

**ANALISIS POTENSI LIKUIFAKSI BERDASARKAN
GLOBAL GEOSPATIAL MODEL DI KECAMATAN
NGLUWAR KABUPATEN MAGELANG JAWA
TENGAH**

TUGAS AKHIR

Untuk memenuhi sebagian persyaratan
mencapai derajat Sarjana S-1

Program Studi Fisika



**STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA**

diajukan oleh :

Zulianing Sulistiyo

15620021

PROGRAM STUDI FISIKA

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA

YOGYAKARTA

2019



PENGESAHAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Nomor :B-4282/Un.02/DST/PP.05.3/09/2019

Skrripsi/Tugas Akhir dengan judul : ANALISIS POTENSI LIKUIFAKSI BERDASARKAN *GLOBAL GEOSPATIAL MODEL* DI KECAMATAN NGLUWAR KABUPATEN MAGELANG JAWA TENGAH.

Yang dipersiapkan dan disusun oleh :
Nama : Zulianing Sulistiyo
NIM : 15620021
Telah dimunaqasyahkan pada : 20 September 2019
Nilai Munaqasyah : A
Dan dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga

TIM MUNAQASYAH :

Ketua Sidang

Dr. Thaqibul Fikri Niyartama, S.Si., M.Si.
NIP. 19771025 200501 1 004

Penguji I

Nugroho Budi Wibowo, M.Si.
NIP.19840223 200801 1 011

Penguji II

Drs. Nur untoro, M.Si.
NIP. 19661126 199603 1 001

Yogyakarta, 20 September 2019
UIN Sunan Kalijaga
Fakultas Sains dan Teknologi
Dekan



Dr. Murtono, M.Si
NIP. 19691212 200003 1 001



SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Persetujuan skripsi

Lamp : -

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

di Yogyakarta

Assalamu'alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Zulianing Sulistiyo

NIM : 15620021

Judul Skripsi : Analisis Potensi Likuifaksi Berdasarkan Global Geospatial Model
di Kecamatan Ngluwar Kabupaten Magelang Jawa Tengah

sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam bidang Fisika.

Dengan ini kami mengharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqosyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 3 September 2019

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Thaibul Fikri Niyartama, S.Si., M.Si

NIP. 19771025 200501 1 004

Nugroho Budi Wibowo, M.Si

NIP. 19840223 200801 1 011

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya menyatakan bahwa Tugas Akhir yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan Tugas Akhir ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah dan etika penulisan ilmiah. Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi-sanksi lainnya sesuai dengan peraturan yang berlaku, apabila dikemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Yogyakarta, 3 September 2019

Penulis



Zulianing Sulistiyo
NIM. 15620021

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

MOTTO

"Seseorang tidaklah berhasil menuntut ilmu (dengan baik) apabila dia selalu merasa bosan, seakan tidak membutuhkannya. Akan tetapi, seseorang akan berhasil menuntut ilmu jika melakukannya dengan perjuangan dan susah payah, penuh semangat dan hidup prihatin."

(Imam Syafi'e)

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

PERSEMBAHAN

Bismillahirrohmanirrohim

Dengan Rahmat Allah yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang, dengan ini saya persembahkan laporan ini untuk

- ♥ (Alm) Bapak Budiyono terimakasih atas limpahan kasih sayang semasa hidupnya dan memberikan rasa rindu yang berarti.
- ♥ Ibu Munifah dan Bapak Darobi terimakasih atas limpahan do'a dan kasih sayang yang tak terhingga dan selalu memberikan yang terbaik.
- ♥ Mas Imam, Mas Nur, dan dek Nadhir yang selalu memberi semangat.
- ♥ Badrun, Umar, Yani, dan Mas Hendri yang telah membantu pengambilan data di lapangan.
- ♥ Naf Roil terimakasih atas supportnya dan selalu ada buat saya.
- ♥ Teman-teman Geofisika 2015 (Badrun, Yani, Azha, Aini, Isna).
- ♥ Teman-teman Fisika 2015.
- ♥ Almamaterku tercinta khususnya Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga.

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum Wr. Wb

Alhamdulillah hirobbil'alamin, puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufiq, hidayah serta inayah-Nya dan selalu membimbing ke jalan yang diridhoi dengan menurunkan para utusan pilihan-Nya.

Shalawat dan Salam selalu tucurahkan kepada Nabi besar junjungan kita, Nabi Muhammad SAW yang telah membawa kita dari alam jahiliah ke jalan yang terang. Rasa syukur dan pujian penulis haturkan karena terselesaikannya penyusunan skripsi dengan judul “Analisis Potensi Likuifaksi Berdasarkan *Global Geospatial Model* di Kecamatan Ngluwar Kabupaten Magelang Jawa Tengah” untuk memenuhi syarat memperoleh gelar sarjana strata satu di Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta. Penyelesaian skripsi ini tentunya tidak lepas dari bantuan dan dukungan serta bimbingan berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis sangat berterima kasih kepada :

1. Prof. Drs. K.H. Yudian Wahyudi, M.A., Ph.D. selaku Rektor UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
2. Dr. Murtono, M.Si. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
3. Bapak Thaqibul Fikri Niyartama, M.Si selaku Ketua Program Studi Fisika dan sebagai pembimbing I yang dengan kesabaran dan keikhlasannya dalam memberikan saran dan kritik yang sangat membangun sehingga bisa terselesaikan skripsi ini dengan baik.

4. Bapak Nugroho Budi Wibowo, M.Si selaku pembimbing II yang telah memberikan bimbingan dengan penuh keikhlasan dan keterbukaan dalam penulisan skripsi sehingga dapat terselesaikan dengan baik.
5. Ibu Nana Nawangsari dan Ibu Juwita selaku pembimbing di lapangan.
6. Semua staf Tata Usaha dan karyawan di lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta dan Semua Staff Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Yogyakarta yang secara langsung maupun tidak langsung telah membantu terselesaikannya skripsi ini.
7. Keluarga besar bidang minat Geofisika yang telah memberikan kontribusi positif dalam penyusunan laporan penelitian ini.
8. Teman-teman Fisika 2015 yang telah memberikan masukan-masukan positif selama penyusunan laporan penelitian ini.
9. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih banyak kekurangan dan jauh dari sempurna. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat khususnya bagi pembaca dan seluruh praktisi yang berhubungan dengan skripsi ini.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb

Yogyakarta, 3 September 2019

Penulis

ANALISIS POTENSI LIKUIFAKSI BERDASARKAN *GLOBAL GEOSPATIAL MODEL* DI KECAMATAN NGLUWAR KABUPATEN MAGELANG JAWA TENGAH

Zulianing Sulistiyo
15620021

INTISARI

Telah dilakukan penelitian analisis potensi likuifaksi berdasarkan pengukuran mikrotremor dan menggunakan pendekatan *global geospatial model*. Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan Seismograf TDS 303S pada 41 titik pengukuran dengan spasi antar titik pengukuran 1 km. Data hasil pengukuran dianalisis menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr)* untuk mendapatkan nilai frekuensi dominan (f_0) dan amplifikasi (A_0). Nilai f_0 berkisar dari 0,63 Hz s.d 13,06 Hz. Daerah yang memiliki tingkat bahaya seismik tinggi ditemukan pada daerah yang memiliki nilai f_0 rendah yaitu $\leq 2,5$ Hz. Pengukuran probabilitas likuifaksi $P[Liq]$ menggunakan metode *global geospatial model* dengan tiga parameter utama yaitu percepatan getaran tanah (PGA), tipe tanah ($Vs30$), dan parameter hidrologi tanah (CTI). Hasil perhitungan dari ketiga parameter tersebut peluang likuifaksi mendekati nilai 1. Nilai frekuensi dominan untuk penentuan nilai (PGA), nilai CTI berupa data sekunder diperoleh dari peta topografi daerah penelitian, dan untuk nilai $Vs30$ berupa data sekunder yang diperoleh dari situs USGS. Penentuan potensi likuifaksi dibuat pemodelan berdasarkan terjadinya gempa di jalur sesar dengan berbagai macam magnitudo gempa. Magnitudo gempa yang digunakan yaitu 2, 3, dan 4 dengan kedalaman gempa 15 km. Berdasarkan hasil pengolahan kemudian dibuat peta mikrozonasi untuk mengetahui daerah yang berpotensi. Hasil dari mikrozonasi, potensi likuifaksi terjadi hampir di sebagian daerah penelitian yaitu saat terjadi gempabumi dengan magnitudo 3, sedangkan dengan magnitudo gempa 4 hampir seluruh daerah penelitian mempunyai potensi likuifaksi yaitu nilai $P[Liq]$ dari 0,91 hingga 1. Berdasarkan peta topografi untuk analisis ketinggian daerah yang berpotensi likuifaksi berada di ketinggian 100 m hingga 300 m.

KATA KUNCI : *HVSr*, mikrotremor, likuifaksi, PGA , $Vs30$, CTI

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

**ANALYSIS OF LIQUEFACTION POTENTIAL BASED ON THE GLOBAL GEOSPATIAL
MODEL IN THE NGLUWAR DISTRICT MAGELANG REGENCY CENTRAL JAVA**

Zulianing Sulistiyo
15620021

ABSTRACT

A liquefaction potential analysis study was conducted based on microtremor measurements and using the global geospatial model. Data collection was carried out using seismographs TDS-303S at 41 measurement points with space between measurement points 1 km. Measurement data are analyzed using Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) method to get the dominant frequency and amplitude. F_0 value range from 0,63 Hz to 13,06 Hz. Areas that have a high level of seismic hazard are found in areas that have low f_0 values $\leq 2,5$ Hz. Liquefaction probability measurement using the Global Geospatial Model method with three main parameters, namely peak ground acceleration (PGA), soil type (V_{s30}), and hydrological parameter of the soil. The results of the calculation of the three parameters are probability liquefaction approaching value 1. The dominant frequency value for determining the value (PGA), CTI value in the form of secondary data obtained from the topographic map of the research area, and for the value of V_{s30} in the form of secondary data obtained from the USGS site. Determination of liquefaction potential is made modeling based on the occurrence of earthquakes in fault lines with various magnitudes of earthquake. The magnitude of the earthquake used was 2, 3, and 4 with an earthquake depth of 15 km. Based on the results of processing then a microzonation map is made to find out potential areas. As a result of microzonation, liquefaction potential occurred in almost part of the study area, namely when there was an earthquake with magnitude 3, whereas with earthquake magnitude 4 almost all research areas had a liquefaction potential ie $P[Li]$ value from 0.91 to 1. Based on topographic maps for the analysis of the height of areas with potential liquefaction at an altitude of 100 m to 300 m.

Key word : HVSr, microtremor, liquefaction, PGA, V_{s30} , CTI.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR	ii
SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR.....	iii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	iv
MOTTO	v
PERSEMBAHAN.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
INTISARI	ix
ABSTRACT	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	7
1.3 Tujuan Penelitian.....	7
1.4 Batasan Masalah	8
1.5 Manfaat Penelitian	9
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	10
2.1 Studi Pustaka	10
2.2 Landasan Teori	12
2.2.1 Gempabumi	12
2.2.2 Gelombang Seismik.....	17

2.2.3 Mikrotremor	27
2.2.4 HVSR (<i>Horizontal to Vertical Spectral Ratio</i>).....	28
2.2.5 Transformasi Fourier	34
2.2.6 <i>Global Geospatial Model</i>	35
2.2.7 Percepatan Getaran Tanah (<i>Peak Ground Acceleration / PGA</i>).....	38
2.2.8 <i>Compound Topographic Index (CTI)</i>	42
2.2.9 Kecepatan Gelombang Geser (<i>Vs30</i>).....	43
2.2.10 Kondisi Geologi Daerah Penelitian	44
BAB III METODE PENELITIAN	46
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	46
3.2 Peta Daerah Penelitian.....	46
3.3 Alat dan Bahan Penelitian	47
3.3.1 Alat Akuisisi Data	47
3.3.2 Bahan Akuisisi Data	49
3.4 Prosedur Penelitian	50
3.4.1 Studi Awal	51
3.4.2 Desain Survei	51
3.4.3 Akuisisi Data.....	51
3.4.4 Pengolahan Data	54
3.4.4.1 Pengolahan Data Mentah Hasil Pengukuran Mikrotremor	54
3.4.4.2 Menentukan Nilai <i>PGA (Peak Ground Acceleration)</i>	57
3.4.4.3 Menentukan Nilai <i>CTI (Compound Topographic Index)</i>	57
3.4.4.4 Menentukan Nilai <i>Vs30 (Velocity Shear)</i>	58
3.4.4.4 Menentukan Nilai <i>P[Liq] (Probability Liquefaction)</i>	58
3.4.4.5 Analisis Data	58

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	60
4.1 Mikrotremor/ <i>HVSR</i>	60
4.1.1 Data Amplifikasi (<i>A0</i>) dan Frekuensi Dominan (<i>f0</i>)	60
4.2 Metode <i>Global Geospatial Model</i>	64
4.2.1 Persebaran Nilai <i>Compound Topographic Index (CTI)</i>	65
4.2.2 Persebaran Nilai Kecepatan Gelombang Geser (<i>Vs30</i>)	68
4.2.3 Persebaran Nilai <i>Peak Ground Acceleration (PGA)</i>	71
4.3 Analisis Potensi Likuifaksi	76
4.4 Integrasi Interkoneksi	82
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	85
5.1 Kesimpulan.....	85
5.2 Saran	87
DAFTAR PUSTAKA.....	88

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Kondisi tektonik Indonesia	1
Gambar 1. 2 Gerakan lempeng bumi.....	2
Gambar 2. 1 Komponen gaya pada tegangan yang bekerja pada suatu kubus	18
Gambar 2. 2 Ilustrasi gerak partikel gelombang primer	24
Gambar 2. 3 Ilustrasi gerak partikel gelombang sekunder	25
Gambar 2. 4 Ilustrasi gerak partikel gelombang love.....	26
Gambar 2. 5 Ilustrasi gerak partikel gelombang Rayleigh	27
Gambar 2. 6 Model cekungan yang berisi material sedimen halus	29
Gambar 2. 7 Peta geologi daerah penelitian	45
Gambar 3. 1 Peta daerah penelitian	46
Gambar 3. 2 Satu set Seismograf TDL-303S	48
Gambar 3. 3 Diagram alir penelitian	50
Gambar 3. 4 Tampilan data mentah mikrotremor	55
Gambar 3. 5 Pemilihan data mikrotremor	55
Gambar 3. 6 Toolbar HVSR	56
Gambar 3. 7 Grafik hasil pengolahan HVSR	56
Gambar 3. 8 Diagram alir pengolahan dan analisis data	59
Gambar 4. 1 Peta persebaran nilai frekuensi dominan (f_0)	61
Gambar 4. 2 Peta persebaran nilai amplifikasi (A_0)	63
Gambar 4. 3 Peta persebaran nilai CTI.....	66
Gambar 4. 4 Peta kontur nilai CTI di overlay dengan kontur topografi.....	67
Gambar 4. 5 Peta persebaran nilai V_{s30}	69
Gambar 4. 6 Peta persebaran nilai PGA dengan $M=2$ dan $h=15$ Km.....	72
Gambar 4. 7 Peta persebaran nilai PGA dengan $M= 3$ dan $h= 15$ Km.....	73
Gambar 4. 8 Peta persebaran nilai PGA dengan $M= 4$ dan $h= 15$ Km.....	74
Gambar 4. 9 Peta persebaran nilai $P[Li q]$ dengan $M= 2$ dan $h= 15$ Km	77
Gambar 4. 10 Peta persebaran nilai $P[Li q]$ dengan $M= 3$ dan $h= 15$ Km	78
Gambar 4. 11 Peta persebaran nilai $P[Li q]$ dengan $M= 4$ dan $h= 15$ Km	79
Gambar 4. 12 Peta topografi ketinggian.....	81

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Tinjauan Pustaka	10
Tabel 2. 2 Skala Intensitas Gempabumi	17
Tabel 2. 3 Klasifikasi tanah berdasarkan nilai frekuensi dominan mikrotremor oleh Kanai.....	32
Tabel 2. 4 Klasifikasi nilai faktor amplifikasi	33
Tabel 2. 5 Koefisien dan nilai-nilai yang didefinisikan untuk model global oleh Zhu dkk, 2014.....	37
Tabel 2. 6 Klasifikasi Tanah Kanai-Omote-Nakajima	39
Tabel 2. 7 Tingkat resiko gempabumi berdasarkan nilai percepatan getaran tanah (a_g)	41
Tabel 2. 8 Klasifikasi dan jenis tanah berdasarkan nilai Vs30.....	44
Tabel 3. 1 Daftar alat penelitian	47
Tabel 3. 2 Syarat pengukuran mikrotremor.....	52

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A.....	92
LAMPIRAN B	93
LAMPIRAN C	94
LAMPIRAN D	95
LAMPIRAN E	98
LAMPIRAN F	106
LAMPIRAN G.....	128
LAMPIRAN H.....	135



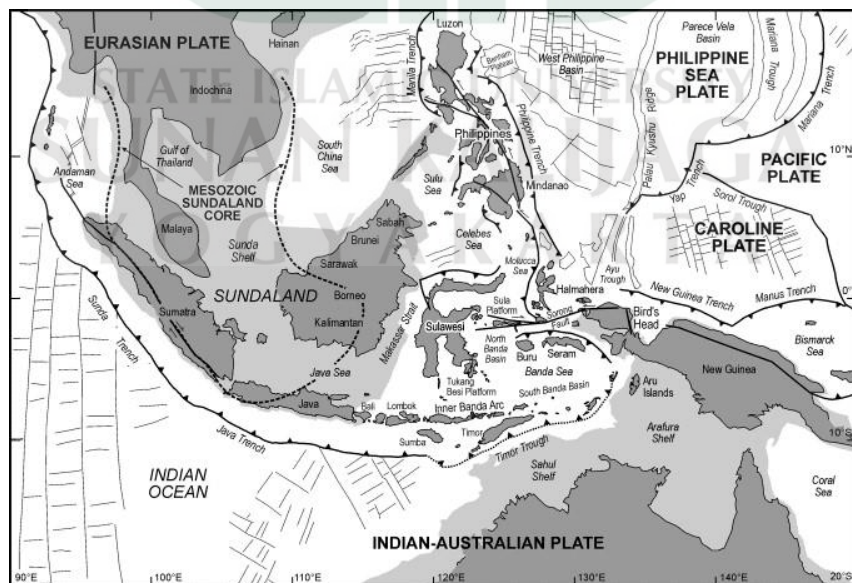
STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

BAB I

PENDAHULUAN

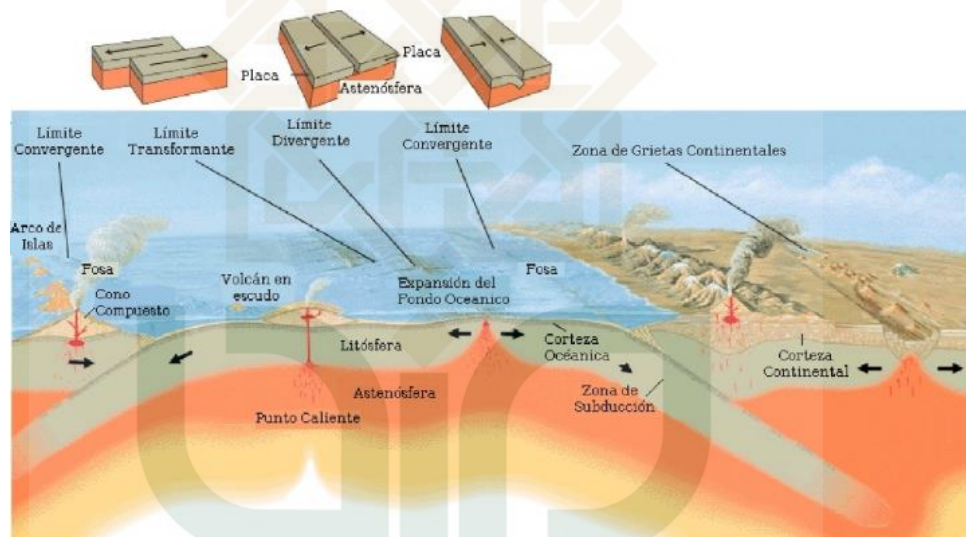
1.1 Latar Belakang

Indonesia secara astronomi terletak pada 95° - 141° BT dan 6° LU - 11° LS terbentuk di wilayah *Ring of Fire* yaitu daerah pertemuan 3 lempeng tektonik dan 1 lempeng tektonik kecil. Ketiga lempeng tektonik tersebut ialah lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia dan lempeng Pasifik serta lempeng kecil Filipina. Lempeng tektonik adalah segmen keras kerak bumi yang mengapung di atas astenosfer yang cair dan panas. Oleh karena itu lempeng-lempeng tektonik ini bebas untuk bergerak dan saling berinteraksi satu sama lain. Lempeng Indo-Australia tersebut bergerak mendesak ke utara lempeng Eurasia yang mengakibatkan terdapat banyak patahan dan sesar yang aktif (Daryono, 2010). Kondisi tektonik di Indonesia dapat dilihat pada gambar 1.1 sebagai berikut :



Gambar 1. 1 Kondisi tektonik Indonesia
(Hall, 2002)

Pergerakan lempeng samudera dan benua dalam bentuk tumbukan dan gesekan menimbulkan beberapa zona subduksi dan patahan permukaan. Pergerakan ini akan membebaskan sejumlah energi yang telah terkumpul sekian lama secara tiba – tiba, dimana proses pelepasan tersebut menimbulkan getaran gempabumi dengan nilai yang beragam (Kertapati, 2006), peristiwa ini disebut dengan gempabumi tektonik, sebagaimana ditunjukkan dalam gambar 1.2 mengenai gerakan lempeng bumi sebagai berikut :



Gambar 1. 2 Gerakan lempeng bumi
(Thompson, 2006)

Selain itu, pergerakan lempeng menyebabkan terbentuknya gunung api dan palung laut. Gunung - gunung api dan palung laut ini membentuk lingkaran api Pasifik atau cincin api Pasifik (*Ring of Fire*). Disebut cincin api Pasifik karena merupakan barisan gunung api yang mengelilingi Samudera Pasifik. Aktivitas gunung api ini menyebabkan terjadinya gempa vulkanik, yang merupakan salah satu peristiwa bencana alam.

Bencana alam adalah serangkaian peristiwa yang disebabkan oleh alam antara lain berupa gempabumi, tsunami, gunung meletus, banjir, kekeringan, angin topan,

dan tanah longsor (BNPB, 2018). Menurut (Pawirodikromo, 2012), 80% kejadian gempabumi terjadi di daerah subduksi. Daerah subduksi di Indonesia dapat dijumpai di sepanjang pesisir barat Sumatera, selatan Jawa sampai ke sebelah selatan Maluku.

Bencana alam seperti gempabumi di Indonesia sudah kerap sekali terjadi dan menimbulkan guncangan dari yang kecil sampai dahsyat. Hal tersebut sudah menjadi ketentuan dari Allah SWT yang tidak bisa di rencanakan oleh manusia, sebagaimana dijelaskan dalam firman Allah SWT berikut ini :

QS Al-Waqi'ah ayat 4,

إِذَا رُجَّتِ الْأَرْضُ رَجًا ۝٤

Artinya : *"Apabila bumi diguncangkan sedahsyat-dahsyatnya (QS Al-Waqi'ah : 4)."*

QS Al-Zalzalah ayat 1,

إِذَا زُلْزِلَتِ الْأَرْضُ زِلْزَالَهَا ۝١

Artinya : *"Ketika bumi diguncangkan dengan guncangan yang dahsyat (QS Al-Zalzalah: 1)."*

QS Al-Fajr ayat 21,

كَلَّا إِذَا دُكَّتِ الْأَرْضُ دَكًّا دَكًّا ۝٢١

Artinya : *"Sekali-kali tidak! Apabila bumi diguncangkan berturut-turut (QS Al-Fajr: 21)."*

Berdasarkan firman Allah tersebut, dijelaskan bahwa bumi digetarkan dan diguncang. Bergetar adalah bergerak berulang-ulang dengan cepat, bergerak bolak-balik atas-bawah, kiri-kanan, seperti gerak bola yang diikat pegas. Andai bumi

diguncangkan seperti itu, seluruh penduduk muka bumi akan merasakannya, tanpa kecuali. Sedangkan getaran yang pernah ada, hanya dirasakan secara parsial. Artinya, orang-orang di daerah tertentu saja yang merasakan getaran, sedangkan orang yang tinggal di daerah lain tidak merasakannya. Meskipun cuma sebagian, getaran bumi dapat menimbulkan kerusakan yang hebat dan menelan korban jiwa yang tidak sedikit (Purwanto, 2015).

Berdasarkan tatanan regional, Magelang dipengaruhi oleh dua sesar utama yaitu kelurusan sesar timurlaut-baratdaya (Sesar Progo) yang memotong wilayah Magelang pada bagian baratdaya lereng merapi sedangkan kelurusan sesar barat-timur memisahkan Pegunungan Menoreh di bagian selatan dan dataran Aluvial di bagian utara (IAGI, 2013). Salah satu wilayah yang berada di Magelang yaitu Kecamatan Ngluwar. Kecamatan Ngluwar diapit beberapa sungai yaitu di sisi barat terdapat Kali Putih, Kali Blongkeng dan Kali Progo sedangkan di sebelah timur terdapat Kali Krasak. Kali Putih dan Kali Krasak mempunyai kandungan sedimentasi vulkanik terbesar dibanding beberapa sungai lain (Satria, 2011) dan terdapat material lepas dengan ukuran butir mayoritas pasir yang sebagian besar lahannya difungsikan sebagai lahan bangunan rumah warga dan sawah. Berdasarkan peta Geologi Lembar Yogyakarta, secara umum daerah ini dibentuk oleh tiga formasi batuan yaitu Formasi Endapan Gunung Api Merapi Muda diantaranya terdiri dari tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan, Formasi Kebobutak yang terdiri dari breksi andesit, tuf, tuf lapili, aglomerat dan sisipan aliran lava andesit serta Formasi Sentolo (Rahardjo dkk, 1995).

Terjadinya gempabumi Yogyakarta pada 27 Mei 2006 yang berdampak korban jiwa dan bangunan roboh dan diikuti oleh proses likuifaksi seperti yang terjadi pada daerah bagian selatan, serta beberapa wilayah di Magelang terkena dampaknya. Wilayah tersebut rawan terjadinya bencana gempabumi akibat aktivitas beberapa sesar lokal di daratan. Struktur sesar terbentuk sebagai dampak desakan lempeng Indo-Australia pada bagian daratan Pulau Jawa. Beberapa sistem sesar yang diduga masih aktif adalah Sesar Opak, Sesar Oyo, Sesar Dengkeng, Sesar Progo, serta sesar mikro lainnya yang belum teridentifikasi. Terbentuknya struktur geologi berupa sesar lokal yang berada di dekat Sungai Progo dan berbatasan dengan Kecamatan Ngluwar yang suatu saat bisa aktif dan menjadi sumber gempa menjadikan salah satu potensi *geohazard* yang ada di wilayah Kecamatan Ngluwar apabila terjadi pergeseran yang menimbulkan gempabumi. Berdasarkan peta geologi lembar Yogyakarta, Kecamatan Ngluwar memiliki formasi geologi Endapan Gunung Api Merapi Muda yang sama dengan formasi geologi di Bantul (Rahardjo dkk, 1995) sehingga potensi likuifaksi dapat terjadi di Kecamatan Ngluwar.

Penelitian ini menggunakan metode mikroseismik yaitu merupakan salah satu penerapan metode geofisika yang dapat digunakan untuk mengetahui dampak atau potensi kerusakan yang diakibatkan dari aktivitas alami maupun buatan seperti gempabumi. Analisis pengukuran mikrotremor menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr)* yang digunakan sebagai estimasi nilai frekuensi natural dan faktor amplifikasi geologi permukaan. Metode ini memanfaatkan getaran mikro tanah yang diperoleh dari hasil pengukuran mikrotremor. Hasil

pengukuran mikrotremor dapat digunakan untuk mempelajari efek dari geologi lokal saat terjadi aktivitas seismik (Nakamura, 2000). Berdasarkan pengolahan *HVSR* dengan perangkat lunak Sesarry Geopsy, akan diperoleh nilai frekuensi dominan dan amplifikasi yang mana besaran-besaran tersebut dapat digunakan untuk menghitung nilai *Peak Ground Acceleration*. Metode perhitungan nilai *PGA* dengan metode Kanai memperhitungkan faktor periode dominan tanah di Kecamatan Ngluwar. Metode ini mengkombinasikan antara parameter gempa bumi dan karakteristik tanah di suatu tempat. Parameter utama terhadap bahaya likuifaksi berupa percepatan getaran tanah (*PGA*), tipe tanah (*Vs30*), dan parameter hidrologi tanah (*CTI*). *CTI* merupakan indeks kebasahan tanah, *Vs30* merupakan kecepatan gelombang geser pada kedalaman 30 meter dari permukaan (Naqvi, 2015). Ketiga parameter tersebut merupakan parameter utama untuk memprediksi probabilitas dan tingkat likuifaksi berdasarkan metode *Global Geospatial Model*. Pengukuran likuifaksi berdasarkan metode *Global Geospatial Model* adalah komponen yang penting dalam resiko dan kerugian akibat gempabumi untuk digunakan dalam perencanaan dan mitigasi sebelum dan sesudah kejadian (Laurie dkk, 2017). Daerah yang berpotensi mengalami gerakan tanah salah satu fenomenanya yaitu likuifaksi. Likuifaksi merupakan fenomena hilangnya kekuatan lapisan tanah akibat getaran gempa (Yulistiani dkk, 2017). Penelitian potensi likuifaksi di Kecamatan Ngluwar Kabupaten Magelang berdasarkan *Global Geospatial Model* belum pernah dilakukan. Likuifaksi di Kecamatan Ngluwar dapat terjadi karena beberapa faktor diantaranya berupa air tanah di sumur-sumur yang memiliki kedalaman dangkal, material yang dominan pasir dan kondisi geologi daerah sekitar. Potensi likuifaksi

kemungkinan yang terjadi tidak selalu tanah bergerak tetapi bisa berupa semburan pasir dari dalam sumur akibat gelombang seismik, tanah retak atau tanah yang melunak karena kandungan air yang cukup banyak sehingga tanah menjadi lempung. Berdasarkan paparan tersebut, hasil penelitian ini diharapkan memberikan informasi sebagai sarana mitigasi bencana guna meminimalisir dampak serta kerugian yang akan terjadi jika terjadi bencana alam gempa bumi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan, maka dapat dirumuskan masalah penelitian ini sebagai berikut :

1. Bagaimana nilai *CTI* (*Compound Topographic Index*) di Kecamatan Ngluwar?
2. Bagaimana nilai *Vs30* (Kecepatan Gelombang Geser) di Kecamatan Ngluwar?
3. Bagaimana nilai *PGA* (*Peak Ground Acceleration*) berdasarkan metode Kanai di Kecamatan Ngluwar?
4. Bagaimana potensi likuifaksi yang terjadi di Kecamatan Ngluwar berdasarkan *Global Geospatial Model* ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian ini adalah :

1. Mengetahui nilai *CTI* (*Compound Topographic Index*) di Kecamatan Ngluwar.
2. Mengetahui nilai *Vs30* (kecepatan gelombang geser) di Kecamatan Ngluwar.

3. Mengetahui nilai *PGA (Peak Ground Acceleration)* berdasarkan metode Kanai di Kecamatan Ngluwar.
4. Mengetahui potensi likuifaksi berdasarkan *Global Geospatial Model* di Kecamatan Ngluwar.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Daerah penelitian dilakukan di Kecamatan Ngluwar Kabupaten Magelang, Jawa Tengah.
2. Penelitian ini dilakukan dengan pengukuran data mikrotremor dan pengolahannya menggunakan metode *HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)* dengan mengacu pada aturan yang ditetapkan oleh *SESAME European Research Project*.
3. Analisis data menggunakan *software sesarry Geopsy* dan pendekatan *Global Geospatial Model*.
4. Nilai *PGA* yang digunakan menggunakan formulasi dari Kanai dengan membuat pemodelan gempabumi akibat aktivitas seismik di jalur sesar dengan magnitudo gempa 2, 3, dan 4 serta kedalaman gempa 15 Km.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat yaitu dapat memberikan informasi awal bagi masyarakat tentang area yang berpotensi likuifaksi dan resiko kerusakan akibat aktivitas seismik di Kecamatan Ngluwar sehingga dapat mengurangi dampak kerusakan yang terjadi serta dapat dimanfaatkan untuk warga dan pemerintah dalam perencanaan pembangunan dan pengembangan infrastruktur daerah setempat.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Hasil penelitian yang telah diperoleh memberikan beberapa hal yang bisa disimpulkan, di antaranya sebagai berikut:

1. Nilai *CTI* (*Compound Topographic Index*) merupakan nilai indeks kebasahan tanah atau kondisi topografi daerah setempat. Daerah penelitian memiliki nilai *CTI* yang bervariasi dari nilai terendah hingga nilai paling tinggi. Daerah yang memiliki nilai *CTI* tinggi sebesar 13,88 di Desa Banjarharjo, 10,77 di Desa Blongkeng, 10,77 di Desa Banjarharjo dan 10,22 di Desa Plosogede. Daerah-daerah tersebut masih tergolong dataran rendah dan dekat dengan sumber perairan. Nilai *CTI* yang tinggi memiliki peluang terjadinya proses pencairan tanah.
2. Berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser pada kedalaman 30 meter dari permukaan (V_{s30}) daerah penelitian didominasi dengan tanah keras, sangat padat dengan batuan lunak masuk dalam kategori tipe SC dengan nilai ($350 \leq V_s \leq 750$ m/s). Nilai V_s yang lebih tinggi menunjukkan tanah menjadi lebih keras. Daerah yang termasuk dalam tipe SC memiliki tingkat keamanan yang lebih baik daripada daerah yang dalam kategori tipe SD. Daerah yang termasuk dalam tipe SD memiliki nilai ($175 \leq V_s \leq 350$ m/s) yaitu memiliki profil stratigrafi tanah sedang dimana bagian tengah daerah penelitian berpeluang mengalami guncangan yang lebih besar ketika terjadi gempa bumi, sehingga berpotensi mengalami kerusakan yang lebih besar.

3. Nilai percepatan getaran tanah yang relatif terbesar berada di dekat sumber gempa yang berada di jalur sesar yaitu Desa Pakunden sebesar 30,69 Gal, Desa Bligo sebesar 30,91 Gal dan Desa Banjarharjo sebesar 29,29 Gal. Besar nilai *PGA* tersebut diukur berdasarkan terjadinya gempabumi di jalur sesar dengan kekuatan gempa 4 dan kedalaman 15 km. Nilai *PGA* rendah mengindikasikan bahwa resiko bahaya gempabumi kecil, sedangkan nilai *PGA* besar mengindikasikan resiko bahaya gempabumi yang tinggi. Daerah yang memiliki nilai *PGA* 30 Gal sudah mampu menghasilkan potensi likuifaksi.
4. Hasil perhitungan analisis potensi likuifaksi di daerah ini menunjukkan bahwa hampir semua titik pengujian mengindikasikan terjadinya likuifaksi jika terjadi gempabumi dengan kekuatan 4 dan kedalaman 15 km di jalur sesar. Zona likuifaksi terutama terkonsentrasi di daerah dekat perairan seperti sungai-sungai dan terdapat pada daerah dengan kondisi geologi Endapan Gunung Api Merapi Muda. Berdasarkan pemodelan probabilitas likuifaksi, keberadaan sesar aktif yang terletak di darat dengan kedalaman dangkal yaitu 15 km menjadi sumber pemicu gempabumi dan menjadikan potensi bahaya seismik di Kecamatan Ngluwar salah satunya yaitu pencairan tanah atau dikenal dengan istilah likuifaksi. Daerah yang berpotensi likuifaksi dapat terjadi di daerah dataran rendah dengan ketinggian berkisar 50 m sampai dengan 300 m.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, penulis mengajukan beberapa saran sebagai berikut :

1. Penelitian dilakukan dengan jarak antar titik pengukuran lebih rapat supaya dapat mewakili lokasi penelitian secara komprehensif.
2. Perlunya dilakukan perluasan area penelitian terutama yang memiliki tingkat resiko seismik yang lebih tinggi dibandingkan daerah penelitian lainnya.
3. Penambahan parameter sebagai pendukung dari ketiga parameter utama *PGA*, *CTI*, dan *Vs30* untuk mengidentifikasi probabilitas likuifaksi.
4. Daerah yang memiliki nilai probabilitas maksimum yaitu mencapai angka 1 disarankan untuk tidak membangun bangunan pada area tersebut atau tidak menjadikan sebagai tempat tinggal dan dianjurkan jika mendirikan bangunan pada daerah yang mempunyai nilai probabilitas minimum yaitu dengan nilai $P[Liq]$ mendekati angka 0.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR PUSTAKA

- Aster, R. 2011. *The Seismic Wave Equation*. New Mexico Tech Socorro.
- Balfas, M. D. 2015. *Geologi untuk Pertambangan Umum*. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- BMKG. 1998. *Sumber Daya Geologi Buletin Meteorologi dan Geofisika* No. 4 BMKG. Jakarta.
- BMKG. 2018. *Tentang Gempabumi*. Diakses 3 Desember 2018 dari www.bmkg.go.id.
- BNPB. 2018. *Definisi dan Jenis Bencana*. Diakses 3 Desember 2018 dari <https://www.bnpb.go.id>.
- Daryono. 2010. *Aktifitas Gempabumi Tektonik di Yogyakarta Menjelang Erupsi Merapi 2010*. BMKG. Yogyakarta.
- Edwiza, D dan Novita, S. 2008. *Pemetaan Percepatan Tanah Maksimum dan Intensitas Seismik Kota Padang Panjang Menggunakan Metoda Kannai*. Repository Universitas Andalas. Padang.
- Febriani, Y., Daruwati, I dan Hatika, R. G. 2013. Analisis Nilai *Peak Ground Acceleration* dan Indeks Kerentanan Seismik Berdasarkan Data Mikroseismik pada Daerah Rawan Gempabumi di Kota Bengkulu. *Jurnal Ilmiah Edu Research* **Vol.2 No. 2 Desember 2013**.
- Hall, R. 2002. Cenozoic Geological and Plate Tectonic Evolution of SE Asia and The SW Pacific : Computer-Based Reconstructions, Model and Animations, *Journal of Asian Earth Sciences* 20 (2002) : 353-431.
- Hancox, GT., Perrin, ND., dan Dellow, GD. 1997. *Earthquake-induced landsliding in New Zealand and implications for MM intensity and seismic hazard assessment. Lower Hutt (NZ): Institute of Geological and Nuclear Sciences*. 85 p. (Institute of Geological and Nuclear Sciences client report; 43601B).
- Hartyanto, E., Brotopuspito, K. S., Sismanto dan Waluyo. 2013. Korelasi Muka Air Tanah Dangkal dengan Kejadian *Liquefaction* Gempa Yogya Mei 2006 di Sedimen Vulkanik-Klastik bagian Selatan, Area Yogyakarta. Yogyakarta.
- HMGF. 2017. *Applying Geophysical Observation in Mineral Prospect Area of Menoreh Hills*. Geophysics Expedition. Yogyakarta.
- IAGI. 2013. *Studi Neotektonik Daerah Magelang, Jawa Tengah: Diaplikasikan untuk Mitigasi Gempa Daerah Magelang*. Diakses 14 November 2018 dari www.iagi.or.id/paper/studi-neotektonik-daerah-magelang-jawa-tengah-diaplikasikan-untuk-mitigasi-gempa-daerah-magelang.
- Ibrahim, Gunawan, dan Subardjo. 2005. *Pengetahuan Seismologi*. Badan Meteorologi dan Geofisika. Jakarta.

- Kanai, K. 1966. Improved Empirical Formula For Characteristic Of Stray (Sic) Earthquake Motions. Page 1-4 of: *Proceedings of the Japanese Earthquake symposium*.
- Kertapati, E. K. 2006. *Aktivitas Gempabumi di Indonesia*. Pusat Survei Geologi. Bandung.
- Kuningsih, T. W., Rifa'i, A dan Suryolelono, K. B. 2017. Analisis Ketahanan Tanah Dasar Fondasi Candi Prambanan Terhadap Ancaman Likuifaksi Berdasar *Simplified Procedure*. *Jurnal Politeknologi*, **Vol. 1 Januari 2017**.
- Labertta, S. 2013. *Mikrozonasi Indeks Kerentanan Seismik Berdasarkan Analisis Mikrotremor di Kecamatan Jetis, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta*. (Skripsi), Program Studi Fisika, FMIPA, UNY, Yogyakarta.
- Laksono, A. 2018. *Interpretasi Nilai Kecepatan Gelombang Geser (Vs30) Menggunakan Metode Seismik Multi Channel Analysis Of Surface Wave (Masw) untuk Memetakan Daerah Rawan Gempa Bumi di Kota Bandar Lampung*. (Skripsi), Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
- Laurie G, Baise dan Rashidian, V. 2017. *Validation of a Geospatial Liquefaction Model for Noncoastal Regions Including Nepal*. Department of Civil and Environmental Engineering Tufts University. Medford.
- Lowrie, W. 2007. *Fundamental of Geophysics Second Edition*. Cambridge University Press. New York.
- Mase, L. Z., Fathani, T. F dan Adi, A. D. 2013. Studi Eksperimental Potensi Likuifaksi di Kali Opak Imogiri Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. *17th Annual Scientific Meeting, 13-14 November 2013*, pp. 199-204. Jakarta.
- Nakamura, Y. 1989. *A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on The Ground Surface Quatrely Reports of The Railway Technical Research Institute* (pp. 30, 25 - 33). Tokyo.
- Nakamura, Y. 2000. *Clear Identification of Fundamental Idea of Nakamura's Technique and its Applications, The 12th WCEE*. New Zealand.
- Nandi. 2006. *Gempabumi*. Handouts Geologi Lingkungan (GG405). UPI Bandung.
- Naqvi, S. A. H. 2015. *Identifying Regions with High Liquefaction Potential Close To Large Populations in Europe*. UCL Department of Civil, Environmental and Geomatic Engineering. London.
- Nogoshi, M. dan Iragashi, T. 1971. On The Amplitude Characteristics Of Microtremor. *Jurnal of The Seismological Society Japan*. **Vol.2**, 26-40.

- Pawirodikromo, W. 2012. *Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan*. Pustaka Pelajar. Yogyakarta.
- Purwanto, A. 2015. *Nalar Ayat-ayat Semesta Menjadikan Al-Qur'an sebagai Basis Konstruksi Ilmu Pengetahuan*. PT Mizan Pustaka. Bandung.
- Purwanti, A. 2016. *Analisis Tingkat Resiko Dari Nilai Peak Ground Acceleration (PGA) Berdasarkan Data Mikroseismik Disekitar Jalur Sesar Opak*. (Skripsi), Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Kalijaga. Yogyakarta.
- Rahardjo, W., Sukandarrumidi., dan Rosidi, H. M. D. 1995. *Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa*. Direktorat Geologi, Departemen Pertambangan Republik Indonesia. Bandung.
- Rasyidea, R. 2014. *Pemodelan Mikrozonasi Percepatan Getaran Tanah Maksimum (PGA) di Bendungan Sermo Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor*. (Skripsi), Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Kalijaga. Yogyakarta.
- Refrizon, Suhendra, Irkhos dan Manurung, Y. S. 2015. Studi *Site Effect* dengan Indikator Percepatan Getaran Tanah Maksimum, Indeks Kerentanan Seismik, *Ground Shear Strain* dan Ketebalan Lapisan Sedimen di Kecamatan Muara Bangkahulu Kota Bengkulu. *Jurnal Gradien* **Vol. 11 No. 2 Juli 2015**: 1122-1127.
- Roser, J., dan Gosar, A. 2010. Determination Of Vs30 For Seismic Ground Classification In The Ljubljana Area , Slovenia. *Acta Geotechnica Slovenica*, 61-76.
- Satria. 2011. *Pakar UGM: Kali Putih dan Kali Krasak Memiliki Sedimentasi Besar Material Vulkanik Merapi*. Diakses 24 Oktober 2018 dari <https://ugm.ac.id/id/berita/2946>
pakar.ugm:.kali.putih.dan.krasak.memiliki.sedimentasi.besar.material.vulkanik.merapi.
- SESAME. 2004. Guidelines For The Implementation Of The H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations. Europe: SESAME European research project.
- Sitorus, N., Purwanto, S., dan Utama, W. 2017. Analisis Nilai Frekuensi Natural dan Amplifikasi Desa Olak Alen Blitar Menggunakan Metode Mikrotremor HVSr. *Jurnal Geosaintek*. **03 / 02** Tahun 2017.
- SNI 1726:2012. 2012. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Diakses 8 Agustus 2019 dari <https://www.slideshare.net/mobile/MiraPemayun/sni-17262012-tata-cara->

perencanaan-ketahanan-gempa-untuk-struktur-bangunan-gedung-dan-non-gedung.

- Soebowo, E., Tohari, A dan Sarah, D. 2009. Potensi Likuifaksi Akibat Gempabumi Berdasarkan Data Cpt dan N-Spt di Daerah Patalan Bantul, Yogyakarta. *Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan* Jilid 19 **No. 2 (2009)**, 85-97.
- Sutrijat, S. 1999. *Geografi*. Widya Duta. Solo.
- Tafsir Ibnu Katsir. 2015. Tafsir Surat Al-Hadid, ayat 22-24. Diakses 23 Mei 2019 dari www.ibnukatsironline.com
- Telford, W. M., Geldart, L. P., dan Sheriff, RE. 2004. *Aplied Geophysics* (2nd ed). Cambridge University Press. New York.
- Thomson. 2006. *Geology of the Oceans*. Cole Publishing Company. Utah.
- Tokimatsu, K. 1995. Geotechnical Site Characterization using Surface Waves. In Proc. 1st Intl. Conf. *Earthquake Geotechnical Engineering*. Ishihra (ed), Balkema : 1333-1368.
- Yang, X., Chapman, G. A., Young, M. A dan Gray, J. M. 2007. Using Compound Topographic Index to Delineate Soil Landscape Facets from Digital Elevation Models for Comprehensive Coastal Assessment. *Australian Journal of Soil Research*, **Vol. 45**, pp. 1513-1514
- Yulistiani, Wibowo, N. B., dan Darmawan, D. 2017. Potensi Likuifaksi Berdasarkan Nilai Ground Shear Strain (GSS) di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno Kabupaten Klaten Jawa Tengah. *Jurnal Fisika*, **Edisi November Tahun 2017** : 23-28.
- Zhu, J., Baise, L. G., Thompson, E. M., dan Magistrale, H. 2014. Testing National and Regional Geospatial Liquefaction Models in the United States, *10th U.S. National Conference on Earthquake Engineering*, Anchorage, alaska : 21-25 **July 2014**.
- Zhu, J., Daley, D., Baise, L. G., Thompson, E. M., Wald, D. J., dan Knudsen, K. L. 2015. A Geospatial Liquefaction Model for Rapid Response and Loss Estimation. *Earthquake Spectra*, **31(3)** : 1813-1837.
- Zhu, J., Baise, L. G., dan Thompson, E. M. 2017. An Updated Geospatial Liquefaction Model for Global Application. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **Vol.107, No.3 Juni 2017**, <https://doi.org/10.1785/0120160198>