

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
INTISARI	xiv
ABSTRACT	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Batasan Masalah	5
1.4 Tujuan Penelitian	6
1.5 Manfaat Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Tinjauan Geologi Daerah Penelitian	7
2.1.1 Tektonik setting	7
2.1.2 Stratigrafi Daerah Penelitian	9
2.2 Penelitian Terdahulu	11
BAB III DASAR TEORI	15
3.1 Gelombang Seismik	15
3.2 Likuifaksi	17
3.2.1 Mekanisme Likuifaksi	18
3.2.2 Dampak Likuifaksi	20
3.2.3 Syarat Terjadinya Likuifaksi	25
3.3 Metode <i>Horisontal-to-Vertical Spectral Ratio</i> (HVSr)	28
3.3.1 Mikrotremor	28
3.3.2 Prinsip Dasar Metode HVSr	29
3.3.3 Jenis Gelombang dalam HVSr Mikrotremor	32
3.3.4 Karakteristik Kurva HVSr	33
3.4 Ketebalan Lapisan Sedimen	35
3.5 <i>Peak Ground Acceleration</i>	37
3.6 <i>Ground Shear Strain</i>	39
3.7 Metode <i>Standar Penetration Test</i> (SPT)	41
3.7.1 Peralatan SPT	41
3.7.2 Prosedur Pengujian dengan SPT	42

3.7.3 Hubungan N-SPT dengan Kecepatan Gelombang S.....	43
3.8 Evaluasi Potensi Likuifaksi dengan Kecepatan Gelombang S .	44
3.8.1 <i>Cyclic Stress Ratio</i> (CSR)	44
3.8.2 Kecepatan Gelombang S Terkoreksi <i>Stress</i>	49
3.8.3 <i>Cyclic Resistance Ratio</i> (CRR)	50
3.8.4 <i>Magnitudo Scaling Factor</i> (MSF).....	51
3.8.5 <i>Factor of Safety</i> (FS)	52
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN	54
4.1 Lokasi dan Waktu Penelitian	54
4.2 Peralatan dan Bahan.....	55
4.3 Diagram Alir Penelitian	55
4.4 Prosedur Pengumpulan Data.....	56
4.5 Pengolahan Data	59
4.5.1 Pengolahan Data Mikrotemor <i>Single Station</i>	59
4.5.2 Perhitungan Ketebalan Lapisan Sedimen.....	68
4.5.3 Perhitungan Ground Shear Strain.....	68
4.5.4 <i>Overlay Ground Shear Strain</i> dan Kedalaman Air Tanah.....	69
4.5.5 Perhitungan <i>Factor of Safety</i>	71
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	74
5.1 Kurva HVSR	74
5.2 Reliabilitas dan <i>Clear Peak</i>	77
5.3 Frekuensi Dominan	82
5.4 Ketebalan Lapisan Sedimen dan Morfologi <i>Bedrock</i>	84
5.5 Faktor Amplifikasi.....	96
5.6 Indeks Kerentanan Seismik	99
5.7 <i>Peak Ground Acceleration</i>	101
5.8 <i>Ground Shear Strain</i>	103
5.9 Kedalaman Air Tanah.....	105
5.10 <i>Factor of Safety</i>	106
5.11 Potensi Likuifaksi di Kota Yogyakarta	114
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....	119
6.1 Kesimpulan	119
6.2 Saran	120
DAFTAR PUSTAKA	121
LAMPIRAN.....	128

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Peta seismisitas Indonesia tahun 2000 – 2018 untuk magnitudo gempabumi $M_w \geq 5.0$ SR (data gempabumi diunduh dari katalog gempabumi USGS: https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/)	1
Gambar 1.2	Contoh kejadian likuifaksi di Yogyakarta akibat gempa 2006: (a) <i>Sand boil</i> pada sumur terbuka, (b) <i>Lateral spreading</i> pada tepi jalan (Adi, 2013 dalam Mase, 2017).....	2
Gambar 1.3	Lokasi kejadian likuifaksi akibat gempa Yogyakarta 2006 (dimodifikasi dari Soebowo dkk., 2007)	3
Gambar 2.1	Peta geologi regional daerah penelitian (dimodifikasi dari Rahardjo dkk., 1995 dan Barianto dkk., 2009).....	7
Gambar 2.2	Penampang skematik kerangka tektonik yang memotong Pulau Jawa bagian barat (Clements dkk., 2009).....	8
Gambar 2.3	Stratigrafi sistem akuifer di bawah Kotamadya Yogyakarta (Putra dkk., 2013)	10
Gambar 2.4	Peta bahaya Likufaksi DIY (dimodifikasi dari Adawiyah, 2008).....	12
Gambar 2.5	Peta keluasan daerah terjadinya likuifaksi sebagai fungsi kedalaman air tanah (Hartantyo dkk., 2013.....	13
Gambar 3.1	Ilustrasi Gelombang P (Elnashai dan Sarno, 2008).....	16
Gambar 3.2	Ilustrasi Gelombang S (Elnashai dan Sarno, 2008).....	16
Gambar 3.3	Ilustrasi Gelombang <i>Rayleigh</i> (Elnashai dan Sarno, 2008)....	17
Gambar 3.4	Ilustrasi Gelombang <i>Love</i> (Elnashai dan Sarno, 2008)	17
Gambar 3.5	Mekanisme likuifaksi akibat gempabumi (dimodifikasi dari Iqbal dkk., 2014).....	19
Gambar 3.6	Bangunan apartemen yang miring di Kawagishi, Niigata, Jepang karena <i>loss of bearing strength</i> akibat gempabumi 1964 (https://geomaps.wr.usgs.gov/sfgeo/liquefaction/aboutliq.html)	21
Gambar 3.7	<i>Lateral spreading</i> di dusun Sengiran, Sumberharjo akibat gempa Yogya 2006 (Elnashai dkk., 2006)	21
Gambar 3.8	<i>Sand boil</i> di sedimen sungai Pajaro akibat gempa Loma Prieta 1989 (https://geomaps.wr.usgs.gov/sfgeo/liquefaction/aboutliq.html)	22
Gambar 3.9	<i>Flow failure</i> di sekitar tepi jalan danau Merced di San Fransisco selama gempa di Kota Daly tahun 1957 (https://geomaps.wr.usgs.gov/sfgeo/liquefaction/aboutliq.html).....	23
Gambar 3.10	Distrik Marina San Francisco yang mengalami getaran dan likuifaksi yang cukup kuat pada gempabumi Loma Prieta 1989 (https://geomaps.wr.usgs.gov/sfgeo/liquefaction/aboutliq.html)	24
Gambar 3.11	<i>Ground cracking, settlement, dan lateral deformation</i> akibat gempa Yogyakarta 2006 (7.9464°S, 110.2974°E) (Anonim, 2006b)	24
Gambar 3.12	Prinsip dasar metode HVSR (dimodifikasi dari Nakamura,	

	2008).....	29
Gambar 3.13	Rasio komponen horisontal dan komponen vertikal di <i>bedrock</i> di Kamonomiya dan Tabata, Jepang (Nakamura, 1989).....	30
Gambar 3.14	Perbandingan kurva HVSR antara hasil pengukuran dengan pemodelan berbasis gelombang badan dan gelombang permukaan pada mode ke 10 (Dal Moro, 2010).....	33
Gambar 3.15	Contoh kurva HVSR (SESAME, 2004b).....	34
Gambar 3.16	Hubungan antara ketebalan sedimen dan amplitudo (dimodifikasi dari Seht dan Wohlenberg, 1999).....	36
Gambar 3.17	Ilustrasi percepatan getaran tanah maksimum (dimodifikasi dari Sari, 2016).....	37
Gambar 3.18	Model untuk perhitungan regangan geser di permukaan (dimodifikasi dari Nakamura, 2008).....	39
Gambar 3.19	Alat pengambilan contoh tabung belah (SNI, 2008).....	42
Gambar 3.20	Skema urutan uji penetrasi standar (<i>SPT</i>) (SNI, 2008).....	43
Gambar 3.21	Elemen tanah yang bergerak sebagai <i>rigid body motion</i> (dimodifikasi dari Pawirodikromo, 2012).....	45
Gambar 3.22	Hubungan kedalaman lapisan tanah dengan <i>strees reduction factor</i> (Pawirodikromo, 2012).....	47
Gambar 3.23	Elemen tanah pada kedalaman z dengan permukaan air tanah berada: (a) pada permukaan tanah, (b) dibawah permukaan tanah (dimodifikasi dari Budhu, 2010).....	48
Gambar 3.24	Hubungan antara CSR atau CRR dengan V_{S1} yang direkomendasikan untuk <i>clean, uncemented soils</i> yang dikombinasikan dengan data kejadian likuifaksi. (Andrus dan Stokoe, 2000).....	50
Gambar 3.25	Nilai MSF dari beberapa peneliti yang direkomendasikan oleh NCEER Workshop (Youd dan Idriss, 2001).....	52
Gambar 4.1	Lokasi penelitian.....	54
Gambar 4.2	Diagram Alir Penelitian.....	56
Gambar 4.3	Sebaran titik pengukuran mikrotremor <i>single station</i> , titik pengukuran kedalaman air tanah (Kurniawan, 2014), dan titik bor (Kyaw, 2015)......	57
Gambar 4.4	Contoh <i>raw data</i> mikrotremor <i>single station</i> untuk titik F1	59
Gambar 4.5	Diagram alir pengolahan data mikrotremor <i>single station</i> (dimodifikasi dari algoritma pengolahan kurva HVSR geopsy).....	60
Gambar 4.6	Proses koreksi <i>baseline</i>	61
Gambar 4.7	Pengaturan lebar <i>window</i> dan hasil <i>windowing</i> untuk data F1	62
Gambar 4.8	Hubungan koefisien <i>bandwith</i> dengan : (a) standar deviasi (b) frekuensi natural.....	64
Gambar 4.9	Pengaturan jenis <i>smoothing</i> , konstanta <i>bandwith</i> dan metode penggabungan komponen horisontal.....	65
Gambar 4.10	Contoh kurva HVSR untuk titik data F1.....	66
Gambar 4.11	Diagram Alir metode SAW (Setiawan, 2009 dalam Prabowo, 2015).....	69

Gambar 4.12	Diagram alir perhitungan <i>Factor of Safety</i>	72
Gambar 5.1	Contoh tipe kurva HVSR : (a) Tipe 1 (b) Tipe 2 (c) Tipe 3 (d) Tipe 4	74
Gambar 5.2	Sebaran tipe kurva HVSR	75
Gambar 5.3	Kondisi tanah di sekitar lokasi kurva HVSR tipe 4.....	77
Gambar 5.4	Peta sebaran nilai frekuensi dominan tinggi.....	83
Gambar 5.5	Peta sebaran nilai frekuensi dominan rendah	83
Gambar 5.6	Peta sebaran nilai kecepatan gelombang S (V_{S30}) (dimodifikasi dari Muzli dkk., 2016)	85
Gambar 5.7	Ketebalan lapisan sedimen dangkal.....	86
Gambar 5.8	<i>Cross section</i> ketebalan lapisan sedimen dangkal dan litologi bor DH-01, DH-02, DH-03, DH-05, DH-06, DH-07, dan DH-08	87
Gambar 5.9	<i>Cross section</i> ketebalan lapisan sedimen dangkal dan litologi bor DH-04, DH-09, dan DH-10.....	88
Gambar 5.10	Ketebalan lapisan sedimen total	91
Gambar 5.11	Interpretasi bawah permukaan dari data gravity (Winardi dkk., 2013), kotak merah menunjukkan perkiraan lokasi Kotamadya Yogyakarta.	92
Gambar 5.12	Morfologi lapisan <i>bedrock</i> dangkal (<i>engineering bedrock</i>) ...	93
Gambar 5.13	Morfologi lapisan <i>bedrock</i> dalam.....	93
Gambar 5.14	Perbandingan lokasi sesar turun hasil interpretasi mikrotremor dengan lokasi sesar dari penelitian sebelumnya	94
Gambar 5.15	Model bawah permukaan Kotamadya Yogyakarta	95
Gambar 5.16	Peta sebaran nilai faktor amplifikasi pada frekuensi dominan Tinggi	96
Gambar 5.17	Peta sebaran nilai faktor amplifikasi pada frekuensi dominan rendah.	97
Gambar 5.18	Hubungan antara pergeseran frekuensi dengan frekuensi resonansi.	99
Gambar 5.19	Perbandingan kurva HVSR beramplifikasi tinggi (titik C3) dan rendah (titik C8).....	99
Gambar 5.20	Peta Indeks Kerentanan Seismik lapisan sedimen dangkal di Kotamadya Yogyakarta	100
Gambar 5.21	Grafik jumlah kerusakan rumah penduduk di Kotamadya Yogyakarta akibat gempa Mei 2006 (Marjuki dan Yogafanny, 2008)	100
Gambar 5.22	Lokasi sesar yang menyebabkan gempa Mei 2006, hasil analisis data INSAR (Tsuji dkk., 2009).....	102
Gambar 5.23	Peta <i>Peak Ground Acceleration</i> akibat gempa Mei 2006	102
Gambar 5.24	Peta <i>Ground Shear Strain</i> di Kotamadya Yogyakarta.	104
Gambar 5.25	Peta kedalaman air tanah di Kotamadya Yogyakarta (dimodifikasi dari Kurniawan, 2014)	105
Gambar 5.26	Korelasi nilai CSR, CRR, dan FS dengan litologi data bor: (a) titik DH-01 (b) titik DH-02 (c) titik DH-03 (d) titik DH-04 (e) titik DH-05 (f) titik DH-06 (g) titik DH-07 (h) titik DH-08 (i) titik DH-09 (j) titik DH-10	109
Gambar 5.27	Peta potensi Likuifaksi di Kotamadya Yogyakarta	116

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Matriks wilayah bahaya likuifaksi di DIY, dibuat berdasarkan jumlah kejadian likuifaksi	11
Tabel 3.1	Hubungan antara tingkat kerusakan dengan perkiraan penurunan tanah (Ishihara, 1996).....	25
Tabel 3.2	Jenis sumber gelombang mikrotemor berdasarkan frekuensinya (SESAME, 2004a).....	28
Tabel 3.3	Rasio gelombang <i>Rayleigh</i> dan gelombang <i>Love</i> yang terkandung dalam mikrotremor (Bonney-Cludet dkk., 2006b)	32
Tabel 3.4	Klasifikasi tanah berdasarkan nilai frekuensi dominan (Kanai dalam Arifin dkk., 2013)	35
Tabel 3.5	Deskripsi kualitatif PGA dan MMI (https://www.bmkg.go.id/gempabumi/skala-mmi.bmkg)	38
Tabel 3.6	Hubungan <i>ground shear strain</i> terhadap kondisi dan sifat dinamika tanah permukaan (Ishihara, 1996)	40
Tabel 3.7	Hubungan nilai N-SPT dengan V_s dari beberapa peneliti (Abkhiz dkk., 2015)	44
Tabel 3.8	Nilai MSF yang diperoleh oleh beberapa peneliti (Youd dan Noble, 1997 dalam Youd dan Idriss, 2001)	51
Tabel 4.1	Pedoman perekaman data mikrotremor (SESAME, 2004b)	58
Tabel 4.2	Nilai ambang untuk σ_f dan $\sigma_A(f_0)$	68
Tabel 4.3	Rangking alternatif pada setiap atribut.....	70
Tabel 4.4	Hasil normalisasi bobot dan standarisasi nilai ranking	71
Tabel 4.5	Korelasi nilai N-SPT dengan berat jenis tanah (Budhu, 2010)...	73
Tabel 5.1	Parameter kurva HVSR titik F1	78
Tabel 5.2	Nilai amplitudo HVSR rata-rata, deviasi bawah, dan standar deviasi dari kurva HVSR titik F1 pada rentang frekuensi 0,1 – 20 Hz	79
Tabel 5.3	Hasil uji <i>clear peak</i> untuk puncak frekuensi tinggi.....	81
Tabel 5.4	Hasil uji <i>clear peak</i> untuk puncak frekuensi rendah.....	81
Tabel 5.5	Perbandingan ketebalan sedimen dari analisis mikrotremor dan data bor	90
Tabel 5.6	Klasifikasi tingkat amplifikasi (Suharna, 2009).....	97
Tabel 5.7	Nilai <i>ground shear strain</i> pada lokasi kejadian likuifaksi akibat gempa Mei 2006.....	104
Tabel 5.8	Perhitungan <i>Factor of Safety</i> pada titik bor DH-01	107
Tabel 5.9	Lanjutan perhitungan <i>Factor of Safety</i> pada titik bor DH-01	107
Tabel 5.10	Rangkuman hasil analisis dari data bor.....	114
Tabel 5.11	Klasifikasi potensi likuifaksi berdasarkan hasil <i>overlay</i> peta <i>ground shear strain</i> dan kedalaman air tanah	115
Tabel 5.12	Skor total pada lokasi kejadian likuifaksi	118
Tabel 5.13	Skor total pada titik bor yang ditemukan sedimen yang berpotensi mengalami likuifaksi	118

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Spesifikasi Seismometer	128
Lampiran 2	Kurva HVSR di setiap titik pengukuran	129
Lampiran 3	Nilai frekuensi dominan, faktor amplifikasi, indeks kerentanan seismik, PGA batuan dasar, <i>ground shear strain</i> ketebalan lapisan sedimen, elevasi, dan elevasi <i>bedrock</i> pada tiap titik pengukuran mikrotremor.	139
Lampiran 4	Uji Reliabilitas	143
Lampiran 5	Uji <i>Clear Peak</i>	148
Lampiran 6	Data gempabumi di Yogyakarta dan sekitarnya untuk Magnitudo minimum 5,5 (USGS)	156
Lampiran 7	Data kedalaman muka air tanah di Kota Yogyakarta (Kurniawan, 2014)	157
Lampiran 8	Perhitungan <i>Factor of Safety</i>	158