



**ANALISIS FISIS DAERAH RAWAN LONGSOR
DENGAN METODE MIKROSEISMIK DI
KELURAHAN PUDAKPAYUNG KECAMATAN
BANYUMANIK KOTA SEMARANG**

Skripsi

disajikan sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Sarjana Sains
Program Studi Fisika

Oleh

Siti Nurhikmah
4211414003

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2018**

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Skripsi dengan judul “Analisis Fisis Daerah Rawan Longsor dengan Metode Mikroseismik Di Kelurahan Pudukpayung Kecamatan Banyumanik” telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang ujian skripsi Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.

Hari : Rabu

Tanggal : 1 Agustus 2018


Semarang,

Pembimbing I

Pembimbing II



Prof. Dr. Supriyadi, M.Si.
NIP 19650518 199102 1 001



Dr. Suharto Linuwih M.Si.
NIP 19680714 199603 1 005

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa yang tertulis dalam skripsi ini benar-benar hasil karya sendiri, bukan jiplakan dari karya tulis orang lain atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku, baik sebagian atau seluruhnya. Pendapat atau temuan orang lain yang terdapat dalam skripsi ini dikutip dan dirujuk berdasarkan kode etik ilmiah.

Semarang, Juli 2018

mbuat Pernyataan.

ikmah
4211414003



PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul **Analisis Fisis Daerah Rawan Longsor dengan Metode Mikroseismik Di Kelurahan Pudukpayung Kecamatan Banyumanik Kota Semarang**

disusun oleh

Siti Nurhikmah

4211414003

telah dipertahankan di hadapan sidang Panitia Ujian Skripsi FMIPA Unnes pada

tanggal 1 Agustus 2018.



Prof. Dr. Zaenuri, S.E., M.Si, Akt

NIP 19641223 198803 1 001

Sekretaris

Dr. Suharto Linuwih, M.Si

NIP 19680714 199603 1 005

Ketua Penguji

Sugiyanto, S.Pd., M.Si.

NIP. 19811110 200312 1 001

Anggota Penguji/

Pembimbing Utama

Prof. Dr. Supriyadi, M.Si.

NIP 19650518 199102 1 001

Anggota Penguji/

Pembimbing Pendamping

Dr. Suharto Linuwih M.Si.

NIP 19680714 199603 1 005

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

Motto:

Sebaik-baiknya orang adalah yang bermanfaat bagi orang lain.

Skripsi ini kupersembahkan kepada:

1. Bapak Karso dan Ibu Taisah, orang tua terbaik sepanjang masa.
2. Taruni, Son Haji, S.Pd., M. Wasir, S.Pd. terimakasih sudah menjadi kakak-kakak yang selalu memberi inspirasi dan motivasi.
3. Adik tercinta Wilda sofiyana yang selalu memberi keceriaan.

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kehadiran Allah Swt. atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga dengan usaha dan doa penulisan skripsi yang berjudul “Analisis Fisis Daerah Rawan Longsor dengan Metode Mikroseismik Di Kelurahan Pudukpayung Kecamatan Banyumanik” dapat terselesaikan. Namun, peneliti menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini tidak lepas dari keikutsertaan dan bantuan dari berbagai pihak, terutama peran dari pembimbing. Oleh sebab itu, peneliti mengucapkan terima kasih dengan penuh penghargaan dan rasa hormat kepada Prof. Dr. Supriyadi, M.Si., sebagai dosen pembimbing 1 dan Dr. Suharto Linuwih M.Si., sebagai dosen pembimbing 2 yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan semangat dengan penuh kesabaran dan ketelatenan kepada peneliti dalam penulisan skripsi ini.

Ucapan terima kasih juga peneliti sampaikan kepada seluruh pihak yang telah membantu usaha penyusunan skripsi ini antara lain:

1. Prof. Dr. Fathur Rohman, M.Hum., Rektor Universitas Negeri Semarang yang telah memberikan izin dalam penyusunan skripsi ini;
2. Prof. Dr. Zaenuri, S.E., M.Si., Akt., dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pegetahuan Alam Universitas Negeri Semarang;
3. Dr. Suharto Linuwih, M.Si., ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang;
4. Dr. Mahardika Prasetya Aji, M.Si., ketua Program Studi Fisika Universitas Negeri Semarang;

5. Dr. Sugianto, M.Si., selaku dosen wali yang selalu memberikan bimbingan dan masukan selama masa kuliah.
6. Dr. Ngurah Made Darma Putra, M.Si., kepala laboratorium fisika yang telah memberikan fasilitas dalam melakukan penelitian.
7. Pengurus Hima Fisika angkatan 2014 dan keluarga Pemikad 2015.
8. Keluarga KSGF UNNES yang telah membantu dan memberi dukungan.
9. Tim yang turut serta dalam pengambilan data (Mas Ikhsan, Bang Ulil, Mas Teguh, Erna, Diza, Ana, Gudel, Fajar, Robidin, Anggra).
10. Teman-teman program studi Fisika 2014 yang telah berjuang bersama.
11. Keluarga kos Wisma Anita 3 yang selalu memberi semangat dan dukungan.
12. Sahabat tercinta di Tegal (Zelin, Riska).
13. Sahabat yang selalu mendukung dan memberi bantuan (Lana, Pungki, Anggra).
14. Nura yang sering menjadi tempat berkeluh kesah.
15. Nila Fitriya yang telah membantu dalam penulisan.
16. Gudel Astika, teman yang selalu memberikan do'a, dukungan, motivasi, dan keceriannya.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu kritik dan saran diharapkan untuk kesempurnaan penulisan selanjutnya. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis pada khususnya, lembaga, masyarakat dan pembaca pada umumnya.

Semarang, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

COVER.....	i
PERSETUJUAN PEMBIMBING.....	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN	ii
PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
ABSTRAK.....	xii
BAB 1	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	5
1.3. Batasan Masalah	6
1.4. Tujuan Penelitian	6
1.5. Manfaat Penelitian	7
1.6. Sistematika Penulisan	7
BAB 2	9
2.1 Gelombang Seismik	9
2.2 Gelombang Badan.....	9
2.2.1 Gelombang Primer	10
2.2.2 Gelombang Sekunder	10
2.2.3 Gelombang Permukaan	11
2.2.3.1 Gelombang <i>Reyleigh</i>	11
2.2.3.2 Gelombang <i>Love</i>	12
2.3 Gempa Bumi	12
2.4 Tanah Longsor	14
2.5 Metode Mikroseismik	16
2.6 Analisis Metode Mikroseismik	16
2.6.1 <i>Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVS)</i>	16
2.6.2 Indeks Kerentanan Tanah (<i>Kg</i>)	21

2.6.3	Percepatan Tanah Maksimum (PGA)	24
2.6.4	Pergeseran Tanah atau <i>Ground Shear Strain (GSS)</i>	26
2.7	Geologi Regional	27
BAB III		29
3.1	Diagram Alir Penelitian	29
3.2	Lokasi dan Waktu Penelitian	30
3.2.1	Lokasi Penelitian.....	30
3.2.2	Waktu Penelitian.....	30
3.3	Perlengkapan Penelitian.....	31
3.4	Akuisisi Data.....	32
3.5	Pengolahan Data dan Interpretasi Data.....	33
DAFTAR PUSTAKA		51
LAMPIRAN- LAMPIRAN		55

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tabel klasifikasi tanah berdasarkan nilai frekuensi natural mikroseismik oleh Kanai yang dikutip dari Arifin et al. (2012)	19
Tabel 2.2 Klasifikasi lapisan berdasarkan nilai indeks kerentanan tanah (Sunardi et al., 2012)	22
Tabel 2.3 Ukuran tingkat strain dan dinamika tanah (Nakamura, 1989)	24

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Peta Rawan Zona Rawan Longsor Kota Semarang Tahun 2016	5
Gambar 2.1 Ilustrasi Gerak Gelombang P (Elnashai dan Sarno, 2008).....	10
Gambar 2.2 Ilustrasi Gerak Gelombang S (Ettwein dan Maslin, 2011).	11
Gambar 2.3 Ilustrasi Gerak Gelombang Rayleigh (Elnashai dan Sarno, 2008)....	12
Gambar 2.4 Ilustrasi Gerak Gelombang Love (Ettwein and Maslin, 2011).	12
Gambar 2.5 Model cekungan yang berisi material sedimen halus (Slob, 2007)...	17
Gambar 2.6 Peta geologi daerah penelitian (Sumber : Peta geologi kota Semarang lembar Magelang-Semarang).....	28
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	29
Gambar 3.2 Desain survey daerah penelitian.....	30
Gambar 4.1 Peta nilai frekuensi natural di daerah Pudukpayung	36
Gambar 4.2 Peta nilai amplifikasi di daerah Pudukpayung	38
Gambar 4.3 Peta nilai ketebalan lapisan sedimen di daerah Pudukpayung	40
Gambar 4.4 Peta nilai kerentanan gempa di daerah Pudukpayung	42
Gambar 4.5 Peta nilai percepatan tanah maksimum berdasarkan sumber gempa Yogyakarta di daerah Pudukpayung	45
Gambar 4.6 Peta nilai pergeseran tanah atau Ground Shear Strain (GSS) di daerah Pudukpayung.....	47

ABSTRAK

Nurhikmah, Siti. 2018. *Analisis Fisis Daerah Rawan Longsor dengan Metode Mikroseismik Di Kelurahan Pudakpayung Kecamatan Banyumanik Kota Semarang*. Skripsi, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang. Dosen Pembimbing: Prof. Dr. Supriyadi, M.Si., Dr. Suharto Linuwih, M.Si.

Kata Kunci: Tanah Longsor, Mikroseismik, HVSR, Kerentanan Gempa, PGA, GSS

Kecamatan Banyumanik berdasarkan peta zona rawan longsor Kota Semarang Tahun 2016 termasuk daerah berpotensi terjadinya bencana tanah longsor terutama di Kelurahan Pudakpayung. Kajian riset mengenai struktur bawah permukaan belum diketahui. Sehingga perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui struktur bawah permukaan. Untuk mengetahui struktur bawah permukaan dapat dilakukan dengan analisis mikroseismik dengan metode *Horizontal to Vertical Spektrum Ratio* (HVSR). Pada pengolahan data menggunakan software *Geopsy* untuk menentukan nilai frekuensi natural dan amplifikasi. Sehingga dari nilai frekuensi natural dan amplifikasi dapat digunakan untuk menentukan struktur bawah permukaan, kerentanan gempa, percepatan tanah maksimum, dan pergeseran tanah di daerah Pudakpayung. Selain data frekuensi natural dan amplifikasi, digunakan data tambahan yaitu data gempabumi Yogyakarta tahun 2005 yang diambil dari *USGS*. Hasil pengukuran di daerah penelitian yaitu dengan nilai ketebalan lapisan sedimen rata-rata 32,69 m, kerentanan gempa dengan nilai rata-rata 5,73, percepatan tanah maksimum dengan nilai rata-rata 36,23 gal, dan pergeseran tanah dengan nilai rata-rata $1,37 \times 10^{-2}$. Berdasarkan ukuran *tingkat strain* dan dinamika tanah oleh Nakamura nilai pergeseran tanah di atas 10^{-3} berpotensi terjadi longsor, kompaksi tanah, serta likuifaksi. Secara umum struktur bawah permukaan daerah kelurahan Pudakpayung terdiri dari batuan alluvial yang terbentuk atas sedimentasi delta, top soil, lumpur, tanah lunak, humus, endapan lumpur.

Abstract

Nurhikmah, Siti. 2018. *Physical Analysis of Landslide-prone areas with microseismic methods in PudukPayung village, Banyumanik districts, Semarang city*. Skripsi, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang. Dosen Pembimbing: Prof. Dr. Supriyadi, M.Si., Dr. Suharto Linuwih, M.Si.

Banyumanik sub-district based on landslide-prone zone map of Semarang City in 2016 is including the potential areas of landslide disaster, especially in urban village of PudukPayung. The research studies on subsurface structures are not yet known. Therefore, it is necessary to have a research to comprehend the subsurface structure. To comprehend the subsurface structure can be done by using the microseismic analysis with *Horizontal to Vertical Spektrum Ratio (HVSr)* method. On the processing data of Geopsy and Surfer software to determine the value of natural frequency and amplification. So that from the natural frequency and amplification can be used to determine the subsurface structure, earthquake vulnerability, maximum land acceleration, and land shift in the area PudukPayung. Beside of natural frequency data and amplification, there will be used the additional data which is the earthquake data in Yogyakarta in 2005 taken from USG. The result of measurement showed in the experimental areas shows that the thickness value of sedimental layers 10,2-66,6 m, earthquake vulnerability value of 1-31, peak ground acceleration with 23,2-59,4 gal, and ground shear strain $4,86 \times 10^{-1}$ until $46,61 \times 10^{-1}$. Based on the values that are obtained, PudukPayung areas are included as the areas which are potentially prone to have landslide. Generally, the subsurface structure of PudukPayung has, it contains of delta sedimentation, top soil, mud, soft soil, humus, and silt.

Keywords: Landslide, Microseismic, HVSr, earthquake Vulnerability, PGA, GSS.

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Bencana merupakan suatu peristiwa yang mengancam dan mengganggu kehidupan dan penghidupan masyarakat yang disebabkan baik faktor alam dan/atau faktor non alam maupun faktor manusia sehingga mengakibatkan timbulnya korban jiwa manusia, kerusakan lingkungan, kerugian harta benda, dan dampak psikologis. Bencana tidak terjadi begitu saja, namun ada faktor kesalahan dan kelalaian manusia dalam mengantisipasi alam dan kemungkinan bencana yang dapat menyimpannya (Ramli, 2010).

Tanah longsor merupakan suatu peristiwa geologi di mana terjadi pergerakan permukaan tanah seperti jatuhnya bebatuan atau gumpalan besar tanah (Crozier, 1999). Peristiwa tanah longsor atau yang dikenal sebagai gerakan masa tanah, bebatuan, atau kombinasinya, sering terjadi pada lereng-lereng alam maupun buatan, dan sebenarnya merupakan suatu fenomena alam. Terjadinya longsor merupakan suatu kondisi dimana alam mencari keseimbangan baru akibat adanya gangguan atau faktor-faktor yang mempengaruhinya dan menyebabkan terjadinya pengurangan gaya geser serta peningkatan tegangan geser (Widjonarko & Wijaya, 2014). Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) mencatat ada sekitar 257 kejadian bencana tanah longsor terjadi di seluruh wilayah Indonesia yang terjadi di

sepanjang tahun 2013. Masyarakat yang tinggal di lereng gunung curam, menghadapi risiko kemungkinan terjadinya tanah longsor (Ramli, 2010).

Tanah longsor biasanya bergerak pada suatu bidang tertentu yang disebut dengan bidang gelincir (Priyantari & Wahyono, 2005). Bidang gelincir berada di antara bidang yang stabil (*bedrock*) dan bidang yang bergerak (bidang yang tergelincir). Bidang gelincir secara umum berada di bawah permukaan bumi. Bidang gelincir dapat diketahui dengan cara menganalisa karakteristik lapisan tanah. Oleh karena itu dilakukan analisis fisis menggunakan metode geofisika untuk mengetahui karakteristik lapisan tanah. Pengukuran menggunakan mikroseismik adalah salah satu cara untuk mengetahui struktur permukaan lapisan tanah.

Mikroseismik merupakan gelombang yang merambat pada lapisan sedimen permukaan dan merupakan getaran alami yang disebabkan oleh aktivitas seperti manusia, lalu lintas kendaraan, mesin pabrik, dan sebagainya (Purwatiningsy, 2008). Metode mikroseismik pada dasarnya merekam getaran tanah alami yang merefleksikan kondisi geologi suatu daerah (Pancawati dkk., 2016). Analisis dengan menggunakan mikroseismik diharapkan dapat menjelaskan secara nyata kondisi geologi bawah permukaan suatu wilayah rawan longsor.

Analisis mikroseismik dapat dilakukan dengan menggunakan metode HVSR (*Horizontal to Vertical Ratio*). Metode ini merupakan salah satu cara untuk memahami sifat struktur bawah permukaan tanpa menyebabkan gangguan pada struktur tersebut. Metode HVSR merupakan metode yang digunakan sebagai indikator struktur bawah permukaan yang memperlihatkan hubungan antara perbandingan rasio spektrum fourier dari sinyal mikroseismik komponen horizontal

terhadap komponen vertikalnya (Nakamura, 2008). Metode mikroseismik HVSR dapat digunakan untuk menganalisis getaran yang dinamakan *site effect*. Masing-masing daerah akan menghasilkan nilai HVSR yang berbeda-beda tergantung dari geologi lokalnya. Nilai yang didapatkan dari HVSR yaitu nilai frekuensi natural dan amplifikasi. Nilai frekuensi natural dan amplifikasi dimanfaatkan untuk menentukan nilai indeks kerentanan tanah, percepatan tanah maksimum, dan *ground shear strain*. Indeks kerentanan tanah, percepatan tanah maksimum, dan *ground shear strain* dapat diketahui dengan metode mikroseismik (Nakamura, 1989).

Hasil pengukuran mikroseismik yang didapat digunakan untuk memperkirakan karakteristik tanah sehingga dapat digunakan untuk melihat pengaruhnya terhadap kondisi lapisan tanah dan kondisi geologi setempat. Karakteristik lapisan tanah sangat berpengaruh terhadap indeks kerentanan dan percepatan tanah di suatu wilayah tertentu.

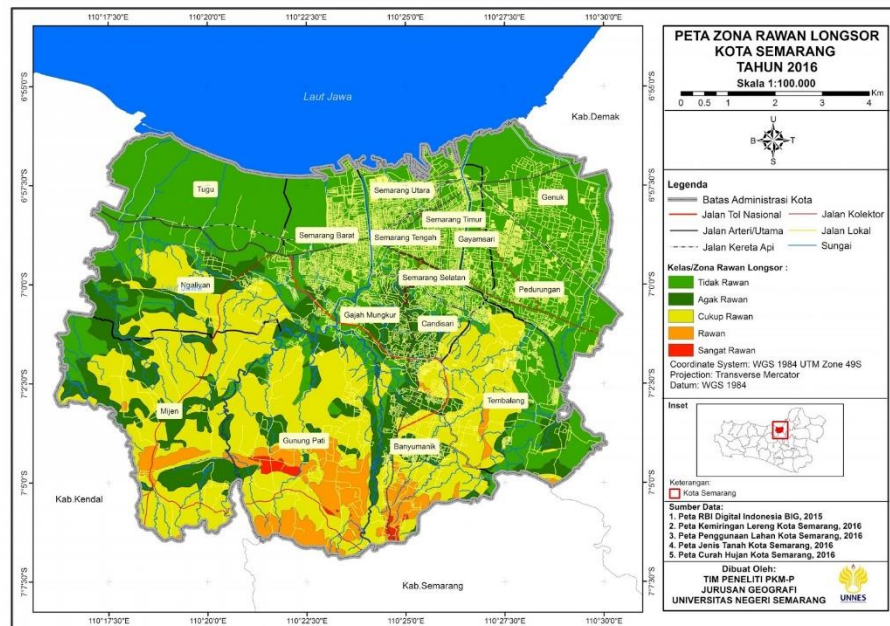
Menurut Nakamura (2008) indeks kerentanan tanah merupakan nilai yang menggambarkan tingkat kerentanan lapisan tanah permukaan terhadap deformasi saat terjadi gempa. Deformasi lapisan tanah dipengaruhi oleh ketebalan lapisan sedimen, dimana ketebalan lapisan sedimen menggambarkan ketebalan lapisan lapuk pada lapisan permukaan tanah di atas batuan dasar. Ketebalan lapisan sedimen juga merepresentasikan kedalaman dari batuan dasar. Menurut Kanai dan Tanaka (1961) percepatan tanah maksimum merupakan nilai percepatan gerakan tanah terbesar yang pernah terjadi di suatu tempat yang diakibatkan oleh gelombang gempa bumi. Percepatan tanah maksimum dihitung dengan menggunakan rumus

empiris Kanai sehingga dapat diketahui pola pergerakan tanah dan juga dijadikan acuan potensi bahaya di daerah penelitian (Febriani dkk., 2013). Dengan mengetahui nilai percepatan tanah maksimum dan indeks kerentanan tanah dapat digunakan untuk menganalisis nilai *ground shear strain*.

Nilai *ground shear strain* merupakan kemampuan lapisan tanah untuk saling meregang atau menggeser saat terjadi gempa bumi (Nakamura, 2000). Dengan adanya informasi mengenai nilai *ground shear strain* yang didapat melalui metode mikroseismik di daerah penelitian tersebut, diharapkan masyarakat dapat memanfaatkan untuk mitigasi bencana dalam wilayah penelitian.

Daerah kelurahan Pudukpayung belum pernah dilakukan penelitian tentang analisis fisis daerah rawan longsor. Analisis fisis daerah rawan longsor sangat penting untuk memberikan gambaran umum mengenai zona rawan longsor dan deformasi tanah. Berdasarkan uraian tersebut, studi dan analisis fisis daerah rawan longsor perlu dilakukan untuk menganalisis risiko longsor berdasarkan nilai kerentanan tanah, percepatan tanah maksimum atau *Peak Ground Acceleration (PGA)*, dan pergeseran tanah atau *Ground Shear Strain (GSS)* dengan metode Mikroseismik sehingga dapat dijadikan informasi untuk mitigasi bencana di Kelurahan Pudukpayung Kecamatan Banyumanik Kota Semarang.

Berdasarkan Gambar 1.1 Kecamatan Banyumanik berpotensi terjadinya bencana tanah longsor dengan warna kuning pada Peta Zona Rawan Longsor Kota Semarang Tahun 2016.



Gambar 1.1 Peta Rawan Zona Rawan Longsor Kota Semarang Tahun 2016 (Geografi, Universitas Negeri Semarang)

Berdasarkan informasi tersebut, maka perlu diketahui struktur bawah permukaan untuk menganalisis daerah rawan longsor di Kelurahan Pudukpayung Kecamatan Banyumanik Kota Semarang menggunakan analisis mikroseismik yang dapat digunakan sebagai upaya mitigasi bencana alam terutama tanah longsor.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut.

1. Berapakah nilai kerentanan tanah (K_g) di daerah kelurahan Pudukpayung Kecamatan Banyumanik Kota Semarang?
2. Berapakah nilai percepatan tanah maksimum (PGA) di daerah kelurahan Pudukpayung Kecamatan Banyumanik Kota Semarang?

3. Berapakah nilai pergeseran tanah (*GSS*) di daerah kelurahan Pudukpayung Kecamatan Banyumanik Kota Semarang?
4. Bagaimana zona rawan longsor daerah kelurahan Pudukpayung Kecamatan Banyumanik Kota Semarang?

1.3. Batasan Masalah

Pada penelitian ini terdapat beberapa masalah yang perlu diperhatikan, diantaranya sebagai berikut :

1. Data primer yang digunakan merupakan data mikroseismik di daerah Pudukpayung kecamatan Banyumaik.
2. Penentuan nilai amplifikasi dan frekuensi dominan pada daerah penelitian menggunakan metode mikroseismik.
3. Penentuan nilai kerentanan tanah, percepatan tanah, dan pergeseran tanah (*shear strain*) menggunakan parameter amplifikasi dan frekuensi dominan.
4. Peta yang digunakan untuk analisis fisis daerah rawan longsor yaitu peta persebaran *shear strain* dan peta topografi.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengidentifikasi persebaran nilai kerentanan tanah di daerah Pudukpayung.
2. Mengidentifikasi persebaran percepatan maksimum di daerah Pudukpayung.
3. Mengidentifikasi persebaran nilai pergeseran tanah di daerah Pudukpayung.

4. Mengidentifikasi daerah rawan longsor berdasarkan kerentanan gempa, percepatan tanah, dan pergeseran tanah.

1.5. Manfaat Penelitian

1. Sebagai informasi zona rawan longsor di daerah Pudukpayung kecamatan Banyumanik kota Semarang.
2. Data hasil penelitian dapat digunakan sebagai acuan dalam pengembangan kawasan dan dalam pembuatan peta rawan longsor.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penyusunan skripsi ini terdiri dari tiga bagian, yaitu bagian awal, bagian isi dan bagian akhir. Adapun bagian-bagiannya sebagai berikut.

1. Bagian Awal

Bagian awal berisi tentang halaman judul, pernyataan, pengesahan, persembahan, motto, prakata, abstrak, daftar isi, daftar tabel, daftar gambar, dan daftar lampiran.

2. Bagian Isi

Bab isi terdiri dari 5 bab, yaitu:

a. Bab 1 Pendahuluan

Terdiri atas penjelasan tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, dan sistematika penulisan.

b. Bab 2 Tinjauan Pustaka

Berisi tentang teori-teori dasar mengenai gelombang seismik, metode mikroseismik, metode HVSR, kerentanan tanah, percepatan tanah maksimum, pergeseran tanah, dan geologi regional.

c. Bab 3 Metode Penelitian

Berisi tentang diagram alir penelitian, waktu dan lokasi penelitian, perlengkapan penelitian, penjelasan akuisisi data lapangan, dan penjelasan pengolahan data serta interpretasi data.

d. Bab 4 Hasil dan Pembahasan

Berisi hasil analisis dan pembahasannya yang disajikan dalam rangka menjawab permasalahan dalam penelitian.

e. Bab 5 Penutup

Berisi kesimpulan dan saran.

3. Bagian Akhir

Bagian akhir berisi daftar pustaka dan lampiran.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gelombang Seismik

Gelombang seismik merupakan gelombang elastis yang merambat ke seluruh bagian dalam bumi melalui permukaan bumi akibat adanya pelepasan energi dari sumber gempa yang dipancarkan ke segala arah (Abdillah, 2010). Gelombang seismik juga merupakan gelombang elastis, karena medium yang dilalui yaitu bumi yang bersifat elastis. Oleh karena itu perambatan gelombang seismik bergantung pada sifat elastisitas batuan yang dilewatinya. Gelombang seismik dapat dimunculkan dengan dua metode, yaitu metode aktif dan metode pasif. Metode aktif adalah metode pemunculan gelombang seismik dengan disengaja menggunakan gangguan yang dibuat oleh manusia. Sedangkan metode pasif adalah gangguan yang muncul terjadi secara alamiah (Telford *et al.*,1976).

Teori untuk menjelaskan kronologis mekanisme maupun sifat fisis gelombang didasarkan pada teori deformasi dan elastisitas media yang dilalui gelombang seismik (Susilawati, 2008).

2.2 Gelombang Badan

Gelombang badan merupakan gelombang yang menjalar dalam media elastik dan arah perambatannya ke seluruh bagian di dalam bumi. Berdasarkan gerak partikel pada media dan arah penjarannya gelombang dapat dibedakan menjadi gelombang primer (P) dan gelombang sekunder (S).

2.2.1 Gelombang Primer

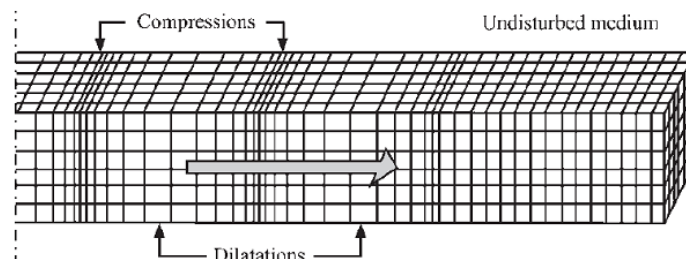
Gelombang primer merupakan gelombang kompresi gelombang longitudinal. Gelombang ini memiliki kecepatan rambat paling besar dibandingkan dengan gelombang seismik yang lain, dapat merambat melalui medium padat, cair, dan gas. Gambar 2.1 menunjukkan ilustrasi gerak gelombang P. Persamaan dari kecepatan gelombang primer sebagai berikut :

$$V_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} \quad (1)$$

Keterangan : λ = konstanta lame (m/s)

μ = rigiditas (N/m²)

ρ = densitas (kg/m³)



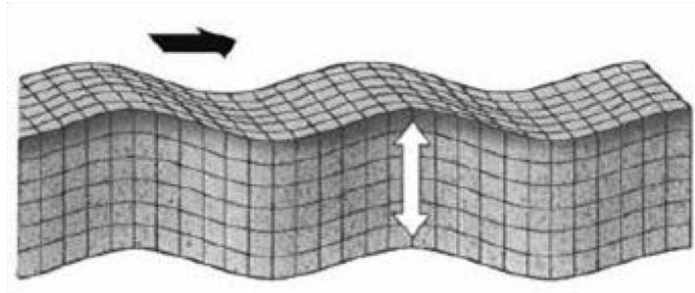
Gambar 2.1 Ilustrasi Gerak Gelombang P (Elnashai dan Sarno, 2008).

2.2.2 Gelombang Sekunder

Gelombang S disebut juga gelombang *shear* atau gelombang transversal yang ilustrasi geraknya ditunjukkan pada Gambar 2.2. Gelombang sekunder merupakan gelombang *shear*/gelombang transversal. Gelombang ini memiliki cepat rambat yang lebih lambat bila dibandingkan dengan gelombang primer dan hanya dapat

merambat pada medium padat saja. Persamaan dari kecepatan gelombang sekunder sebagai berikut :

$$V_s = \sqrt{\mu / \rho} \quad (2)$$



Gambar 2.2 Ilustrasi Gerak Gelombang S (Ettwein dan Maslin, 2011).

2.2.3 Gelombang Permukaan

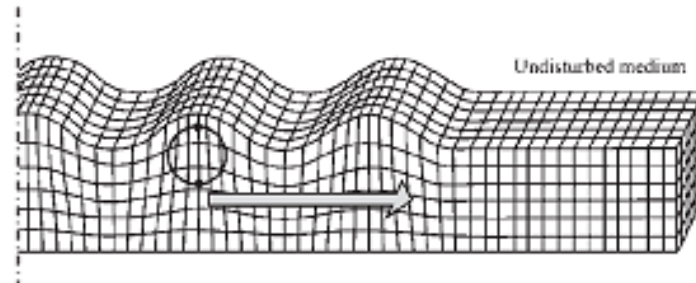
Gelombang permukaan merupakan salah satu gelombang seismik selain gelombang badan. Gelombang ini ada pada batas permukaan medium. Berdasarkan pada sifat gerakan partikel media elastis, gelombang permukaan merupakan gelombang yang kompleks dengan frekuensi yang rendah dan amplitudo yang besar, yang menjalar akibat adanya efek *free surface* di mana terdapat perbedaan sifat elastis (Susilawati, 2008).

2.2.3.1 Gelombang *Reyleigh*

Gelombang *Reyleigh* merupakan gelombang permukaan yang orbit gerakannya tegak lurus dengan permukaan dan arah penjarannya. Ilustrasi gelombang ini ditunjukkan pada Gambar 2.3. Gelombang ini adalah gelombang permukaan yang terjadi akibat adanya interferensi antar gelombang tekan dengan gelombang geser secara konstruktif.

Persamaan dari kecepatan gelombang *Reyleigh* sebagai berikut :

$$V_R = 0,92 \sqrt{V_S} \quad (3)$$

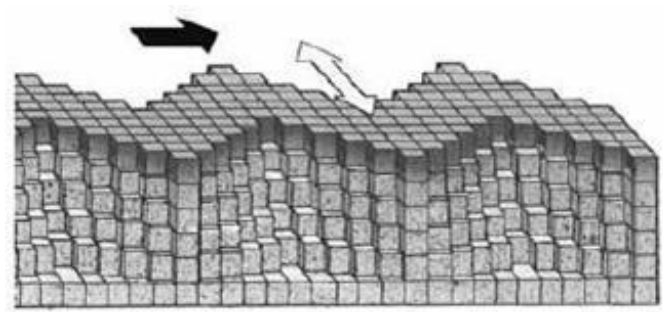


Gambar 2.3 Ilustrasi Gerak Gelombang Rayleigh (Elnashai dan Sarno, 2008).

2.2.3.2 Gelombang *Love*

Gelombang *love* merupakan gelombang permukaan yang menjalar dalam bentuk gelombang transversal yang merupakan gelombang sekunder horizontal yang penjarannya paralel dengan permukaannya (Gadallah dan Fisher, 2009).

Gambar 2.4 menunjukkan ilustrasi penjaran gelombang *Love*.



Gambar 2.4 Ilustrasi Gerak Gelombang *Love* (Ettwein and Maslin, 2011).

2.3 Gempa Bumi

Gempa bumi merupakan hentakan besar yang terjadi sekaligus akibat penimbunan energi elastik atau strain dalam waktu yang lama secara kontinyu akibat dari adanya poses pergerakan lempeng benua dan samudra (Nandi, 2006). Mekanisme perusakan terjadi karena energi getaran gempa dirambatkan ke seluruh bagian bumi. Di permukaan bumi, getaran tersebut dapat menyebabkan kerusakan

dan runtuhnya bangunan sehingga dapat menimbulkan korban jiwa. Getaran gempa juga memicu terjadinya tanah longsor, runtuhannya bebatuan, dan kerusakan tanah lainnya yang merusak pemukiman penduduk.

Menurut para ahli, sebab-sebab terjadinya gempa bumi salah satunya adalah akibat dari aktivitas tektonik. Bumi diselubungi oleh beberapa lempeng kaku keras (lapisan litosfer) yang berada di atas lapisan yang lebih lunak. Lempeng-lempeng tersebut terus bergerak dengan laju tertentu pertahun. Pergerakan lempeng-lempeng tektonik ini menyebabkan terjadinya penimbunan energi secara perlahan. Gempa bumi tektonik kemudian terjadi karena adanya pelepasan energi yang telah lama tertimbun tersebut. Daerah yang paling rawan gempa bumi umumnya berada pada pertemuan lempeng-lempeng tersebut.

Beberapa parameter dasar gempa bumi yang mempengaruhi terjadinya gempa bumi adalah :

- a. Hiposenter, yaitu tempat terjadinya gempa bumi atau pergeseran tanah di dalam bumi.
- b. Episenter, yaitu titik yang diproyeksikan tepat berada di atas hiposenter pada permukaan bumi.
- c. Batuan dasar, yaitu tanah keras tempat mulai bekerjanya gaya gempa.
- d. Percepatan tanah, yaitu percepatan pada permukaan bumi akibat gempa bumi.
- e. Faktor amplifikasi, yaitu faktor pembesaran percepatan gempa bumi yang terjadi pada permukaan tanah akibat jenis tanah tertentu.
- f. Skala gempa, yaitu ukuran kekuatan gempa yang dapat diukur secara kuantitatif dan kualitatif. Pengukuran kekuatan gempa bumi secara kuantitatif dilakukan

dengan skala Richter yang umumnya dikenal sebagai pengukuran magnitudo gempa bumi. Magnitudo gempa bumi adalah ukuran mutlak yang dikeluarkan oleh pusat gempa bumi. Pendapat ini pertama kali dikemukakan oleh Richter dengan besar anatar 0 sampai 9. Selama ini gempa terbesar tercatat sebesar 8,9 skala Richter terjadi di Columbia tahun 1906. Pengukuran kekuatan gempa secara kualitatif yaitu dengan melihat besarnya kerusakan yang diakibatkan oleh gempa bumi. Ukuran tersebut disebut sebagai intensitas gempa bumi.

2.4 Tanah Longsor

Longsor merupakan salah satu proses alami pembentukan muka bumi untuk mencapai kestabilan lereng dan akan menjadi bahaya apabila merugikan manusia. Menurut Soemantri (2008) tanah longsor terjadi karena adanya gerakan tanah sebagai akibat dari Bergeraknya masa tanah atau batuan yang bergerak di sepanjang lereng atau diluar lereng karena faktor gravitasi.

Tanah longsor terjadi apabila gaya pendorong pada lereng lebih besar daripada gaya penahan (Nandi, 2007). Gaya penahan dipengaruhi oleh kekuatan batuan dan kepadatan tanah. Sedangkan gaya pendorong dipengaruhi oleh besarnya sudut lereng, air, beban serta berat jenis tanah batuan.

Munir (2003) menyatakan faktor penyebab tanah longsor yaitu akibat meluncurnya suatu tanah di atas suatu lapisan kedap air yang jenuh air. Lapisan tersebut mengandung kadar liat (klei) atau batuan tinggi/tebal dan setelah jenuh air akan berfungsi sebagai peluncur. Batuan yang tidak tembus air dapat menciptakan bidang luncur terhadap tanah. Air yang masuk ke dalam tanah tidak dapat menembus lapisan batuan (kedap air) dan akan mengalir/menyebar secara lateral,

sehingga ketika terjadi hujan airnya akan menjenuhi permukaan gelincir dan jika gelincir tidak kuat menahannya akibatnya terjadilah longsoran tanah di atas lapisan liat atau batuan tersebut (Hardiyatmo, 2006).

2.3.1 Faktor Penyebab Tanah Longsor

Tanah longsor merupakan tanah longsor terjadi karena adanya gerakan tanah sebagai akibat dari bergeraknya masa tanah atau batuan yang bergerak di sepanjang lereng atau diluar lereng karena faktor gravitasi (Soemantri, 2008). Hal ini akibat hilangnya keseimbangan awal, sehingga untuk mencapai keseimbangan yang baru maka terjadi longsoran. Faktor-faktoryang dapat menyebabkan terjadinya longsor, yaitu:

- a. Peningkatan kandungan air dalam tanah, sehingga meregangkan ikatan antar butir tanah dan akhirnya mendorong butir-butir tanah untuk longsor. Peningkatan kandungan air ini sering disebabkan oleh meresapnya air hujan, air kolam atau selokan yang bocor atau air sawah kedalam lereng.
- b. Getaran pada lereng akibat gempa bumi ataupun ledakan, penggalian, getaran alat berat atau kendaraan.
- c. Peningkatan beban yang melampaui daya dukung tanah atau kuat geser tanah. Beban yang berlebihan ini dapat berupa beban bangunan.
- d. Pemotongan kaki lereng secara sembarangan yang mengakibatkan lereng kehilangan gaya penyangga.

Faktor pendukung lainnya penyebab terjadinya tanah longsor yaitu jenis tanah, kemiringan lereng, ketebalan lapisan sedimen, kedalaman *bedrock*, getaran yang diakibatkan gempabumi, kondisi geologi daerah.

2.5 Metode Mikroseismik

Mikroseismik merupakan metode geofisika yang dapat menggambarkan tingkat kerentanan lapisan tanah permukaan terhadap deformasi saat terjadi gempa bumi (Nakamura, 2008). Kerentanan lapisan tanah bermanfaat untuk memprediksi zona lemah saat terjadi gempa bumi (Saita *et al.*, 2004; Gurler *et al.*, 2000), dan rekahan tanah akibat gempa bumi (Daryono, 2011). Kerawanan gempa dan potensi longsor dapat diketahui berdasarkan frekuensi natural dan amplifikasi batuan sehingga dapat ditentukan nilai kerawanan gempa, percepatan tanah maksimum dan ketebalan lapisan lapuk. Nilai frekuensi natural dan amplifikasi batuan dapat ditentukan dengan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr).

2.6 Analisis Metode Mikroseismik

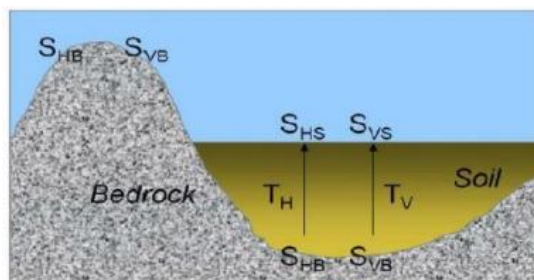
2.6.1 *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr)

Metode analisis HVSr pertama kali dikembangkan oleh Nakamura pada tahun 1989. HVSr adalah metode yang didasarkan pada asumsi bahwa rasio spektrum horizontal dan vertikal dari getaran permukaan merupakan fungsi perpindahan. Hal itu juga menunjukkan bahwa karakteristik dinamis lapisan permukaan secara kasar bisa dipahami pada titik yang diobservasi jika pengamatan bentuk gelombang *seismic microtremor* dilakukan pada tiga komponen, yaitu dua komponen horizontal dan satu komponen vertikal (Nakamura, 1989).

Energi mikrotremor sebagian besar bersumber dari gelombang Rayleigh, dan *site effect amplification* terjadi akibat keberadaan lapisan tanah lunak yang menempati setengah cekungan dari batuan dasar. Pada kondisi ini ada empat

komponen gerakan tanah yang terlibat, yaitu komponen gerak horizontal dan vertikal di batuan dasar dan komponen gerak horizontal dan vertikal di permukaan (Lermo *et al.*, 1993).

Faktor amplifikasi gerakan horizontal dan vertikal pada permukaan tanah sedimen berdasarkan pada gerakan seismik di permukaan tanah yang bersentuhan langsung dengan batuan dasar di area cekungan yang dilambangkan dengan T_H dan T_V (Nakamura, 2000). Asumsi yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 2.5 di bawah ini:



Gambar 2.5 Model cekungan yang berisi material sedimen halus (Slob, 2007)

Besarnya faktor amplifikasi horizontal T_H adalah:

$$T_H = \frac{S_{HS}}{S_{HB}} \quad (4)$$

Dengan T_H merupakan faktor amplifikasi horizontal, S_{HS} adalah spektrum dari komponen gerak horizontal di permukaan tanah dan S_{HB} adalah spektrum dari komponen gerak horizontal pada dasar lapisan tanah.

Besarnya faktor amplifikasi vertikal T_V adalah:

$$T_V = \frac{S_{VS}}{S_{VB}} \quad (5)$$

Dengan T_V merupakan faktor amplifikasi vertikal, S_{VS} adalah spektrum dari komponen gerak vertikal di permukaan tanah dan S_{VB} adalah spektrum dari komponen gerak vertikal pada dasar lapisan tanah.

Data mikrotremor tersusun atas beberapa jenis gelombang, tetapi yang utama adalah gelombang Rayleigh yang merambat pada lapisan sedimen di atas batuan dasar. Pengaruh dari gelombang Rayleigh pada rekaman mikrotremor besarnya sama untuk komponen vertikal dan horizontal saat rentang frekuensi (0,2 - 20,0) Hz. Karena hasil pengamatan Nakamura yang menunjukkan bahwa rekaman stasiun pada batuan keras dapat diasumsikan sebagai batuan dasar, maka nilai maksimum rasio spektrum komponen horizontal terhadap vertikal mendekati 1, sehingga:

$$\frac{S_{HB}}{S_{VB}} \approx 1 \quad (6)$$

Karena rasio spektrum antara komponen horizontal dan vertikal di batuan dasar mendekati nilai satu, maka gangguan yang terekam pada permukaan lapisan tanah akibat efek dari gelombang Rayleigh dapat dihilangkan, sehingga hanya ada pengaruh yang disebabkan oleh struktur geologi lokal atau *site effect* (T_{SITE}). T_{SITE} menunjukkan puncak amplifikasi pada frekuensi dasar dari suatu lokasi (Slob, 2007). Berdasarkan persamaan (4), (5), dan (6) didapatkan besarnya T_{SITE} sebagai:

$$T_{SITE} = \frac{T_H}{T_V} \quad (7)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (4) dan (5), maka:

$$T_{SITE} = \frac{\frac{S_{HS}}{S_{VS}}}{\frac{S_{HB}}{S_{VB}}} \quad (8)$$

$$T_{SITE} = \frac{S_{HS}}{S_{HB}} \times \frac{S_{VB}}{S_{VS}} \quad (9)$$

$$T_{SITE} = \frac{S_{HS}}{S_{VS}} \quad (10)$$

$$T_{SITE} = \text{HVSR} = \frac{S_{HS}}{S_{VS}} \quad (11)$$

Sehingga menjadi:

$$\text{HVSR} = T_{SITE} = \frac{\sqrt{[(S_{North-South})^2 + (S_{East-West})^2]}}{S_{VS}} \quad (12)$$

Persamaan (8) menjadi dasar perhitungan rasio spektrum mikrotremor komponen horizontal terhadap komponen vertikalnya atau *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR).

Hasil dari kurva HVSR adalah frekuensi natural dan amplifikasi, dimana frekuensi natural adalah frekuensi dominan yang terdapat pada daerah tersebut dan amplifikasi adalah besarnya penguatan gelombang pada saat melalui medium tertentu. Frekuensi natural dan amplifikasi dapat digunakan untuk menentukan nilai nilai ketentanan tanah dan percepatan tanah maksimum. Hasil dari nilai kerentanan tanah dan percepatan tanah maksimum digunakan untuk menentukan besarnya nilai ergeseran tanah. Nilai frekuensi natural dapat merepresentasikan jenis tanah berdasarkan tabel klasifikasi tanah yang ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Tabel klasifikasi tanah berdasarkan nilai frekuensi natural mikroseismik oleh Kanai yang dikutip dari Arifin et al. (2012)

Klasifikasi Tanah	Frekuensi Dominan (Hz)	Klasifikasi Kanai	Deskripsi
Jenis I	6.667-20	Batuan Tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan <i>Hard sandy, gravel</i> , dll.	Ketebalan sedimen permukaannya sangat tipis, didominasi oleh batuan keras.
Jenis II	4-6.667	Batuan Alluvial, dengan ketebalan 5 cm. Terdiri dari <i>sandy-gravel, sandy hard clay, loam</i> , dll.	Ketebalan sedimen permukaannya masuk dalam kategori menengah 5-10 meter.
Jenis III	2.5-4	Batuan Alluvial, dengan ketebalan >5 cm. Terdiri dari <i>sandy-gravel, sandy hard clay, loam</i> , dll.	Ketebalan sedimen permukaannya masuk dalam kategori menengah 10-20 meter
Jenis IV	<2.5	Batuan Alluvial, yang terbentuk dari sedimentasi delta, top soil, lumpur, dll. Dengan kedalaman 30 m atau lebih.	Ketebalan sedimen permukaan sangat tebal.

Frekuensi natural memiliki arti frekuensi dasar suatu tempat dalam menjalankan getaran atau gelombang, dalam hal ini getaran yang merambat pada geologi setempat (Jaya & Sungkono, 2013). Semakin rendah nilai frekuensi natural dan semakin tingginya nilai amplifikasi maka akan semakin besar nilai kerentanan tanahnya.

2.6.2 Indeks Kerentanan Tanah (Kg)

Amplifikasi tanah atau site amplification adalah respon lapisan batuan, dalam hal ini adalah lapisan permukaan terhadap gelombang gempabumi. Amplifikasi menggambarkan besarnya penguatan gelombang pada saat melalui medium tertentu. Penguatan gelombang pada saat melalui suatu medium berbanding lurus dengan perbandingan antara spektral horisontal terhadap spektral vertikal. Sedangkan indeks kerentanan tanah (Kg) menurut Nakamura (1998) dan Huang dan Tseng (2002) bahwa Indeks Kerentanan Tanah (Kg) mengidentifikasi tingkat kerentanan suatu lapisan tanah yang mengalami deformasi akibat gempa bumi dengan persamaan sebagai berikut:

$$Kg = \frac{A_0^2}{f_0} \quad (13)$$

Keterangan : Kg = Kerentanan gempa (s)

A_0 = Amplifikasi

f_0 = frekuensi natural (Hz)

Dengan A_0 dan f adalah amplitude (faktor amplifikasi) dan frekuensi HVSR.

Nilai Kg yang tinggi umumnya ditemukan pada tanah dengan litologi batuan sedimen yang lunak. Nilai yang tinggi ini menggambarkan bahwa daerah tersebut rentan terhadap gempa dan jika terjadi gempa dapat mengalami guncangan yang kuat. Sebaliknya, nilai Kg yang kecil umumnya ditemukan pada tanah dengan litologi batuan penyusun yang kokoh sehingga saat terjadi gempa tidak mengalami banyak guncangan (Shaleha dkk., 2016). Klasifikasi lapisan tanah berdasarkan nilai indeks kerentanan tanah dapat dilihat pada Tabel 2.3 berikut.

Tabel 2.2 Klasifikasi lapisan berdasarkan nilai indeks kerentanan tanah (Sunardi *et al.*, 2012)

No	Indeks Kerentanan Tanah	Lapisan
1	0,1 – 3	Material batuan breksiandesit atau andesit di permukaan.
2	3,3 – 4,8	Material sedimen tipis seperti top soil atau lempung.

Nilai indeks kerentanan tanah dipengaruhi oleh nilai regang-geser permukaan tanah (γ) yang disebabkan karena adanya deformasi lapisan permukaan (δ) dan percepatan gelombang seismik pada batuan dasar (a) yang mengalami penguatan apabila merambat pada medium yang densitasnya lebih rendah, sehingga nilai indeks kerentanan tanah dapat ditulis dengan persamaan di bawah ini:

$$Kg = \frac{\gamma}{c.a} \quad (14)$$

dengan,

$$\gamma = A \frac{\delta}{h} \quad (15)$$

$$C = \frac{1}{\pi^2 V_b} \quad (16)$$

$$\delta = \frac{a}{(2\pi f)^2} \quad (17)$$

Keterangan : γ = pergeseran tanah

C = konstanta

a = percepatan gelombang seismik (m/s^2)

δ = deformasi lapisan tanah (m)

h = ketebalan lapisan sedimen (m)

V_b = kecepatan gelombang seismik (m/s)

dimana γ adalah nilai regang-geser permukaan tanah, C adalah nilai yang dianggap konstan dalam berbagai lapisan, a adalah percepatan gelombang seismik, A adalah amplifikasi, δ adalah deformasi lapisan tanah permukaan, h adalah ketebalan lapisan lapuk, V_b adalah kecepatan gelombang seismik dibatuan dasar, dan f_0 adalah frekuensi natural, sehingga persamaan (14) menjadi:

$$Kg = \frac{A \delta}{C \cdot a} \quad (18)$$

$$Kg = A \frac{\delta}{h} \frac{\pi^2 V_b}{a} \quad (19)$$

$$Kg = A \frac{\frac{a}{(2\pi f)^2} \pi^2 V_b}{\frac{C_b}{4Af}} \quad (20)$$

$$Kg = A \frac{a}{4\pi^2 f_0^2} \frac{4Af_0}{V_b} \frac{\pi^2 V_b}{a} \quad (21)$$

$$Kg = \frac{A^2}{f_0} \quad (22)$$

Berdasarkan persamaan di atas terdapat hubungan antara nilai kerentanan tanah dengan nilai regang-geser permukaan tanah yaitu semakin besar nilai kerentanan tanah (Kg) maka nilai regang-geser permukaan tanah (γ) akan semakin tinggi. Dapat dilihat pada Tabel 2.3 di bawah ini yang menunjukkan ukuran tingkat *strain* dan dinamika tanah suatu lapisan.

Tabel 2.3 Ukuran tingkat strain dan dinamika tanah (Nakamura, 1989)

Besar nilai regang γ	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}
Fenomena	Gelombang, Getaran		Retakan pada lapisan tanah dan permukaan		Longsor, Pemadatan tanah, Likuifaksi	
Sifat dinamis	Elastisitas		Plastisitas – Elastis		Jatuh	
			Efek Perulangan, Efek kecepatan dari pembebanan			

2.6.3 Percepatan Tanah Maksimum (PGA)

Percepatan getaran tanah maksimum atau *Peak Ground Acceleration (PGA)* adalah nilai percepatan getaran tanah terbesar yang pernah terjadi di suatu tempat yang diakibatkan oleh gelombang gempa bumi. Nilai percepatan tanah maksimum dihitung berdasarkan magnitudo dan jarak sumber gempa yang pernah terjadi terhadap titik perhitungan, serta nilai periode dominan tanah daerah tersebut (Edwiza & Novita, 2008).

Percepatan tanah permukaan di suatu tempat yang disebabkan oleh getaran seismik bergantung pada perambatan gelombang seismik dan karakteristik lapisan tanah (*alluvial deposit*) di tempat tersebut (Kanai, 1983). Sifat-sifat lapisan tanah mempengaruhi periode dominan tanah dari lapisan tanah tersebut bila ada getaran seismik. Periode dominan tanah akan mempengaruhi besarnya percepatan batuan pada lapisan batuan dasar (*base rock*) dan pada permukaan (*ground surface*). Berdasarkan besarnya nilai periode dominan (T_0), dapat diketahui perbedaan karakteristik tanah dan geologi di daerah penelitian. Perbedaan

respon seismik pada batuan dasar dengan respon seismik pada permukaan tanah akan menentukan faktor perbesaran $G(T)$.

Kanai memformulasikan sebuah rumus empiris percepatan tanah pada permukaan yang dirumuskan sebagai:

$$\alpha_g = G(T) \alpha_0 \quad (23)$$

dengan

$$\alpha_0 = \frac{1}{T} 10^{((0,061M) - (1,66 + \frac{3,66}{R}) \log R + 0,167 - \frac{1,83}{R})} \quad (24)$$

dan

$$G(T) = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{T}{T_0}\right)^2 + \left(\frac{0,2T}{\sqrt{T_0}T_0}\right)^2}} \quad (25)$$

dengan $G(T)$ adalah faktor perbesaran, α_0 adalah percepatan tanah pada *base rock* (gal), α_g menyatakan nilai percepatan tanah di titik pengukuran (gal), T adalah periode gelombang gempa (s), T_0 periode dominan tanah titik pengukuran (s), M adalah magnitudo gempabumi (Skala Richter) dan R jarak hiposenter (km).

Bila terjadi resonansi ($T = T_0$) maka harga $G(T)$ akan mencapai maksimum. Gelombang yang melalui lapisan sedimen akan menimbulkan resonansi yang disebabkan karena gelombang gempa mempunyai spektrum yang lebar sehingga hanya gelombang gempa yang sama dengan periode dominan tanah dari lapisan sedimen yang akan diperkuat. Dengan besarnya harga perbesaran $G(T)$ maka percepatan tanah pada permukaan akan menjadi maksimum yang dapat ditulis dengan persamaan:

$$\alpha_g = \frac{5}{\sqrt{T_0}} 10^{((0,061M) - (1,66 + \frac{3,66}{R}) \log R + 0,167 - \frac{1,83}{R})} \quad (26)$$

2.6.4 Pergeseran Tanah atau *Ground Shear Strain (GSS)*

Ground Shear Strain (GSS) kemampuan suatu lapisan tanah untuk meregang dan menggeser apabila terjadi gempa bumi. GSS dapat digunakan untuk mengkarakterisasi dampak yang terjadi saat gempa bumi, seperti likuifaksi, tanah retak, penurunan tanah, tanah longsor dan bergetarnya tanah. Data mikrotremor dengan metode HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) dapat digunakan untuk menentukan nilai GSS. Hasil analisis HVSR menunjukkan spektrum frekuensi dominan (f_0) dan faktor amplifikasi (A_0) yang menggambarkan karakteristik dinamis tanah (Nakamura, 2000). Metode analisis HVSR dikembangkan untuk menghitung rasio spektrum Fourier dari sinyal mikrotremor komponen horizontal terhadap komponen vertikalnya (Nakamura, 1989).

Besarnya *Ground Shear Strain* (γ) dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\gamma = A_0 \frac{\delta}{h} \quad (27)$$

dengan A adalah faktor amplifikasi, h adalah ketebalan lapisan tanah, dan δ adalah pergeseran gelombang seismik di bawah permukaan tanah. Kecepatan pergeseran gelombang di bawah permukaan tanah dan pada permukaan tanah masing-masing dilambangkan sebagai V_b dan V_s . Besarnya kecepatan gelombang di bawah permukaan tanah (V_b) dirumuskan sebagai

$$V_b = 4A_0 h f_0 \quad (28)$$

sehingga besarnya ketebalan lapisan dapat ditentukan dengan persamaan

$$h = V_b / (4A_0 f_0) \quad (29)$$

Nilai ketebalan lapisan dapat pula dituliskan sebagai

$$h = V_s / 4f_0 \quad (30)$$

dengan $V_S = V_b/A_0$

Percepatan di bawah permukaan tanah (a) dinyatakan sebagai:

$$a = (2\pi f_0)^2 \delta \quad (31)$$

sehingga perpindahan seismik dari bawah permukaan tanah dapat ditentukan menggunakan persamaan:

$$\delta = a/(2\pi f_0)^2 \quad (32)$$

Jika Persamaan (29) dan Persamaan (32) dimasukkan ke Persamaan (27), maka diperoleh:

$$\gamma = Kg \frac{a_g}{\pi^2 V b} \quad (33)$$

Pada saat nilai γ di atas 10^{-2} tanah akan mengalami fenomena tanah longsor dan likuifaksi. Terjadinya tanah longsor pada umumnya disebabkan oleh hujan, lereng terjal, getaran (seperti gempa bumi) dan sebagainya (Nandi, 2006). Sedangkan likuifaksi merupakan fenomena hilangnya kekuatan lapisan tanah akibat getaran gempa. Likuifaksi terjadi pada tanah yang berpasir lepas (tidak padat) dan jenuh air (Towhata dalam Alwyn, 2013).

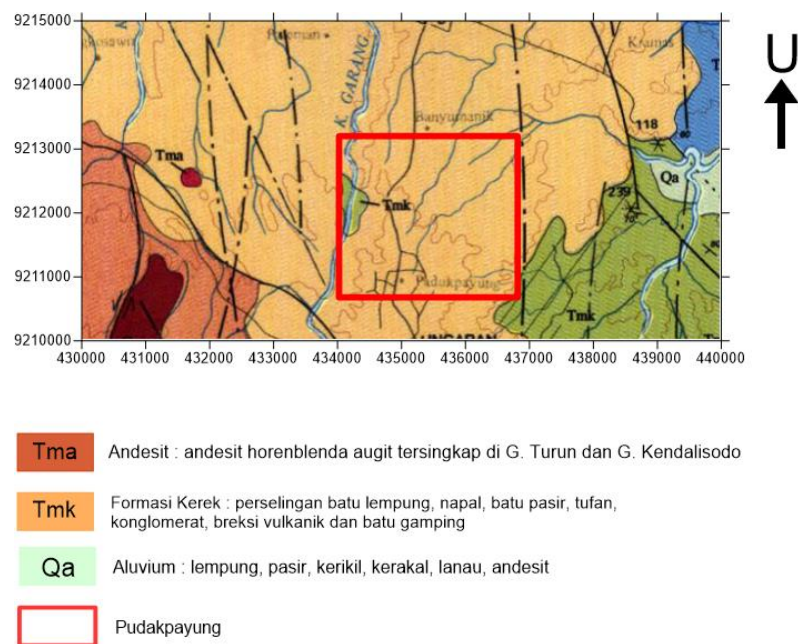
2.7 Geologi Regional

Kota Semarang terletak pada posisi di antara garis $6^{\circ}50'$ – $7^{\circ}10'$ Lintang Selatan dan garis $109^{\circ}35'$ – $110^{\circ}50'$ Bujur Timur dan mempunyai daerah rawan longsor yang cukup tinggi.

Kecamatan Banyumanik terletak di daerah yang sering disebut sebagai kota atas Semarang. Wilayah Kecamatan Banyumanik berada di ketinggian rata-rata 300 meter di atas permukaan laut dengan kemiringan $> 45\%$, sehingga wilayah studi

merupakan daerah dengan topografi tinggi serta termasuk dataran tinggi. Kecamatan Banyumanik termasuk golongan daerah perbukitan berelief sedang, perbukitan berelief kasar, dan perbukitan berelief sangat kasar-curam. Daerah yang curam berpotensi terjadinya longsor.

Berdasarkan Peta Geologi Lembar Magelang-Semarang (Gambar 2.5), Jawa (Thanden dkk., 1996), daerah Banyumanik disusun oleh Formasi Kerek, yang tersusun oleh batu pasir tufaan, konglomerat, dan breksi vulkanik (Qtd). Menurut Badan Geologi, Pusat Volkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG) (2016) bahwa Kecamatan Banyumanik termasuk zona potensi terjadi gerakan tanah menengah-tinggi, artinya pada zona ini dapat terjadi gerakan tanah jika curah hujan di atas normal, terutama pada daerah yang berbatasan dengan lembah sungai, gawir (tebing curam), tebing jalan atau jika lereng mengalami gangguan, sedangkan gerakan tanah lama dapat aktif kembali.



Gambar 2.6 Peta geologi daerah penelitian (Sumber : Peta geologi kota Semarang lembar Magelang-Semarang)

BAB V

PENUTUP

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka didapatkan beberapa kesimpulan yaitu:

1. Dari data penelitian nilai kerentanan tanah rata-rata berkisar 5,73. Nilai ketentanan tanah tertinggi yaitu pada titik 10 dengan nilai 30,9 dan nilai kerentanan tanah terendah pada titik 1 dengan nilai kurang dari 1,05.
2. Nilai percepatan tanah maksimum rata-rata berkisar 36,23 gal. Nilai tertinggi pada titik 8 dengan nilai 59,49 gal. Nilai terendah pada titik 10 dengan nilai 23,2 gal.
3. Nilai pergeseran tanah (*ground shear strain*) rata-rata berkisar $1,37 \times 10^{-2}$. Nilai tertinggi pada titik 10 dengan nilai $3,7 \times 10^{-2}$. Nilai terendah pada titik 1 dengan nilai $0,68 \times 10^{-2}$.
4. Nilai kerentanan tanah dan pergeseran tanah berbanding lurus. Semakin tinggi nilai kerentanan tanah, maka semakin tinggi nilai pergeseran tanah. Nilai kerentanan tanah dan nilai pergeseran tanah yang tinggi berada pada titik 10 dan 13 yaitu pada bagian timur dan utara dari lokasi penelitian. Daerah dengan nilai kerentanan tanah dan pergeseran tanah yang tinggi berpotensi mengalami fenomena tanah longsor, kompaksi tanah, serta likuifaksi.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian, penulis mengajukan beberapa saran untuk penelitian selanjutnya, yaitu:

1. Untuk analisis data disarankan mempertimbangkan kesesuaian dengan data geologi pada daerah penelitian, seperti mineral air tanah, dan sumber sumber daya energi lain agar mendapatkan hasil akhir dari analisis data dengan valid.
2. Noise yang timbul pada saat penelitian lebih banyak disebabkan oleh lalu lintas kendaraan bermotor dan aktivitas manusia lainnya. Sehingga untuk mengatasi banyaknya noise, penelitian dilakukan pada malam hari.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdillah. 2010. *Analisis dan Keaktifan Resiko Gempa Bumi Pada Zona Subduksi Daerah Pulau Sumatra dan Sekitarnya dengan Metode Least Square*. Jakarta: Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah
- Alwyn, Taufana. (2013). *Pemetaan Kerentanan Daerah Potensi Likuifaksi, Akibat Gempabumi Tektonik Studi Kasus DIY*. Semarang: UNDIP.
- Arifin, S.S., B.S. Mulyanto, Marjiyono, & R. Setianegara. 2012. *Penentuan Zona Rawan Guncangan Bencana Gempa Bumi berdasarkan Analisis Nilai Amplifikasi HVSZ Mikrotremor dan Analisis Periode Dominan Daerah Liwa dan Sekitarnya*. Jurnal Geofisika Eksplorasi Vol. 2, No. 1.
- Crozier, MJ.1999. *Landslides: causes, consequences, and environment*. London. Croom Helm.
- Daryono. 2011. *Indeks Kerentanan Seismik Berdasarkan Mikrotremor pada Setiap Satuan Bentuklahan di Zona Graben Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta*. Disertasi. Program Pascasarjana Fakultas Geografi. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Daryono & B. S. Prayitno. 2012. *Data Mikrotremor dan Pemanfaatannya untuk Pengkajian Bahaya Gempabumi*. Jakarta: Badan Meteorologi dan Klimatologi Geofisika.
- Dewi, E. R. 2013. *Analisis Ground Shear Strain di Wilayah Kecamatan Jetis Kabupaten Bantul Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Islam Yogyakarta.
- Edwiza, D. & S. Novita. (2008). *Pemetaan Percepatan Tanah Maksimum dan Intensitas Seismik Kota Padang Panjang Menggunakan Metoda Kannai*. Padang: Repository Universitas Andalas.
- Elnashai, S.A. & Sarno, D.L. (2008). *Fundamental of Earthquake Engineering*. Hongkong: Wiley.
- Ettwein.V & Maslin.M. (2011). *Physical Geography: Fundamentals Of The Physical Environment*. London : University of London International Programmes.
- Febriani, Y., I. Daruwati, & R.G. Hatika. 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.
- Gadallah, R.M., & Fisher, R. (2009). *Exploration Geophysics*. Berlin: Springer.

- Gurler, E.D., Y. Nakamura, J. Saita, & T. Sato. 2000. *Local site effect of Mexico City based on microtremor measurement*. 6th International Conference on Seismic Zonation. Palm Spring Riviera Resort. California, USA, pp.65.
- Gutenberg, B. 1958. Microseisms. *Advances in Geophysics* 5, 53–92.
- Hardiyatmo, HC. 2006. *Penanganan Tanah Longsor dan Erosi*. Yogyakarta:Gajah Mada University Press.
- Huang, H.C. & Tseng, Y.S. (2002). Characteristics of soil liquefaction using H/V of microtremors in Yuan-Lin Area, Taiwan. *TAO*, Vol. 13, No. 3, 325-338, September 2002.
- Jaya W. E. & Sungkono. 2013. Estimasi Indeks Kerentanan Tanah Menggunakan Metode HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio). *Jurnal Sains dan Seni Pomits* 2(1): 2337-3520.
- Kanai, K. & T. Tanaka. 1961. *On Microtremors. VIII*, Bull. Earth. Res. Inst., University of Tokyo, Japan.
- Kanai, K. 1966. Improved empirical formula for characteristics of stray [sic] earthquake motions. *Pages 1–4 of: Proceedings of the Japanese Earthquake Symposium*. Not seen. Reported in Trifunac & Brady (1975).
- Kanai, K. (1983). *Seismology in Engineering*. Japan: Tokyo University.
- Lermo, Javier & Chávez-García, Francisco J. (1993). *Site Effect Evaluation Using Spectral Ratios with Only One Station*. America: Bulletin of Seismological Society of America, Vol. 83, No. 5. Hlm. 1574-1594.
- Munir, M. 2003. *Geologi Lingkungan*. Malang:Banymedia Publishing.
- Nakamura, Y. 1989. *A Method for Dynamic Characteristic Estimation of Subsurface using Microtremor on The Ground Surface*. Q.R. of RTRI. Vol.30, No. 1, page 25-33.
- Nakamura, Y. 2000. *Clear Identification of Fundamental Idea of Nakamura's Technique and Its Application*. The 12nd World Conference on Earthquake Engineering. Tokyo, Japan.
- Nakamura, Y. 2008. *On The H/V Spectrum*. The 14th World Conference on Earthquake Engineering. Beijing, China.
- Nandi. (2006). *Gempabumi Geologi Lingkungan*. Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia.
- Nandi. (2007). *Longsor*. Handouts Jurusan Pendidikan Geografi. Bandung: UPI.

- Naqiyun, M. D. 2015. *Analisis Data Mikroseismik Daerah Calon Tapak PLTN di Kawasan Muria untuk Kelayakan dan Keselamatan Rencana Pusat Listrik Reaktor Daya*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga.
- Pancawati, K. D., Supriyadi, & Khumaedi. (2016). Identifikasi Kerentanan Dinding Bendungan dengan Menggunakan Metode. *Unnes Physics Journal*, 5(2), 21–26.
- Priyantari, N. dan C. Wahyono. 2005. Penentuan Bidang Gelincir Tanah Longsor Berdasarkan Sifat Kelistrikan Bumi (Determination Of Slip Surface Based On Geoelectricity Properties). *Jurnal ILMU DASAR* Vol.6 No. 2, 2005 : 137-141.
- Purwatiningsih, D. 2008. *Perbandingan Karakteristik Lapisan bawah Permukaan Berdasarkan Analisis Gelombang Mikrotremor dan Data Bor*. Universitas Indraprasta PGRI.
- PVMBG, 2016. Zona Potensi Gerakan Tanah Kota Semarang, *Internet*, <http://esdm.go.id/>, diakses Senin 2 April 2018.
- Ramli, Soehatman. 2010. *Pedoman Praktis Manajemen Bencana*. Jakarta. Dian Rakyat.
- Rosita D, Ella. (2013). *Analisis Ground Shear Strain di Wilayah Kecamatan Jetis Kabupaten Bantul Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor*. (Skripsi), Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Kalijaga.
- Saita, J., M.L.P. Bautista, & Y. Nakamura. 2004. *On Relationship Between The Estimated Strong Motion Characteristic of Surface Layer and The Earthquake Damage -Case Study at Intramuros, Metro Manila*. Paper No. 905, 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C.Canada.
- SESAME. 2004. *Guidelines for The Implementation of H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations Measurements, Processing and Interpretation*. SESAME European Research Project. Project No. EVG1-CT-2000-00026 SESAME
- Shaleha, A., Supriyadi, & Ngurah, M.D.P. (2016). Identifikasi Struktur Lapisan Tanah Daerah Rawan Longsor di Kecamatan Banyubiru Kabupaten Semarang dengan Metode Horizontal To Vertical Spectral Ratio (HVSr). *Unnes Physics Journal*, 5(2), 1-6.
- Slob, S., 2007, *Micro Seismic Hazard Analysis, Earthquake Vulnerability and Multi-Hazard Risk Assessment: Geospatial Tools for Rehabilitation and Reconstruction Efforts*, ITC The Netherlands.

- Soemantri, L. 2008. Kajian Mitigasi Bencana Longsor Lahan Dengan Menggunakan Teknologi Pengindraan Jauh. *Makalah Seminar Ikatan Geografi Indonesia. 22-23 Nopember 2008*. Padang.
- Sonjaya, Irman. 2008. Pengenalan Gempabumi. Yogyakarta: Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika.
- Sulistiawan, H., Supriyadi., Ian, Y. (2016). Studi Ketebalan Lapisan Sedimen Daerah Kampus Unnes dengan Menggunakan Metode Mikroseismik. *Prosiding Seminar Nasional Geofisika 2016*, 42-47.
- Sunardi, B. D., J. Arifin, P. Susilanto, D. Ngadmanto, B. Nurdiyanto, & Sulastrri. 2012. Kajian Potensi Bahaya Gempabumi Daerah Sumbawa Berdasarkan Efek Tapak Lokal. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 13(2): 131-137.
- Sungkono, Warnana, D., Triwulan & Utama, W., 2011. Evaluation of Buildings Strength From Mikrotremor Analyses. *International Journal of Civil and Environmental Engineering*, 11(5), pp. 93-99.
- Susilawati. 2008. *Penerapan Penjalaran Gelombang Seismik Gempa pada Penelaahan Struktur Bagian Dalam Bumi*. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Thanden, R.E., H. Sumadirdja, P.W. Richards, K. Sutisna, & T.C. Amin. 1996. *Peta Geologi Lembar Magelang-Semarang*, . Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Bandung.
- Telford, M.W., L.P. Geldart, R.E. Sheriff. 1976. *Applied Geophysic*. Cambridge University Press.
- USGS. *Global V_s^{30} Map Server*. <http://earthquake.usgs.gov/hazards/apps/vs30/>. Diakses: 21 Mei 2018.
- Widjonarko dan H.B Wijaya. 2014. Pemetaan Potensi Bencana Longsor Di Kelurahan Kembangarum. *Geoplanning*, Vol 1, No 2, 2014, 93-101. Universitas Diponegoro. Semarang.