

**ANALISIS ZONA POTENSI LIKUIFAKSI  
BERDASARKAN MODEL GEOSPASIAL DI  
KECAMATAN KRETEK KABUPATEN BANTUL**

**TUGAS AKHIR**

Untuk memenuhi sebagian persyaratan  
mencapai derajat Sarjana S-1

Program Studi Fisika



Disusun oleh :

Harjuna Krisdianto Wijayandaru

14620002

**PROGRAM STUDI FISIKA**

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**

**UIN SUNAN KALIJAGA**

**YOGYAKARTA**

**2020**



Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga

FM-UINSK-BM-05-07/R0

**PENGESAHAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR**

Nomor :B-600/Un.02/DST/PP.05.3/02/2020

Skripsi/Tugas Akhir dengan judul : ANALISIS ZONA POTENSI LIKUIFAKSI BERDASARKAN  
MODEL GEOSPASIAL DI KECAMATAN KRETEK  
KABUPATEN BANTUL

Yang dipersiapkan dan disusun oleh :  
Nama : Harjuna Krisdianto Wijayandaru  
NIM : 14620002  
Telah dimunaqasyahkan pada : 30 Januari 2020  
Nilai Munaqasyah : A  
Dan dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga

**TIM MUNAQASYAH :**

Ketua Sidang

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

Penguji I

Penguji II

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

Dr. Widayanti, M.Si.  
NIP. 19760526 200604 2 005

Yogyakarta, 30 Januari 2020  
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 : Harjuna Krisdianto Wijayandaru

NIM : 14620002

Judul Skripsi : Analisis Zona Likuefaksi Berdasarkan Model Geospasial di Kecamatan Kretek Kabupaten Bantul

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 berharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqsyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY  
SUNAN KALIJAGA  
YOGYAKARTA

*Wassalamu'alaikum wr. wb.*

Pembimbing I

Yogyakarta, 2 Desember 2019

Pembimbing II

Dr. Thaqibul 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 yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Harjuna Krisdianto Wijayandaru

NIM : 14620002

Program Studi : Fisika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa Tugas Akhir saya yang berjudul “Analisis Zona Potensi Likuifaksi berdasarkan Model Geospasial di Kecamatan Kretek Kabupaten Bantul” merupakan hasil penelitian saya sendiri, tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 2 Desember 2019

Penulis

STATE ISLAMIC UNIVERSITY  
SUNAN KALIJAGA  
YOGYAKARTA



Harjuna Krisdianto Wijayandaru

NIM. 14620002

## **MOTTO**

*“Masalah akan terasa ringan dengan bersabar dan berlapang dada”*



## **PERSEMBAHAN**

Alhamdulillah, dengan mengucapkan syukur kepada Allah SWT  
karya ini penulis persembahkan kepada orangtua dan keluarga  
tercinta,

teman yang setiap hari tak bosan menyemangati,  
juga kepada Almamater tercinta UIN Sunan Kalijaga Fakultas Sains  
dan Teknologi Program Studi Fisika.



STATE ISLAMIC UNIVERSITY  
**SUNAN KALIJAGA**  
YOGYAKARTA

## KATA PENGANTAR

*Assalamu'alaikum Wr. Wb.*

Alhamdulillah rabbil 'aalamiin, puji syukur ke hadirat Allah SWT yang tidak pernah berhenti memberikan segala nikmat dan hidayah sehingga dengan ridho-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul **“ANALISIS ZONA POTENSI LIKUIFAKSI BERDASARKAN MODEL GEOSPASIAL DI KECAMATAN KRETEK KABUPATEN BANTUL”** dengan segala kemudahanNya. Shalawat serta salam tidak lupa tercurahkan selalu kepada nabi agung nabi Muhammad SAW beserta keluarga, sahabat dan para pengikutnya hingga akhir zaman.

Keberhasilan dalam menyusun laporan ini tidak lepas dari segala semangat, bantuan, bimbingan dan nasehat dari berbagai pihak yang dengan keikhlasannya mendukung terselesaikannya penulisan ini. Untuk itu, penulis menyampaikan rasa terimakasih yang tulus kepada :

1. Bapak Prof. KH. Yudian Wahyudi, MA., Ph.D selaku Rektor Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta.
2. Bapak Dr. Murtono, M.Si selaku Dekan Fakultas dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta.
3. Bapak Dr. Thoqibul Fikri Nirtamaya, M.Si selaku Kepala Program Studi Fisika beserta dosen pembimbing 1 yang senantiasa memberikan pengarahan dalam pelaksanaan tugas akhir.
4. Bapak Nughroho Budi Wibowo, M.Sc. selaku pembimbing 2 yang selalu sabar dan bersedia meluangkan waktu membimbing dan membantu penulis.

5. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Stasiun Geofisika Kelas 1 Yogyakarta, instansi yang telah memberikan kesempatan untuk melaksanakan tugas akhir.
6. Teman-teman Fisika 14 yang sudah seperti saudara, semoga kita semua sukses dan tetap rendah hati.
7. Teman-teman kopi Hendri, Sujadi, Cahyo, Isnan, Wahyu, Lang, Hendra, Akbar, Bowo, Didin, Fajar, Sarah dan Rasty yang selalu menemani.
8. Teman-teman MAN Fathur, Hasyim, Erfan, Lang, Faisal, Mustopa, Sholeh dan Rustam yang selalu berbagi cerita.
9. Serta semua pihak yang memberikan bantuan dan dukungan dalam penyusunan tugas akhir ini yang tidak disebutkan satu persatu

Dengan segala keterbatasan, penulis menyadari bahwa penyusunan tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna oleh karena itu diharapkan kritik dan saran demi kemandirian dan peningkatan tugas akhir ini. Penulis berharap penyusunan tugas akhir ini menambah inspirasi sekaligus wawasan bagi para pembaca. *Amiin.*

*Wassalamu'alaikum. Wr. Wb.*

Yogyakarta, 2 Desember 2019

Penulis

# ANALISIS ZONA POTENSI LIKUIFAKSI BERDASARKAN MODEL GEOSPASIAL DI KECAMATAN KRETEK KABUPATEN BANTUL

Harjuna Krisdianto Wijayandaru  
14620002

## INTISARI

Penelitian analisis potensi likuifaksi berdasarkan model geospasial telah berhasil dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui probabilitas likuifaksi  $P[Li]$  dari model geospasial berdasarkan 3 parameter utama yaitu *Peak Ground Acceleration (PGA)*, *Velocity Shear* pada kedalaman 30 meter ( $Vs30$ ) dan *Compound Topographic Index (CTI)*. Data penelitian didapatkan dari pengukuran lapangan mikrotremor dan data spasial dari situs *United States Geological Survey (USGS)* dan *Centre for Ecology and Hydrology (CEH)*. Data mikrotremor diukur dengan sensor Seismograf TDS 303S pada 48 titik pengukuran dengan interval jarak antar titik 1 Km. Data pengukuran mikrotremor yang didapatkan kemudian diolah menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr)* untuk mendapatkan nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) dan Amplifikasi ( $a_0$ ). Nilai  $f_0$  digunakan untuk menghitung nilai *PGA* sedangkan nilai  $Vs30$  diperoleh dari data spasial *USGS* dan nilai *CTI* diperoleh dari data spasial *CEH*. Nilai dari *PGA*,  $Vs30$  dan *CTI* yang didapatkan kemudian dihitung menggunakan pendekatan model geospasial untuk mengetahui probabilitas likuifaksi. Hasil yang diperoleh menunjukkan nilai probabilitas likuifaksi berada di rentang nilai 0,10 s.d 1 dimana nilai 1 mendominasi di wilayah penelitian. Kondisi ini menunjukkan sebagian besar daerah penelitian berpotensi untuk terkena peristiwa likuifaksi.

Kata Kunci : Likuifaksi, Mikrotremor, *HVSr*, *PGA*,  $Vs30$ , *CTI*.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY  
SUNAN KALIJAGA  
YOGYAKARTA

**ANALYSIS OF LIQUEFACTION POTENTIAL ZONE BASED ON GEOSPATIAL MODEL  
IN KRETEK SUB-DISTRICT, BANTUL REGENCY**

**Harjuna Krisdianto Wijayandaru**  
**14620002**

**ABSTRACT**

*The Research of potential liquefaction analysis based on the geospatial model has been successfully conducted. This study aimed to determine the probability of liquefaction  $P$  [Liq] from the geospatial model based on 3 main parameters such as Peak Ground Acceleration (PGA), Velocity Shear at a depth of 30 meters (Vs30) and Compound Topographic Index (CTI). The Research data were obtained from microtremor field measurements and spatial data from the United States Geological Survey (USGS) site and the Center for Ecology and Hydrology (CEH). Microtremor data was measured by a Seismograph TDS 303S sensor at 48 measurement points with an interval of 1 Km between points. Microtremor measurement data obtained are then processed using the Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) method to obtain the values of dominant frequency ( $f_0$ ) and Amplification ( $a_0$ ). The  $f_0$  value is used to calculate the PGA value while the Vs30 value is obtained from USGS spatial data and CTI value is obtained from CEH spatial data. Values from the PGA, Vs30 and CTI obtained were then calculated using the geospatial model approach to determine the probability of liquefaction. The results showed that the probability value of liquefaction between 0,10 to 1 where the value of 1 dominates in the study area. This condition showed that the most of area have the potential to be affected by liquefaction events.*

*Keywords: Liquefaction, Microtremor, HVSr, PGA, Vs30, CTI.*

STATE ISLAMIC UNIVERSITY  
SUNAN KALIJAGA  
YOGYAKARTA

## DAFTAR ISI

|                                                    |            |
|----------------------------------------------------|------------|
| <b>HALAMAN JUDUL .....</b>                         | <b>i</b>   |
| <b>HALAMAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR .....</b>        | <b>ii</b>  |
| <b>SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR.....</b>  | <b>iii</b> |
| <b>SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR .....</b> | <b>iv</b>  |
| <b>MOTTO .....</b>                                 | <b>v</b>   |
| <b>PERSEMBAHAN .....</b>                           | <b>vi</b>  |
| <b>KATA PENGANTAR.....</b>                         | <b>vii</b> |
| <b>INTISARI.....</b>                               | <b>ix</b>  |
| <b>ABSTRACT.....</b>                               | <b>x</b>   |
| <b>DAFTAR ISI .....</b>                            | <b>xi</b>  |
| <b>DAFTAR TABEL .....</b>                          | <b>xiv</b> |
| <b>DAFTAR GAMBAR.....</b>                          | <b>xv</b>  |
| <b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>                       | <b>xvi</b> |
| <b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>                     | <b>1</b>   |
| 1.1 Latar Belakang .....                           | 1          |
| 1.2 Rumusan Masalah .....                          | 8          |
| 1.3 Tujuan Penelitian .....                        | 8          |
| 1.4 Batasan Penelitian .....                       | 8          |
| 1.5 Manfaat Penelitian .....                       | 9          |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>               | <b>10</b>  |
| 2.1 Studi Pustaka.....                             | 10         |
| 2.2 Landasan Teori.....                            | 12         |
| 2.2.1 Geomorfologi.....                            | 12         |
| 2.2.2 Struktur Geologi.....                        | 12         |
| 2.2.3 Hidrologi.....                               | 13         |
| 2.2.4 Gempabumi.....                               | 13         |
| 2.2.4.1 Penyebab Terjadinya Gempabumi .....        | 14         |
| 2.2.4.2 Parameter Gempabumi .....                  | 15         |
| 2.2.4.3 Kedalaman Gempabumi .....                  | 16         |
| 2.2.5 Gelombang Seismik .....                      | 17         |
| 2.2.5.1 Gelombang Badan ( <i>Body Wave</i> ) ..... | 18         |

|                |                                                           |    |
|----------------|-----------------------------------------------------------|----|
| 2.2.5.2        | Gelombang Permukaan ( <i>Surface Wave</i> ).....          | 19 |
| 2.2.6          | Likuifaksi.....                                           | 20 |
| 2.2.7          | Model Geospasial.....                                     | 23 |
| 2.2.8          | Mikrotremor.....                                          | 25 |
| 2.2.9          | <i>Horizontal to Vertikal Spectrum Ratio (HVSr)</i> ..... | 26 |
| 2.2.10         | Transformasi Fourier.....                                 | 30 |
| 2.2.11         | Frekuensi Dominan Tanah ( $f_0$ ).....                    | 33 |
| 2.2.12         | Faktor Amplifikasi ( $a_0$ ).....                         | 37 |
| 2.2.13         | <i>Peak Ground Acceleration (PGA)</i> .....               | 39 |
| 2.2.14         | <i>Velocity Shear (Vs30)</i> .....                        | 41 |
| 2.2.15         | <i>Compound Topographic Index (CTI)</i> .....             | 42 |
| <b>BAB III</b> | <b>METODE PENELITIAN</b> .....                            | 44 |
| 3.1            | Waktu dan Tempat Pelaksanaan.....                         | 44 |
| 3.2            | Alat dan Bahan Penelitian.....                            | 44 |
| 3.2.1          | Alat Penelitian.....                                      | 44 |
| 3.2.2          | Bahan Penelitian.....                                     | 45 |
| 3.3            | Prosedur Kerja.....                                       | 45 |
| 3.3.1          | Studi Awal.....                                           | 47 |
| 3.3.2          | Desain Survei.....                                        | 47 |
| 3.3.3          | Akuisisi Data.....                                        | 48 |
| 3.3.4          | Pengolahan Data.....                                      | 50 |
| 3.3.5          | Analisis Data.....                                        | 51 |
| <b>BAB IV</b>  | <b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....                         | 52 |
| 4.1            | Frekuensi Dominan ( $f_0$ ).....                          | 52 |
| 4.2            | Amplifikasi ( $a_0$ ).....                                | 54 |
| 4.3            | <i>Peak Ground Acceleration (PGA)</i> .....               | 58 |
| 4.4            | <i>Velocity Shear (Vs30)</i> .....                        | 60 |
| 4.5            | <i>Compound Topographic Index (CTI)</i> .....             | 62 |
| 4.6            | Likuifaksi.....                                           | 63 |
| 4.7            | Integrasi Interkoneksi.....                               | 67 |
| <b>BAB V</b>   | <b>KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....                         | 70 |

|                                |                  |           |
|--------------------------------|------------------|-----------|
| 5.1                            | Kesimpulan ..... | 70        |
| 5.2                            | Saran .....      | 71        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>    |                  | <b>72</b> |
| <b>LAMPIRAN-LAMPIRAN .....</b> |                  | <b>77</b> |



## DAFTAR TABEL

|     |                                                                                    |    |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1 | Hubungan kedalaman muka airtanah dengan kerentanan likuifaksi .....                | 23 |
| 2.2 | Ringkasan model global oleh Zhu dkk, 2014.....                                     | 24 |
| 2.3 | Klasifikasi tanah berdasarkan nilai frekuensi dominan mikrotremor oleh Kanai ..... | 35 |
| 2.4 | Zonasi nilai amplifikasi.....                                                      | 39 |
| 2.5 | Tingkat resiko gempabumi berdasarkan nilai percepatan getaran tanah                | 40 |
| 2.6 | Klasifikasi <i>site class</i> berdasarkan <i>Vs30</i> .....                        | 42 |
| 3.1 | Perangkat keras yang digunakan .....                                               | 44 |
| 3.2 | Perangkat lunak yang digunakan.....                                                | 45 |
| 3.3 | Syarat pengukuran mikrotremor .....                                                | 49 |



## DAFTAR GAMBAR

|     |                                                                                                 |    |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.1 | Peta tektonik Indonesia .....                                                                   | 1  |
| 2.1 | Peta geologi Kecamatan Kretek Kabupaten Bantul.....                                             | 13 |
| 2.2 | Sketsa jenis pertemuan lempeng tektonik .....                                                   | 14 |
| 2.3 | a) Perambatan gelombang <i>P</i> , b) Perambatan gelombang <i>S</i> .....                       | 19 |
| 2.4 | a) Perambatan gelombang Rayleigh, b) Perambatan gelombang Love ..                               | 20 |
| 2.5 | Perbandingan keadaan tanah sebelum dan sesudah gempa bumi di<br>tanah yang dapat dicairkan..... | 21 |
| 2.6 | Contoh data mikrotremor Desa Parangtritis (Titik 2) .....                                       | 26 |
| 2.7 | Frekuensi resonansi dan puncak spektrum amplifikasi .....                                       | 27 |
| 2.8 | Model cekungan yang berisi material sedimen .....                                               | 28 |
| 2.9 | Pengaruh gelombang Reyleigh terhadap <i>HVSR</i> .....                                          | 36 |
| 3.1 | Diagram tahapan penelitian.....                                                                 | 46 |
| 3.2 | Desain survei .....                                                                             | 47 |
| 4.1 | Peta persebaran nilai frekuensi dominan Kecamatan Kretek.....                                   | 52 |
| 4.2 | Peta persebaran nilai amplifikasi Kecamatan Kretek .....                                        | 55 |
| 4.3 | Peta persebaran nilai <i>Peak Ground Acceleration (PGA)</i> di<br>Kecamatan Kretek .....        | 59 |
| 4.4 | Peta persebaran nilai <i>Velocity Shear (Vs30)</i> Kecamatan Kretek.....                        | 61 |
| 4.5 | Peta persebaran nilai <i>Compound Topographic Index (CTI)</i><br>Kecamatan Kretek .....         | 62 |
| 4.6 | Peta persebaran potensi likuifaksi Kecamatan Kretek.....                                        | 66 |

STATE ISLAMIC UNIVERSITY  
SUNAN KALIJAGA  
YOGYAKARTA

## DAFTAR LAMPIRAN

|                  |    |
|------------------|----|
| LAMPIRAN A ..... | 77 |
| LAMPIRAN B.....  | 80 |
| LAMPIRAN C ..... | 88 |
| LAMPIRAN D ..... | 89 |
| LAMPIRAN E.....  | 90 |
| LAMPIRAN F ..... | 91 |
| LAMPIRAN G ..... | 93 |
| LAMPIRAN H ..... | 98 |
| LAMPIRAN I.....  | 99 |



STATE ISLAMIC UNIVERSITY  
**SUNAN KALIJAGA**  
YOGYAKARTA

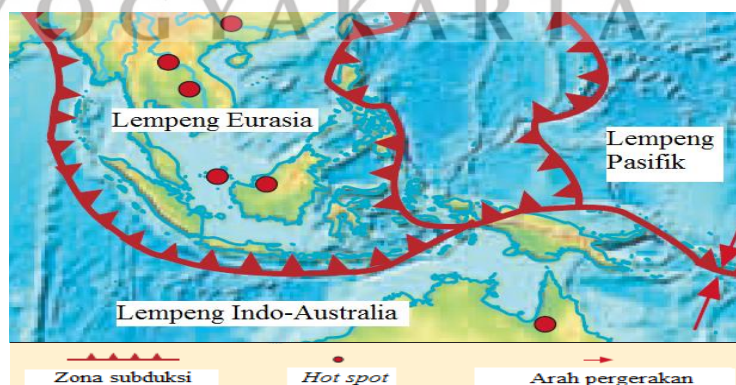
## BAB 1

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Manusia sebagai makhluk ciptaan yang dibekali akal dan pikiran paling sempurna hendaknya berfikir dan merenungi tanda-tanda kebesaran Allah SWT sebagai bentuk ketaqwaan kepada sang pencipta. Salah satu tanda kebesaran Allah SWT dapat berupa fenomena-fenomena alam yang terjadi dekat dengan kehidupan manusia, seperti peristiwa gempabumi. Gempabumi adalah peristiwa bergoncangnya bumi akibat pergerakan atau pergeseran lapisan batuan pada kulit bumi secara tiba-tiba, dimana pergerakan ini dapat dipicu oleh patahan aktif, aktivitas gunung api, runtuhan batuan dan tumbukan lempeng bumi (Sunarjo dkk, 2012).

Indonesia merupakan negara yang terletak di zona pertemuan tiga lempeng tektonik utama dunia yaitu lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia dan lempeng Pasifik. Pertemuan lempeng tersebut menyebabkan Indonesia sangat rentan terhadap gempabumi, terutama di daerah pesisir selatan pulau Jawa.



**Gambar 1.1** Peta tektonik Indonesia (Monroe dkk, 2007)

Pada gambar 1.1 terlihat bahwa daerah pesisir selatan pulau Jawa yang merupakan bagian dari lempeng Eurasia terletak berbatasan dengan lempeng Indo-Australia, hal ini menyebabkan daerah pesisir selatan pulau Jawa sangat rentan terhadap peristiwa gempabumi. Menurut data dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG.go.id) bahwa pada 10 tahun terakhir terjadi beberapa peristiwa gempabumi tektonik melanda daerah pesisir selatan pulau Jawa, diantaranya gempabumi Yogyakarta pada tanggal 27 Mei 2006. Gempabumi ini total menimbulkan 5.716 korban jiwa dimana 1.057 korban terdapat di Jawa Tengah dan 4.659 korban terdapat di Provinsi Yogyakarta. Gempabumi dengan kekuatan 6,2 magnitudo ini berpusat di samudera Hindia sekitar 33 km arah selatan dari Kabupaten Bantul. Kabupaten Bantul sendiri mengalami dampak dari gempa Jogja tersebut dimana terdapat 4.121 korban jiwa, 12.026 korban luka-luka, menghancurkan lebih dari 240 ribu rumah dan mata pencaharian warga di Bantul (BAPPENAS, 2006).

Banyaknya aktivitas gempa di suatu wilayah berpotensi menyebabkan peristiwa pencairan tanah atau likuifaksi. Fenomena likuifaksi merupakan peristiwa hilangnya kekuatan lapisan pasir lepas akibat kenaikan tekanan air pori karena menerima getaran gempabumi (Tohari dkk, 2015). Peristiwa likuifaksi terjadi ketika getaran dari gempabumi mengakibatkan terlepasnya ikatan fraksi antar batuan di permukaan dan meningkatkan kadar air dalam tanah bergerak ke permukaan sehingga tidak dapat menahan beban bangunan diatasnya. Menurut Day (seperti dikutip dalam Tandirerung, 2017) ada sejumlah faktor yang mengontrol proses likuifaksi berdasarkan penelitian di

laboratorium dan juga pengamatan di lapangan. Faktor utama yang mengontrol likuifaksi adalah intensitas gempabumi yang tinggi, umur geologi endapan dan kondisi muka air tanah. Faktor–faktor ini dapat diketahui dengan mempelajari karakteristik bawah permukaan tanah melalui beberapa parameter seperti *Peak Ground Acceleration (PGA)*, *Velocity Shear (Vs30)* dan *Compound Topographic Index (CTI)*. Parameter *PGA* dan *Vs30* merupakan parameter untuk mengetahui pergerakan tanah di suatu wilayah dimana *PGA* menurut Kanai dan Tanaka (seperti dikutip dari Kramer, 1996) merupakan percepatan getaran tanah yang terjadi di suatu wilayah akibat dari getaran gempabumi yang terjadi pada periode tertentu, sedangkan *Vs30* merupakan kecepatan gelombang geser yang melewati batuan hingga kedalaman 30 meter (Roser dan Gosar, 2010). Selain pergerakan tanah, kondisi muka air tanah merupakan parameter hidrologi yang menyebabkan tanah menjadi cair. Parameter hidrologi dapat diketahui melalui nilai *CTI* yang merupakan indeks kebasahan yang menggambarkan kontrol topografi wilayah terhadap kelembaban tanah (Wilson dan Gallant, 2000).

Peristiwa likuifaksi dapat diketahui melalui pengukuran lapangan dan melalui sistem pengindraan jarak jauh atau citra satelit yang disediakan oleh server *USGS (United States Geological Survey)* dan *CEH (Centre for Ecology and Hydrology's)*. Pengukuran lapangan dapat dilakukan dengan pengukuran mikrotremor dimana menurut Kanai dan Tanaka (seperti dikutip dari Kramer, 1996) mikrotremor merupakan pengukuran getaran tanah yang kecil dan terus menerus yang berasal dari dua sumber utama, yaitu alam dan aktivitas

manusia. Penelitian dengan pengukuran mikrotremor seperti yang dilakukan oleh Tohari dkk (2013) dalam *Prosiding Pemaparan Hasil Penelitian Puslit Geoteknologi LIPI* dengan judul “Karakteristik Likuifaksi Tanah Pasiran di Kota Padang Berdasarkan Metode Mikrotremor”. Potensi likuifkasi pada penelitian ini diketahui dari nilai periode dominan dan amplifikasi di daerah penelitian.

Karateristik bawah permukaan tanah yang berpotensi terjadi likuifaksi di suatu daerah selain dapat diketahui dari pengukuran lapangan juga dapat diketahui melalui data spasial melalui citra satelit *USGS* dan *CEH*. Menurut UU DPR dan Presiden RI pasal 1 dan 2 (2011) tentang informasi geospasial, data spasial adalah aspek keruangan suatu objek atau kejadian yang mencakup lokasi, letak, dan posisinya, sedangkan geospasial atau ruang kebumian adalah aspek keruangan yang menunjukkan lokasi, letak, dan posisi suatu objek atau kejadian yang berada di bawah atau di atas permukaan bumi yang dinyatakan dalam sistem koordinat tertentu. Metode geofisika yang memanfaatkan data geospasial salah satunya adalah metode model geospasial yang dikembangkan oleh Zhu dkk (2015) dalam jurnal *Earthquake Spectra* yang berjudul “A Geospatial Liquefaction Model for Rapid Response and Loss Estimation”. Metode ini dalam menganalisis potensi likuifaksi dari di beberapa kota di Eropa dilakukan dengan memanfaatkan parameter geospasial yang tersedia secara luas seperti yang disediakan oleh *USGS* dan *CEH* sebagai kemudahan dalam mendapatkan informasi bawah permukaan tanah. Kelebihan metode ini dibandingkan dengan metode pengukuran

lapangan mikrotremor adalah dapat memperoleh informasi bawah permukaan tanah secara cepat dan dapat mengetahui karakteristik hidrologi seperti nilai *CTI* daerah dibandingkan dengan metode mikrotremor.

Kecamatan Kretek Kabupaten Bantul merupakan daerah yang rawan terkena peristiwa likuifaksi karena ikut terkena dampak dari gempa Jogja tahun 2006, dimana menurut Day (seperti dikutip dalam Tandirerung, 2017) sejarah kegempaan yang pernah melanda suatu wilayah khususnya dengan kekuatan diatas 5,0 magnitudo dapat memicu pergerakan tanah yang berpotensi terjadinya peristiwa likuifaksi. Selain itu Kecamatan Kretek mempunyai sesar aktif yaitu sesar Opak yang mengakibatkan daerah ini rawan gempabumi. Gempabumi Jogja yang melanda Kecamatan Kretek tersebut mengakibatkan 25 korban jiwa, 230 korban luka-luka, 7.151 bangunan rusak dan 1.121 bangunan hancur di Kecamatan Kretek (BAPPENAS, 2006). Selain sejarah gempa yang melanda suatu wilayah, kondisi geologi Kecamatan Kretek yang sebagian besar terdiri dari material endapan Gunung Api Merapi Muda dan Aluvial berpotensi untuk terjadinya likuifaksi. Menurut Youd dan Perkins (1978) likuifaksi selama terjadinya gempabumi berpeluang terjadi pada lapisan sedimen yang berumur geologi Kuarter, dimana Kecamatan Kretek terpetakan dalam satuan endapan permukaan berumur Kuarter (Rahardjo dkk, 1995). Parameter hidrologi seperti kondisi muka air tanah yang berpotensi likuifaksi sering terjadi pada lapisan endapan yang relatif dekat dengan permukaan atau kurang dari 10 meter pada permukaan tanah, dimana di kecamatan kretek ini menurut BPS

Kabupaten Bantul (2018) mempunyai kedalaman muka air tanah yang dangkal berkisar 0 s.d 5 meter dengan kedalaman air tanah <3 meter mendominasi di wilayah Kecamatan Kretek.

Penelitian-penelitian terkait di Kecamatan Kretek antara lain oleh Marsyelina dkk (2014) dalam jurnal *Sains Dasar* tentang “Karakteristik Mikrotremor dan Analisis Seismisitas Pada Jalur Sesar Opak, Kabupaten Bantul, Yogyakarta” dan penelitian yang dilakukan Lantu dkk (2018) dalam jurnal *Geoelebes* tentang “Pemetaan Wilayah Rawan Bencana Gempabumi Berdasarkan Data Mikrotremor dan Data Bor”. Kedua penelitian tersebut menganalisis getaran tanah di jalur sesar Opak Kecamatan Kretek dengan pengukuran mikrotremor. Penelitian di Kecamatan Kretek yang terkait dengan potensi likuifaksi menggunakan model geospasial masih sangat terbatas dimana kelebihan dari model geospasial dibandingkan dengan metode lain yaitu parameter yang digunakan lebih banyak dibandingkan dengan metode lain akan tetapi biaya yang digunakan lebih murah. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian tentang potensi likuifaksi menggunakan model geospasial sebagai metode yang lebih sederhana untuk mengetahui potensi likuifaksi di Kecamatan Kretek. Peristiwa likuifaksi juga dijelaskan dalam firman Allah yang berbunyi:

فَكُلًّا أَخَذْنَا بِذَنبِهِ فَمِنْهُمْ مَنْ أَرْسَلْنَا عَلَيْهِ حَاصِبًا وَمِنْهُمْ مَنْ أَخَذَتْهُ الصَّيْحَةُ  
وَمِنْهُمْ مَنْ خَسَفْنَا بِهِ الْأَرْضَ وَمِنْهُمْ مَنْ أَغْرَقْنَا وَمَا كَانَ اللَّهُ لِيُظْلِمَهُمْ وَلَكِنْ  
كَانُوا أَنْفُسَهُمْ يَظْلِمُونَ

Artinya: *“Maka masing-masing (mereka itu) kami siksa disebabkan dosanya, maka di antara mereka ada yang kami timpakan kepadanya hujan batu kerikil dan di antara mereka ada yang ditimpa suara keras yang mengguntur, dan di antara mereka ada yang kami benamkan ke dalam bumi, dan di antara mereka ada yang kami tenggelamkan, dan Allah sekali-kali tidak hendak menganiaya mereka, akan tetapi merekalah yang menganiaya diri mereka sendiri.”* (QS. Al-‘Ankabut 29:40).

Menurut Abdullah (2004) dalam Tafsir Ibnu Katsir, kata *“dan di antara mereka ada yang kami benamkan ke dalam bumi,”* dia adalah Qarun yang telah berbuat zhalim, melampaui batas, berbuat maksiat kepada Allah yang maha tinggi, berjalan di muka bumi dengan sombong, mengagungkan dirinya sendiri, berkeyakinan bahwa dirinya lebih utama dibandingkan yang lainnya dan berbesar diri (langkah) dalam berjalan. Maka, Allah tenggelamkan dia dan istananya ke dalam bumi dalam keadaan sombong hingga hari kiamat.

Peristiwa bencana berupa *“tenggelam ke dalam bumi”* telah dibenarkan dalam firman Allah surat Al-‘Ankabut ayat 40 sebagai suatu peristiwa yang mengakibatkan korban jiwa. Peristiwa berupa ditenggelamkan memiliki keterkaitan dengan penelitian ini dimana peristiwa likuifaksi merupakan peristiwa yang dapat menenggelamkan benda kedalam tanah. Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui adanya potensi bencana berupa peristiwa likuifaksi di wilayah yang rawan bencana, dimana dengan diketahuinya potensi likuifaksi di suatu tempat dapat dijadikan informasi awal bagi masyarakat dalam mengurangi dampak kerusakan yang terjadi.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Berapakah nilai *PGA* di Kecamatan Kretek Kabupaten Bantul berdasarkan parameter gempa Jogja tahun 2006?
2. Berapakah nilai *Vs30* pada struktur lapisan bawah permukaan di Kecamatan Kretek Kabupaten Bantul?
3. Berapakah nilai *CTI* berdasarkan topografi di Kecamatan Kretek Kabupaten Bantul?
4. Bagaimana potensi likuifaksi berdasarkan model geospasial di Kecamatan Kretek Kabupaten Bantul?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menentukan nilai *PGA* di Kecamatan Kretek Kabupaten Bantul berdasarkan parameter gempa Jogja tahun 2006.
2. Menentukan nilai *Vs30* pada struktur lapisan bawah permukaan di Kecamatan Kretek Kabupaten Bantul.
3. Menentukan nilai *CTI* berdasarkan topografi di Kecamatan Kretek Kabupaten Bantul.
4. Menentukan potensi likuifaksi di Kecamatan Kretek Kabupaten Bantul berdasarkan model geospasial.

## 1.4 Batasan Penelitian

Batasan dalam penelitian ini adalah :

1. Lokasi pengukuran berada di Kecamatan Kretek Kabupaten Bantul Yogyakarta.
2. Pengukuran mikrotremor menggunakan alat TDS-303 (*Digital Portable Seismograph*).
3. Parameter *PGA* diperoleh dari pengukuran mikrotremor sebanyak 48 titik dengan jarak 1 km sedangkan parameter *Vs30* didapatkan dari *USGS* dan parameter *CTI* didapatkan dari *CEH*.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat dalam penelitian ini adalah :

1. Memberikan informasi dan gambaran terkait struktur bawah permukaan di Kecamatan Kretek Kabupaten Bantul.
2. Memberikan Informasi tentang resiko potensi likuifaksi yang terjadi akibat gempabumi di Kecamatan Kretek.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan :

1. Hasil pengolahan data, dan interpretasi data nilai (*PGA*) didapatkan nilai sebesar 51,21 s.d. 241,22 gal dari 48 titik pengukuran di Kecamatan Kretek. terdapat 2 kategori intensitas skala *MMI* pada daerah penelitian yaitu intensitas VII s.d VIII dan intensitas VIII s.d IX. Klasifikasi intensitas VII s.d VIII cenderung mendominasi di wilayah penelitian, dimana klasifikasi intensitas ini memiliki rentang nilai 50 s.d 125 Gal dengan tingkat resiko gempabumi sedang. Klasifikasi intensitas VIII s.d IX terdapat di tenggara wilayah penelitian, dimana klasifikasi intensitas ini memiliki rentang nilai 125 s.d 300 Gal dengan tingkat resiko gempabumi besar.
2. Hasil pengolahan data, dan interpretasi data nilai *Vs30* didapatkan nilai sebesar nilai 214,06 s.d 714,26 dari 48 titik pengukuran di Kecamatan Kretek. Daerah yang memiliki nilai *Vs30* cenderung rendah cenderung mendominasi daerah penelitian sedangkan nilai *Vs30* cenderung tinggi berada pada tenggara wilayah penelitian.
3. Hasil pengolahan data, dan interpretasi data nilai *CTI* didapatkan nilai sebesar nilai 3,06 s.d 13,24 dari 48 titik pengukuran di Kecamatan Kretek. Daerah dengan nilai *CTI* tinggi cenderung mendominasi di daerah

penelitian sedangkan nilai *CTI* lebih rendah cenderung terdapat di tenggara wilayah penelitian.

4. Hasil pengolahan data, dan interpretasi data nilai potensi likuifaksi didapatkan nilai sebesar nilai 0,1 s.d 0,9 dari 48 titik pengukuran di Kecamatan Kretek. Daerah dengan potensi likuifaksi tinggi cenderung mendominasi di daerah penelitian sedangkan nilai potensi likuifaksi lebih rendah cenderung berada di tenggara daerah penelitian.

## 5.2. Saran

Penelitian ini menggunakan data pengukuran mikrotremor lapangan untuk mendapatkan nilai *PGA* di daerah penelitian, sedangkan nilai *Vs30* dan *CTI* didapatkan dari data spasial yang disediakan oleh *USGS* dan *CEH*. Potensi likuifaksi akan lebih akurat jika nilai *Vs30* dan *CTI* didapatkan dari pengukuran lapangan, selain itu penggunaan metode lain untuk mengetahui potensi likifaksi di daerah penelitian akan bermanfaat sebagai bahan rujukan untuk penelitian- penelitain selanjutnya.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY  
SUNAN KALIJAGA  
YOGYAKARTA

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah bin Muhammad bin Abdurahman bin Ishaq Al-Sheikh. 2004. *Tafsir Ibnu Katsir Jilid 3*. Penerjemah: Muhammad Abdul Ghoffar. Penerbit Pustaka Imam asy-Syafi'i, Bogor.
- Arifin, S. S., Mulyanto, B. S., Majiyono, dan Setianegara, R. 2013. Penentuan Zona Rawan Guncangan Bencana Gempabumi Berdasarkan Analisis Nilai Amplifikasi HVSR Mikrotremor dan Analisis Periode Dominan Daerah Liwa dan Sekitarnya. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, **Vol. 2 No.1** : 30-41.
- BAPPEDA. 2017. Profil Daerah Kabupaten Bantul Tahun 2017. Pemerintah Kabupaten Bantul, Bantul.
- BAPPENAS. 2006. *Penilaian Awal dan Kerusakan Bencana Alam di Yogyakarta dan Jawa Tengah*. Public Disclosure Authorized, Jakarta.
- BMKG. 2018. *Buku Gempabumi*. Diakses 15 Januari 2019 dari <http://puslitbang.bmkg.go.id/litbang/wp-content/uploads/2018/01/buku-gempabumi.pdf>
- BMKG. 2019. *Data gempa di Indonesia*. Diakses 5 Januari 2019 dari <http://inatews.bmkg.go.id/new/?act=realtimeev>.
- BMKG. 1998. *Sumber Daya Geologi Buletin Meteorologi dan Geofisika No. 4* BMKG. Jakarta.
- Beven, K. J., dan Kirby, M. J. 1979. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrological Science Bulletin*, **Vol. 24 No. 1** 25 Desember 2009 : 43-69.
- Boore, D. M. 2004. Estimating Vs30 (or NEHRP Site Classes) from Shallow Velocity Models (Depth <30m). *Bulletin of the Seismological Society of America*, **Vol. 94 No. 2 April 2003** : 591–597.
- BPS Kabupaten Bantul. 2018. *Kecamatan Kretek Dalam Angka*. Lunar Media Sejahtera, Bantul.
- CEH. 2015. *Environmental Information Data Centre*. Diakses 5 September 2019 dari <https://catalogue.ceh.ac.uk/documents/6b0c4358-2bf3-4924-aa8f-793d468b92be>.
- Daryono, Sutikno, Sartohadi. S., Dulbahri, dan Brotopuspito, K. S. 2009. Pengkajian Local Site Effect di Graben Bantul Menggunakan Indeks Kerentanan Seismik Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor. *Jurnal Kebencanaan Indonesia*, **Vol. 2 No.1 Mei 2009**.
- Day, R.W. 2012. *Geotechnical Earthquake Engineering Handbook*. Mc Graw-Hill. New York.

- Douglas, J. 2011. *Ground-motion Prediction equations 1964-2010*. BRGM. Berkeley.
- Edwiza, D., dan Novita, S. 2008. *Pemetaan Percepatan Tanah Maksimum dan Intensitas Seismik Kota Padang Panjang Menggunakan Metoda Kannai*. Repository Universitas Andalas. Padang.
- Encyclopedia Britannica. 2014. *Alaska earthquake of 1964*. Diakses 28 Desember 2019 dari <http://www.britannica.com/event/Alaska-earthquake-of-1964>.
- Ghazali, I., Purwanto, M. S., dan Warnana, D. D. 2017. Estimasi Kecepatan Gelombang Geser (Vs) Berdasarkan Inversi Mikrotremor Spectrum Horizontal to Vertikal Spectral Ratio (HVSr) Studi Kasus : Tanah Longsor Desa Olak-Alen, Blitar. *Jurnal Teknik ITS*, **Vol. 6 No. 2** : 384-388
- Hadi, A. I., Farid, M., dan Fauzi, Y. 2012. Pemetaan Percepatan Getaran Tanah Maksimum dan Kerentanan Seismik Akibat Gempa Bumi Untuk Mendukung Rencana Tata Ruang dan Wilayah (RTRW) Kota Bengkulu. *Jurnal Ilmu Fisika Indonesia*, **Vol. 1 No. 2** : 81-86.
- Hartati, L. 2014. *Pemetaan Tingkat Resiko Gempabumi Daerah Liwa dan Sekitarnya Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor*. (Thesis), UGM, Yogyakarta.
- Ibrahim, G., 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*.
- Kanai, K., dan Tanaka, T. 1961. On Microtremors VIII. *Bulletin of The Seismological Society of Americ.*, **Vol. 88**, 97-114.
- Kearey, P., Brooks, M., dan Hill, I. 2002. *An Introduction to Geophysical exploration*. Blackwell Science. Oxford.
- Kramer, S. L. 1996. *Geotechnical Earthquake Engineering*. Perntice Hall Inc. New Jersey.
- 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.
- Lantu, Aswad. S., Fitriani, dan Marjiyono. 2018. Pemetaan Wilayah Rawan Bencana Gempabumi Berdasarkan Data Mikrotremor dan Data Bor. *Jurnal Geoelebes*, **Vol.2 No.1 April 2018** : 20-30
- Manolakis, D., dan Ingle, V. 2011. *Applied Digital Signal Processing Theory and Practice*. (Tesis), Cambridge University Press, Cambridge.

- Marsyelina, M., Wibowo N. B., dan Darmawan, D. 2014. Karakteristik Mikrotremor dan Analisis Seismisitas Pada Jalur Sesar Opak, Kabupaten Bantul, Yogyakarta. *Jurnal Sains Dasar*, **Vol.3 No.2 Ferbruari 2014** : 95-101.
- Monroe, J. S., Wicander, R., dan Hazlett, R. 2007. *Physical Geology Exploring The Earth Sixth Edition*. Thomson Brooks/Cole. United States of America.
- Muntohar, A. S. 2010. A Laboratory Test On The Strength And Load Settlement Characteristic Of Improved Soft Soil Using Lime Column. *Dinamika Teknik Sipil*, **Vol.10 No.3 September 2010** : 202-207.
- Nakamura, Y. 1989. A Method For Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface. *Quarterly Reports Of The Railway Technical Research Institute*. **Vol. 30** : 25-33.
- 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.
- Nurrahmi, Effendi, R., dan Sandra., 2015. Analisis Kecepatan Gelombang Geser Vs30 Menggunakan Metode Refraksi Mikrotremor (Remi) Di Kelurahan Talise. *Gravitasi*, **Vol.14, Nomor 1**.
- Oliveira. C. S., Roca, A., dan Goula, X. 2006. *Assessing And Managing earthquake Risk*. Springer, Netherland.
- Putra, H. G., Hakam, A., dan Lastaruna, D. 2009. Analisa Potensi Likuifaksi Berdasarkan Data Pengujian Sondir (Studi Kasus GOR Haji Agus Salim dan Lapai, Padang). *Jurnal Rekayasa Sipil*, **Vol.5 No.1 Februari 2009** : 18-21.
- Raharjo, W., Sukandarrumidi, dan Rosidi, H.M. 1995. *Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa*. Direktorat Geologi, Departemen Pertambangan Republik Indonesia.
- Ratdomopurbo, A. 2006. Studi kasus Merapi 2006: Peranan pengukuran deformasi dalam prediksi erupsi. *Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral*, **September 2006** : 17 – 20.
- Republik Indonesia. 2011. *Undang-Undang No. 4 Tahun 2011 Tentang Informasi Geospasial*. Lembaga Negara RI.
- Roser, J., dan Gosar, A. 2010. Determination of Vs30 for seismic ground classifications in the Ljubljana area, Slovenia. *Acta Geotechnica Slovenia*, **Vol. 16 Januari 2010**.
- Sears, I. W., dan Zemansky, M. W. 1994. *Fisika untuk Universitas*. Terjemahan: Endang Juliastuti. Penerbit Bina Cipta, Bandung.

- Seed H. B., dan Schnabel P. B. 1972. SHAKE-A Computer program for equation respon analysis of horizontal layered sites. *Earthquake Engineering*, **Desember 1972** : 72-12
- SESAME. 2004. *Guidelines For The Implementation Of The H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations*. SESAME European research project. Europe.
- Sitorus, N., Purwanto, S., dan Utama, W. 2017. Analisis Nilai Frekuensi Natural dan Amlifikasi Desa Olak Alen Blitar Menggunakan Metode Mikrotremor HVSR. *Jurnal Geosaintek*, **Vol. 03 No. 02**.
- Sonjaya, I. 2008. *Pengenalan Gempabumi*. Workshop ASEAN Regional Climates Validation Models, Yogyakarta.
- Sunarjo., Gunawan, M. T., dan Pribadi, S. 2012. *Gempabumi Edisi Populer*. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. Jakarta.
- Sungkowo, A. 2016. *Studi Kerentanan Seismik dan Karakteristik Dinamik Tanah di Kota Yogyakarta dari Data Mikrotremor*. (Tesis), Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Surono, B., Toha, I., dan Sudirno. 1992. Peta Geologi Lembar Surakarta-Girintontro, Jawa. (1408-3), Skala 1:100.000. Pusat Penelitian dan Geologi. Bandung.
- Tandirerung, R. 2017. *Kajian Potensi Likuifaksi di Daerah Pantai Pandansimo, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta*. (Tesis), Teknik Geologi, Fakultas Teknik, UGM, Yogyakarta.
- Tohari, A., Sugianti, K., Syahbana, A. J., dan Soebowo, E. 2015. Kerentanan Likuifaksi Wilayah Kota Banda Aceh Berdasarkan Metode Uji Penetrasi Konus. *Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI*, **Vol.25 No.2 Desember 2015** : 99-110.
- Tohari, A., Syahbana, A. J., Satriyo, N. A., dan Soebowo, E. 2013. Karakteristik likuifaksi Tanah Pasiran di kota Padang Berdasarkan Metode Microtremor. *Prosiding Pemaparan Hasil Penelitian Puslit Geoteknologi LIPI*, **Desember 2013**.
- Tolman, C. F. 1937. *Groundwater*. McGraw-Hill Book Company. New York.
- Towhata, I. 2008. *Geotechnical Earthquake Engineering*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Springer.
- Tuladhar, R., Yamazaki, F., Warnitchai, P., dan Saita, J. 2002. *Seismic microzonation of the Greater Bangkok with microtremor observations*. Thesis for degree of Master of Engineering, Asian Institute of Technology, School of Civil Engineering.
- Wangsadinata, W. 2006. *Perencanaan Bangunan Tahan Gempa Berdasarkan SNI 1726-2002*. Shortcourse HAKI. Jakarta.

- Wilson, J. P., dan Gallant, J. C. 2000. *Terrain analysis Principles and Applications*. John Wiley & Sons. New York.
- Wahyuni, A. 2014. Pengukuran Frekuensi Natural Pada Gedung Bertingkat Menggunakan Accelerometer GPL-6A3P. *JFT*, **No.1 Vol. 1 Desember 2014** : 12-17
- Youd, T. L., dan Perkins, M. 1978. Mapping Liquefaction-Induced Ground Failure Potential. *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, **Vol. 104 (4)** : 433-446.
- 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*, **Vol. 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**.

