

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	x
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tinjauan Geologi	5
2.2 Tinjauan Kegempaan	6
2.3 <i>Seismic Hazard Analysis</i>	7
2.4 Zona Kerentanan Likuefaksi.....	9
2.5 <i>Strong Ground Motion</i>	10
2.6 <i>Local Site Effect</i>	11
2.7 <i>Site Specific Response Analysis (SSRA)</i>	12
2.8 Likuefaksi	13
2.8.1 Fenomena likuefaksi pada jembatan.....	14
2.8.2 Faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya likuefaksi.....	16
2.9 Mitigasi Likuefaksi	18
2.9.1 Jenis mitigasi.....	18
2.10 Fondasi Tiang sebagai Mitigasi Likuefaksi	19
2.11 Mitigasi Potensi Likuefaksi pada Struktur <i>Eksisting</i>	20
2.12 Keaslian Penelitian	22
BAB III LANDASAN TEORI	24
3.1 Klasifikasi Tanah	24
3.2 Kelas Situs Tanah	24
3.3 Percepatan Tanah Puncak	26
3.4 <i>Synthetic Ground Motion</i>	30
3.4.1 Penentuan target respons spektrum.....	31
3.4.2 Pemilihan riwayat perekaman percepatan tanah.....	32
3.5 <i>Site Specific Response Analysis (SSRA)</i>	32
3.5.1 <i>Modeling</i>	32
3.5.2 Ketebalan lapisan maksimum	33
3.5.3 Kecepatan gelombang geser	33
3.5.4 Reduksi modulus dan rasio redaman	34

3.5.5	<i>Input ground motion</i>	34
3.5.6	Respons spektrum pada permukaan.....	35
3.5.7	Faktor amplifikasi dan koefisien situs	35
3.6	Analisis Risiko Likuefaksi.....	35
3.6.1	Tegangan efektif tanah.....	36
3.6.2	Rasio tegangan siklik (<i>Cyclic Stress Ratio</i>).	37
3.6.3	Rasio tahanan siklik (<i>Cyclic Resistance Ratio</i>).	37
3.7	<i>Liquefaction Potential Index (LPI)</i>	39
3.8	Analisis Potensi Likuefaksi dengan Metode Numerik	40
3.8.1	Metode nonlinear	40
3.8.2	Metode elemen hingga.....	41
3.9	Kapasitas Dukung Aksial berdasarkan SPT	43
3.9.1	Kapasitas dukung aksial tiang tunggal.....	43
3.9.2	Efisiensi tiang grup	45
3.9.3	Faktor aman	45
3.9.4	Pengaruh likuefaksi terhadap fondasi	46
3.10	Pemodelan Tiang Bor pada RSPile.....	46
3.10.1	<i>Axially loaded piles</i>	46
3.10.2	<i>Laterally loaded piles</i>	47
3.11	Hipotesis	49
BAB IV METODE PENELITIAN.....		50
4.1	Lokasi Penelitian	50
4.2	Data Penelitian.....	50
4.3	Tahapan Penelitian.....	59
4.3.1	Penentuan kelas situs	61
4.3.2	Menentukan <i>ground motion</i>	61
4.3.3	Penentuan faktor keamanan likuefaksi (<i>SF</i>)	63
4.3.4	Penentuan <i>Liquefaction Potensial Index (LPI)</i>	63
4.3.5	Analisis kapasitas dukung fondasi tiang.....	64
4.3.6	Pemodelan fondasi tiang dengan RSPile	64
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN		72
5.1	Kondisi Geologi dan Geoteknik	72
5.1.1	Data gempa	73
5.1.2	Kedalaman muka air tanah.....	74
5.1.3	Gradasi butiran.....	74
5.2	Penentuan Percepatan Tanah Puncak/ <i>Peak Ground Acceleration (PGA)</i>	75
5.2.1	Penentuan <i>PGA</i> berdasarkan pengukuran mikrotremor.....	77
5.2.2	Penentuan <i>PGA</i> menggunakan hubungan atenuasi.....	78
5.2.3	Penentuan <i>PGA</i> berdasarkan kode seismik Indonesia	80
5.3	Analisis Likuefaksi.	82
5.3.1	<i>Simplified Procedure</i> Boulanger dan Idriss (2014)	82
5.3.2	<i>Liquefaction potential Index (LPI)</i>	83
5.3.3	Analisis likuefaksi menggunakan DEEPSOIL v7	84

5.3.4	Analisisi risiko likuefaksi menggunakan Plaxis 2D	89
5.4	Analisis Kapasitas Dukung Fondasi	93
5.4.1	Kapasitas dukung tiang bor.....	94
5.4.2	Kapasitas dukung aksial fondasi tiang bor.....	96
5.4.3	Kapasitas dukung aksial pada kondisi likuefaksi.....	97
5.4.4	Analisis kapasitas dukung izin tiang.....	99
5.4.5	Daya dukung lateral.....	100
5.5	Mitigasi Likuefaksi.....	102
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....		106
6.1	Kesimpulan	106
6.2	Saran	106
DAFTAR PUSTAKA.....		107

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Klasifikasi situs (SNI 2833:2016).....	25
Tabel 3.2	Koefisien situs F_{PGA} (SNI 1726:2019).....	26
Tabel 3.3	Nilai koefisien regresi untuk PGA	28
Tabel 3.4	Koreksi SPT terhadap prosedur pengujian (Youd dkk., 2001).	39
Tabel 3.5	Indeks potensi likuefaksi (LPI) (Iwasaki dkk., 1982).....	40
Tabel 3.6	Parameter $PM4Sand$ untuk lapisan pasir.....	42
Tabel 3.7	Parameter HS Small untuk lapisan lempung.....	42
Tabel 3.8	Nilai koefisien k_{py} berdasarkan Reese dkk., (1974).....	48
Tabel 3.9	Nilai ε_{50} untuk lempung terkonsolidasi normal berdasarkan Matlock dkk. (1970).....	48
Tabel 4.1	Koordinat lokasi penyelidikan tanah area abutmen 2.	51
Tabel 4.2	Lokasi titik mikrotremor sisi timur (Sumber: BMKG Palu).....	55
Tabel 4.3	Hasil uji deformasi saat diberikan pembebanan 200 %.	57
Tabel 4.4	Hasil uji deformasi setelah pelepasan beban 200 %.	57
Tabel 4.5	Titik pengujian mikrotremor.	58
Tabel 4.6	<i>Input</i> parameter pada kondisi normal.....	68
Tabel 4.7	<i>Input</i> parameter kondisi likuefaksi.....	70
Tabel 5.1	Kriteria kedalaman muka air tanah pemicu likuefaksi (Youd dkk. 1979).	74
Tabel 5.2	Hasil perhitungan nilai PGA	82
Tabel 5.3	Ground motion yang sesuai dengan hasil deagregasi....	85
Tabel 5.4	Parameter input dari DEEPSOIL v7.	87
Tabel 5.5	Hasil analisis berpotensi likuefaksi dan memiliki rasio tekanan pori ($ru > 0,8$)....	92
Tabel 5.6	Pembebanan kondisi layan.	95
Tabel 5.7	Pembebanan kondisi ekstrem.	95
Tabel 5.8	Perhitungan nilai QS tiang bor.	96
Tabel 5.9	Tabel perhitungan <i>negative skin friction</i> tiang bor pada kondisi likuefaksi.	97
Tabel 5.10	Perbandingan nilai Q_{ult} dan Q_{all} pada kondisi normal dan likuefaksi.	99
Tabel 5.11	Perbandingan Q_g dan beban pada kondisi normal dan likuefaksi.	99
Tabel 5.12	<i>Displacement</i> pada abutmen 2 kondisi layan.	102
Tabel 5.13	<i>Displacement</i> pada abutment 2 kondisi gempa tanpa lapisan terlikuefaksi.	102
Tabel 5.14	<i>Displacement</i> pada abutmen 2 kondisi gempa dengan lapisan terlikuefaksi.	102
Tabel 5.15	Hasil analisis lateral <i>displacement</i> setelah dilakukan mitigasi.	103

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Jembatan (a) sebelum, dan (b) setelah gempa bumi (Robertson dkk., 2019).....	2
Gambar 1.2	Garis Sesar Palu Koro dan pembangunan Jembatan Palu 4 (PuSGeN, 2019).	2
Gambar 2.1	Modifikasi Peta Geologi Tinjau Lembar Palu, Sulawesi (Sukamto dkk., 1973). .	6
Gambar 2.2	Struktur geologi regional di Pulau Sulawesi (PuSGeN, 2017).	7
Gambar 2.3	Rekaman percepatan gempa Palu 28 September 2018 (JICA-BMKG,2018).	9
Gambar 2.4	Peta zona kerentanan likuefaksi Provinsi Sulawesi Tengah	10
Gambar 2.5	Pengaruh perbedaan litologi terhadap respons getaran (Keller, 2008).	12
Gambar 2.6	Ilustrasi perambatan gelombang satu dimensi (1-D) (Sawicki, 2012).	13
Gambar 2.7	Deformasi pada <i>pile cap</i> Jembatan Ponulele.....	14
Gambar 2.8	Keruntuhan Jembatan Showa (Yoshida dkk., 2007).	15
Gambar 2.9	<i>Elevation view</i> dari Jembatan Showa (Yoshida dkk., 2007).	15
Gambar 2.10	Kerusakan pada penyangga Jembatan Yachiyo (Hamada dkk., 1986).	16
Gambar 2.11	Metode penilaian macam tanah yang mudah terlikuefaksi (Seed et al.,2003). ...	17
Gambar 2.12	Kurva batas-batas gradasi yang mudah terlikuefaksi (Tsuchida, 1970).....	17
Gambar 2.13	Rangkuman metode perbaikan tanah (Mithcell dan Gallagher (1998).	19
Gambar 2.14	Keruntuhan fondasi (a) kerusakan tekuk (b) kegagalan daya dukung	20
Gambar 2.15	Mitigasi likuefaksi pengendalian kenaikan tekanan air pori.	21
Gambar 2.16	Mitigasi likuefaksi pada aspek struktur (Yasuda, 2007)....	22
Gambar 3.1	Hasil pengujian data mikrotremor dengan metode H/V pada titik MT 24.....	27
Gambar 3.2	Mekanisme transfer beban aksial pada tiang (Rocscience, 2022).....	47
Gambar 3.3	Distribusi tegangan pada tiang yang dibebani secara lateral.....	47
Gambar 3.4	Kurva p-y yang mendefinisikan modulus reaksi tanah.	48
Gambar 4.1	Titik bor area abutmen 2.	51
Gambar 4.2	Dokumentasi <i>core box</i> dari laporan survei geoteknik pada BH 04.	52
Gambar 4.3	Pelaksanaan pengujian SPT (JICA Project Team, 2019).	52
Gambar 4.4	Hasil pengujian SPT titik: (a) GA 04, (b) GA 05, (c) GA 06,dan (d) GA 11	54
Gambar 4.5	(a) Pengukuran tekanan pada pengujian, (b) Instalasi pemasangan O-cell <i>test</i>	56
Gambar 4.6	Perlitan pengujian mikrotremor	58
Gambar 4.7	Analisis data mikrotremor menggunakan aplikasi geopsy.....	59
Gambar 4.8	Diagram alir penelitian.	61
Gambar 4.9	Bentuk tipikal respons spektral di permukaan tanah (SNI 2833:2016).....	62
Gambar 4.10	Bagan alir perhitungan potensi likuefaksi Boulanger dan Idriss (2014).	63
Gambar 4.11	Pemodelan tanah untuk tahanan aksial.....	65
Gambar 4.12	Pemodelan tanah untuk tahanan lateral.	65
Gambar 4.13	<i>Define</i> pemodelan tiang bor.	66
Gambar 4.14	Pengaturan elevasi tiang.	66
Gambar 4.15	<i>Define</i> dimensi <i>pile cap</i>	67
Gambar 4.16	<i>Input</i> beban pada tiang.	67
Gambar 4.17	Hasil <i>running program</i> RSPile.....	68
Gambar 5.1	Modifikasi Peta Geologi Tinjau Lembar Palu, (Sukamto dkk., 1973).....	72



Gambar 5.2	Profil penampang lapisan tanah yang memanjang dari barat ke timur.	73
Gambar 5.3	Peta sumber gempa Sulawesi Tengah.	74
Gambar 5.4	Pengujian gradasi pada GA 11 kedalaman 1,5 m sampai 20,5 m.	75
Gambar 5.5	Modifikasi Peta Geologi Tinjau Lembar Palu (Sukanto dkk., 1973).	76
Gambar 5.6	Profil penampang lapisan tanah yang memanjang dari barat ke timur.	76
Gambar 5.7	Mikrozonasi nilai PGA berdasarkan pengukuran mikrotremor.	77
Gambar 5.8	Kurva VS30 dihitung oleh Dinver pada titik uji mikrotremor 31.	78
Gambar 5.9	Mikrozonasi nilai PGA berdasarkan atenuasi Kanno, (2006).	79
Gambar 5.10	Mikrozonasi nilai PGA berdasarkan atenuasi Boore dkk. (2014).	80
Gambar 5.11	Mikrozonasi nilai PGA berdasarkan kode seismik.	81
Gambar 5.12	Hasil faktor keamanan likuefaksi.	83
Gambar 5.13	Pemilihan <i>ground motion</i> berdasarkan peta deagregasi (PuSGeN, 2022).	84
Gambar 5.14	Target respons spektral.	85
Gambar 5.15	<i>Mean matched spectrum</i> hasil <i>matching</i> menggunakan SeismoMatch 2022.	86
Gambar 5.16	<i>Acceleration time-histories</i> (a) <i>original</i> (b) <i>matched</i>	86
Gambar 5.17	Parameter <i>input</i> dari aplikasi DEEPSOIL v7.	87
Gambar 5.18	(a) Hasil perhitungan <i>ru</i> dan, (b) <i>time history</i> dari nilai <i>ru</i> pada GA 04.	88
Gambar 5.19	(a) Hasil perhitungan <i>ru</i> dan, (b) <i>time history</i> dari nilai <i>ru</i> pada GA 05.	88
Gambar 5.20	(a) Hasil perhitungan <i>ru</i> dan, (b) <i>time history</i> dari nilai <i>ru</i> pada GA 06.	88
Gambar 5.21	(a) Hasil perhitungan <i>ru</i> dan, (b) <i>time history</i> dari nilai <i>ru</i> pada GA 11.	89
Gambar 5.22	Parameter <i>input</i> Plaxis 2D.	89
Gambar 5.23	Hasil analisis menggunakan Plaxis 2D pada titik GA 04.	90
Gambar 5.24	Hasil analisis menggunakan Plaxis 2D pada titik GA 05.	90
Gambar 5.25	Hasil analisis menggunakan Plaxis 2D pada titik GA 06.	91
Gambar 5.26	Hasil analisis menggunakan Plaxis 2D pada titik GA 11.	91
Gambar 5.27	Hasil analisis potensi likuefaksi dari konsultan perencanaan.	93
Gambar 5.28	<i>Plan view</i> Jembatan Palu 4 (OCG dan Yachiyo, 2019).	93
Gambar 5.29	Potongan melintang fondasi tiang bor abutmen 2 dan dimensi tiang bor.	94
Gambar 5.30	Posisi pembebanan pada <i>pile cap</i>	95
Gambar 5.31	Nilai penurunan tiang pada kondisi normal.	100
Gambar 5.32	Nilai penurunan tiang pada kondisi ekstrem.	101
Gambar 5.33	Nilai penurunan tiang pada kondisi ekstrem dan lapisan tanah terlikuefaksi. .	101
Gambar 5.34	Mitigasi likuefaksi dengan menambah <i>bored pile</i>	103
Gambar 5.35	Hasil analisis <i>displacement</i> arah X, setelah dilakukan mitigasi.	104
Gambar 5.36	Hasil analisis <i>displacement</i> arah Y, setelah dilakukan mitigasi.	104