinya likuefaksi (Youd dkk., 1979).....	21
Tabel 3.2	Relasi $N-SPT$ dengan $Dr$ tanah pasir (Terzaghi dkk., 1996) .....	21
Tabel 3.3	Relasi $N$ dengan konsistensi tanah lempungan (Terzaghi dkk., 1996).....	22
Tabel 3.4	Koefisien regresi <i>Ground Motion Prediction Equation</i> (Atkinson dan Boore, 2003).....	25
Tabel 3.5	Faktor amplifikasi tanah dari batuan dasar ke permukaan .....	25
Tabel 3.6	Koefisien <i>Ground Motion Prediction Equation</i> (Kanno dkk., 2006).....	26
Tabel 3.7	Klasifikasi kelas situs dalam SNI 8460:2017 persyaratan perancangan geoteknik (Badan Standarisasi Nasional Indonesia, 2017) .....	28
Tabel 3.8	Faktor amplifikasi koefisien kelas situs untuk $PGAM$ dan periode 0,2 detik ( $F_a$ )	29
Tabel 3.9	Faktor amplifikasi untuk periode 1 detik ( $F_v$ ) (BSN, 2016) .....	33
Tabel 3.10	Nilai parameter periode pendekatan $C_t$ dan $x$ .....	35
Tabel 3.11	Koefisien untuk perhitungan batas atas pada periode .....	36
Tabel 3.12	Klasifikasi potensi likuefaksi metode $LPI$ (Sonmez, 2003) .....	39
Tabel 3.13	Klasifikasi tingkat keparahan likuefaksi $LSI$ (Sonmez dan Gokceoglu, 2005) ...	40
Tabel 3.14	Klasifikasi dampak penurunan tanah pasca likuefaksi serta potensi kerusakannya di permukaan (Ishihara, 1996).....	41
Tabel 3.15	Nilai faktor koreksi akibat pengaruh lubang, tabung sampler dan batang bor ....	46
Tabel 3.16	Efisiensi pemukul SPT dengan tipe dan mekanisme jatuhnya (Clayton, 1990)..	46
Tabel 3.17	Nilai faktor yang digunakan melalui korelasi $C_u$ dan $\alpha$ .....	47
Tabel 3.18	Nilai faktor aman tiang <i>axial</i> fondasi dalam dari standar yang menjadi rujukan	47
Tabel 3.19	Faktor efisiensi pada tiang fondasi bor kelompok.....	48
Tabel 3.20	Koefisien $K_{atand}$ (Broms dan Fredriksson, 1976).....	50
Tabel 3.21	Parameter $\varepsilon_{50}$ untuk lempung yang terkonsolidasi normal (Rocscience, 2022b)	51
Tabel 3.22	Parameter $\varepsilon_{50}$ untuk lempung yang terkonsolidasi berlebih (Reese dan Welch, 1975) .....	51
Tabel 3.23	Nilai koefisien $k_{py}$ untuk pasir jenuh (Reese dkk., 1974) .....	52
Tabel 3.24	Nilai koefisien $k_{py}$ untuk pasir di atas muka air (Reese dkk., 1974).....	52
Tabel 4.1	Masukan data parameter $PM4Sand$ pada Plaxis2D.....	65
Tabel 4.2	Masukan data parameter pada kondisi gempa dan likuefaksi (ekstrim).....	66
Tabel 5.1	Korelasi data geologi regional dengan hasil deskripsi borelog .....	71
Tabel 5.2	Analisis nilai $PGA$ menggunakan metode $GMPE$ Atkinson dan Boore, (2003).	75
Tabel 5.3	Analisis nilai percepatan tanah puncak pada permukaan tanah menggunakan metode deterministik fungsi atenuasi (Kanno dkk., 2006).....	76
Tabel 5.4	Contoh perhitungan kelas situs berdasarkan $N_{30}$ pada BH-40.....	78
Tabel 5.5	Rekapitulasi nilai $PGA$ menggunakan aplikasi <a href="http://lini.binamarga.go.id">lini.binamarga.go.id</a> .....	79
Tabel 5.6	Target respons spektrum sebagai acuan pencocokan spektrum .....	80
Tabel 5.7	Hasil analisis deagregasi bahaya gempa periode ulang 1.000 tahun.....	80
Tabel 5.8	Rekaman gempa terpilih untuk <i>spectrum matching</i> .....	81
Tabel 5.9	Hasil perhitungan potensi likuefaksi pada BH-40.....	88

Tabel 5.10	Klasifikasi Indeks Keparahan Likuefaksi.....	89
Tabel 5.11	Kombinasi pembebanan titik fondasi P3 dan P4 (PT. Wiratman KSO dan PT WIKA Serang Panimbang Toll Road, 2023).....	95
Tabel 5.12	Data pembebanan dan pilar Jembatan Mainlane STA 54+200 (PT. Wiratman KSO dan PT WIKA Serang Panimbang Toll Road, 2023) .....	97
Tabel 5.13	Perhitungan nilai tahanan friksi ( $Q_s$ ) tiang bor .....	99
Tabel 5.14	Perhitungan pengaruh likuefaksi dan <i>negative skin friction (NSF)</i> pada tiang bor.....	101
Tabel 5.15	Perhitungan pengaruh likuefaksi berdasarkan rasio <i>EPWP</i> pada tiang bor .....	102
Tabel 5.16	Perbandingan nilai $Q_s$ dan $Q_{ult}$ pada kondisi normal dan gempa likuefaksi.....	103
Tabel 5.17	Perbandingan nilai $Q_g$ dan $P$ pada kondisi normal dan likuefaksi .....	104
Tabel 5.18	Hasil simulasi kapasitas lateral tiang tunggal.....	106
Tabel 5.19	Nilai perpindahan fondasi tiang kelompok pada kondisi layan dan ekstrim.....	111

Gambar 2.1	Hubungan antar partikel di bawah pembebanan gempa (Nath dkk., 2018).....	5
Gambar 2.2	Kurva batas ukuran butir untuk tanah potensi likuefaksi dan tidak mudah terlikuefaksi (Tsuchida, 1970) .....	7
Gambar 2.3	Sumber zona gempa sesar aktif dan subduksi (U.S. Geological Survey, 2016) .....	9
Gambar 2.4	Peta zona kerentanan likuefaksi daerah Provinsi Banten dengan modifikasi (Buana dkk., 2019).....	10
Gambar 2.5	Propagasi gelombang seismik pada berbagai jenis material geologi (Keller, 2000) .....	11
Gambar 2.6	Ilustrasi analisis propagasi gelombang satu dimensi (Bolisetti, 2014) .....	12
Gambar 2.7	Perbaikan jembatan <i>Landing</i> pada pilar beton dan penambahan dimensi serta jumlah tiang fondasi (Berrill dkk., 2001).....	13
Gambar 2.8	Mekanisme keruntuhan substruktur fondasi jembatan <i>Landing</i> (Berrill dkk., 2001) .....	14
Gambar 2.9	Pilar C Jembatan dengan bukti gundukan tanah serta lubang celah volume tanah yang hilang jejak dari <i>lateral spreading</i> (EQE dalam Berrill dkk., 2001) .....	14
Gambar 2.10	Keruntuhan Jembatan Showa di Niigata (Towhata, 2008) .....	15
Gambar 2.11	<i>Lateral displacement</i> pada dan <i>quay wall</i> sepanjang Sungai Shinano di dekat Jembatan Showa (Towhata, 2008) .....	15
Gambar 2.12	Kenampakan runtuhnya superstructure Jembatan Showa dengan penunjuk bantalan fleksibel (M) dan bantalan kaku (F) dan keterangan pergerakan horizontal di bagian bawah setiap pilar (Yoshida dkk., 2007).....	16
Gambar 2.13	Alur proses pengambilan keputusan dalam mitigasi terhadap likuefaksi (Towhata, 2008) .....	16
Gambar 2.14	Model keruntuhan untuk fondasi tiang tunggal pada tanah likuefaksi (a) kerusakan <i>buckling</i> (b) kegagalan <i>bearing</i> (Madabhushi dkk., 2010).....	18
Gambar 3.1	Layout instrumentasi <i>Downhole Seismic Survey</i> .....	23
Gambar 3.2	<i>Logic tree</i> untuk model sesar dangkal ( <i>shallow crustal</i> ) (PusGeN, 2017) .....	27
Gambar 3.3	Peta percepatan tanah puncak (PGA) di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun (Badan Standarisasi Nasional Indonesia, 2017) .....	30
Gambar 3.4	Relasi faktor aman likuefaksi dengan regangan volumetrik pasca likuefaksi (Ishihara dan Yoshimine, 1992).....	41
Gambar 3.5	Perilaku tanah kondisi likuefaksi dengan <i>excess pore water pressure</i> (Encyclopedia Britannica, 2012).....	42
Gambar 3.6	Mekanisme transfer beban aksial pada tiang (Rocscience, 2022b) .....	51
Gambar 3.7	Distribusi tegangan satuan pada tiang yang dibebani secara lateral pada pendekatan <i>p-y curve</i> (Rocscience, 2022a).....	52
Gambar 3.8	Kurva <i>p-y</i> yang mendefinisikan modulus reaksi tanah (Rocscience, 2022a) .....	53
Gambar 4.1	Peta trase ruas jalan pekerjaan Pembangunan Jalan Tol Serang–Panimbang.....	54
Gambar 4.2	Lokasi fokus penelitian pada STA 54+200 Pembangunan Jembatan Mainlane Jalan Tol Serang-Panimbang Seksi 3 Cileles-Panimbang .....	55



Gambar 4.3	Catatan rekaman gempa Tokachi-oki Sta Meguro, 26 September 2003.....	57
Gambar 4.4	<i>RSPile</i> versi 3 oleh rocscience (Rocscience, 2022a).....	59
Gambar 4.5	Tampilan pengaturan program analisis pada perangkat lunak <i>RSPile</i> .....	60
Gambar 4.6	Pengaturan jenis analisis fondasi tiang kelompok .....	60
Gambar 4.7	Pengaturan input data elevasi muka air tanah .....	61
Gambar 4.8	Pemodelan masukan data karakteristik tanah dan tahanan aksial .....	61
Gambar 4.9	Pemodelan masukan data karakteristik tanah dan tahanan lateral .....	62
Gambar 4.10	Menu <i>Pile Sections</i> untuk masukan data parameter pemodelan tiang bor.....	62
Gambar 4.11	Menu <i>Pile Types</i> untuk masukan data elevasi tiang .....	63
Gambar 4.12	Menu <i>Cap Designer</i> untuk masukan data dimensi <i>pile cap</i> .....	63
Gambar 4.13	Menu <i>Cap Designer</i> untuk masukan data beban pada fondasi tiang .....	64
Gambar 4.14	Contoh model fondasi tiang dan tanah dengan konfigurasi beban .....	64
Gambar 4.15	Bagan Alir Penelitian .....	68
Gambar 5.1	Trase ruas Jalan Tol Serang-Panimbang Seksi III dalam Peta Geologi Regional lembar Jawa Bagian Barat (Ratman dan Gafoer, 1998) .....	69
Gambar 5.2	Kenampakan tanah pasiran pada STA 54+200 (a) kondisi lapangan (b) lapisan tanah pasir lepasan .....	70
Gambar 5.3	Kenampakan sebaran lapisan tanah pada lokasi <i>open-cut</i> (a) kondisi lapangan (b) lapisan tanah pasir dan (c) tampak butiran.....	71
Gambar 5.4	Stratigrafi tanah STA 54+200-STA 54+392.....	72
Gambar 5.5	Plot gradasi butiran tanah terhadap kurva potensi likuefaksi Tsuchida (1970) ..	73
Gambar 5.6	Peta aktivitas seismik di sekitar lokasi penelitian (U.S. Geological Survey (USGS) 2024) .....	74
Gambar 5.7	Hasil deagregasi kontribusi <i>M-R</i> pada lokasi penelitian (Wijaya Karya Serang Panimbang Toll Road dan Wiratman, 2023) .....	75
Gambar 5.8	Target respons spektra desain probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun .....	79
Gambar 5.9	Respon spektral akselerasi hasil pencocokan spektrum.....	81
Gambar 5.10	Rekaman riwayat waktu periode 1000 tahun gempa El Salvador, Sta. 2841 ( <i>Benioff zone</i> ) .....	82
Gambar 5.11	Hubungan nilai <i>SPT</i> dengan kedalaman tanah pada (a) BH-40, (b) BH-41 dan (c) BH-42 .....	85
Gambar 5.12	Grafik hubungan nilai <i>CSR</i> dan <i>CRR</i> dengan kedalaman tanah pada (a) BH- 40, (b) BH-41 dan (c) BH-42 .....	86
Gambar 5.13	Hasil perhitungan nilai faktor aman terhadap likuefaksi pada setiap kedalaman (a) BH-40, (b) BH-41 dan (c) BH-42 .....	87
Gambar 5.14	Model tanah yang diaplikasikan pada analisis numeris .....	90
Gambar 5.15	Hasil simulasi model tanah 1 dimensi di bawah guncangan gempa (a) <i>liquefaction point</i> (b) $r_u$ maksimum pada akhir perhitungan numeris .....	91
Gambar 5.16	Rasio <i>excess pore water pressure</i> ( $r_u$ ) pada model tanah dalam domain waktu .....	92
Gambar 5.17	<i>Arias Intensity synthetic ground motion</i> El Salvador, Sta.2841 ( <i>Benioff zone</i> )..	92
Gambar 5.18	<i>Plan Profile</i> Jembatan STA 54+200 (PT. Wiratman KSO dan PT WIKA Serang Panimbang Toll Road, 2023) .....	93



UNIVERSITAS  
GADJAH MADA

**PENGARUH LIKUEFAKSI TERHADAP STABILITAS FONDASI TIANG BOR PADA PEMBANGUNAN  
JALAN TOL SERANG – PANIMBANG SEKSI III STA. 54+200-54+392**

Muhammad Heykal, Dr. Eng. Ir. Sito Ismanti, S.T., M.Eng., IPM. ; Ir. Hendy Setiawan, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM.  
Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari <http://etd.repository.ugm.ac.id/>

Gambar 5.19	(a) Potongan melintang fondasi tiang bor pilar P3 dan (b) Dimensi fondasi tiang bor (PT. Wiratman KSO dan PT WIKA Serang Panimbang Toll Road, 2023) .....	94
Gambar 5.20	Konfigurasi Tiang Fondasi Kelompok 4x10 pada Pilar P3 dan P4 Jembatan Mainlane STA 54+200 (a) desain <i>pile cap RSPile</i> (b) konfigurasi tiang pada <i>DED</i> .....	96
Gambar 5.21	Hasil simulasi kapasitas lateral tiang pada kondisi layan (normal) .....	105
Gambar 5.22	Hasil simulasi kapasitas lateral tiang pada kondisi ekstrim (likuefaksi) .....	106
Gambar 5.23	Hubungan kapasitas lateral dengan perpindahan lateral tiang .....	107
Gambar 5.24	Nilai pergeseran lateral <i>displacement x</i> kelompok tiang POND 1 kondisi layan dengan (a) <i>output</i> simulasi <i>RSPile</i> dan (b) grafik pergeseran tiang dan kedalaman .....	109
Gambar 5.25	Nilai penurunan <i>displacement z</i> kelompok tiang POND3 kondisi ekstrim likuefaksi dengan (a) <i>output</i> simulasi <i>RSPile</i> dan (b) grafik penurunan tiang dan kedalaman.....	110



Lampiran 1	<i>Plan Profile</i>
Lampiran 2	Data Bor Log dan Pengujian Laboratorium
Lampiran 3	Perhitungan Potensi Likuefaksi Metode <i>Simplified Procedure</i> (Idriss dan Boulanger, 2014)
Lampiran 4	Perhitungan <i>Liquefaction Severity Index (LSI)</i> dan Prediksi Penurunan Tanah Pasca Likuefaksi
Lampiran 5	Perhitungan Kapasitas Dukung Fondasi Tiang Bor
Lampiran 6	Keluaran Hasil Simulasi Fondasi Tiang <i>RSPile</i>
Lampiran 7	<i>Detail Engineering Design (DED)</i>