



**ANALISIS *GROUND SHEAR STRAIN* UNTUK
IDENTIFIKASI POTENSI GERAKAN TANAH
DENGAN METODE HVSR (*HORIZONTAL TO
VERTICAL SPECTRAL RATIO*) DI TAMAN PURI
SARTIKA SEMARANG**

Skripsi

disusun sebagai salah satu syarat
untuk menempuh gelar Sarjana Sains
Program Studi Fisika

oleh

Aini Fadlilatin Sakinah
4211413010

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

2017


PERSETUJUAN PEMBIMBING

Skripsi dengan judul “*Analisis Ground Shear Strain* untuk Identifikasi Potensi Gerakan Tanah dengan Metode *HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)* di Taman Puri Sartika Semarang” telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang ujian skripsi Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.

Hari : Jumat

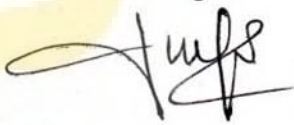
Tanggal : Agustus 2017

Dosen Pembimbing I


Dr. Khumaedi, M.Si.
NIP 196306101989011002

Semarang, Agustus 2017

Dosen Pembimbing II


Drs. Ngurah Made D. P., M.Si., Ph.D
NIP 196702171992031002

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi ini bebas dari plagiat, dan apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan.

Semarang, 23 Agustus 2017



Aini Fadliatin Sakinah
Aini Fadliatin Sakinah

4211413010

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul

Analisis *Ground Shear Strain* untuk Identifikasi Potensi Gerakan Tanah dengan Metode HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) di Taman Puri Sartika Semarang

disusun oleh

Aini Fadlilatin Sakinah

4211413010

telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Skripsi FMIPA UNNES pada tanggal 23 Agustus 2017.

Panitia:

Ketua



Prof. Dr. Zaenuri, S.E., M.Si., Akt
196412231988031001

Sekretaris

Dr. Suharto Linywih, M.Si
196807141996031005

Ketua Penguji

Dr. Ian Yulianti., S.Si., M. Eng
197707012005012001

Anggota Penguji/
Dosen Pembimbing I

Dr. Khumaedi, M.Si.
196306101989011002

Anggota Penguji/
Dosen Pembimbing II

Drs. Ngurah Made D. P., M.Si., Ph.D
196702171992031002

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

Motto :

- Bahagia, sedih, sakit dan sehat adalah bagian dari sugesti dalam diri kita. Maka perbanyaklah sugesti yang positif agar hidup kita menjadi baik.
- “Penyesalan tidak dapat mengubah masa lalu, begitu pula kekhawatiran tidak dapat mengubah masa depan.” (Umar bin Khattab)

Skripsi ini kupersembahkan kepada :

1. Bapak Akhmad Kharis dan Ibu Sanaliyah, terima kasih atas doa, dukungan dan kasih sayang serta pelajaran hidup yang telah diberikan;
2. Amalia Nurusyabani dan Asfa Aulina Zaafarani, kedua adik yang sudah menjadi motivasi untuk semangat mengerjakan skripsi ini.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini guna memperoleh gelar Sarjana Sains di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang dengan judul “Analisis *Ground Shear Strain* untuk Identifikasi Potensi Gerakan Tanah dengan Metode HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) di Taman Puri Sartika Semarang.”

Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak akan terselesaikan dengan baik tanpa adanya partisipasi dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Zaenuri, S.E., M.Si., Akt., dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang;
2. Dr. Suharto Linuwih, M.Si., ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang;
3. Dr. Mahardika Prasetya Aji, M.Si., ketua Program Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang;
4. Prof. Dr. Supriyadi, M.Si, dosen wali yang selalu memberikan semangat dan dukungan kepada penulis;
5. Dr. Khumaedi, M.Si., dosen pembimbing I yang telah membimbing dengan penuh kesabaran serta meluangkan waktu untuk memberi masukan, saran dan motivasi dalam proses penyusunan skripsi;

6. Drs. Ngurah Made D. P., M.Si., Ph.D., dosen pembimbing II yang telah membimbing dengan penuh kesabaran serta meluangkan waktu untuk memberi masukan, saran dan motivasi dalam proses penyusunan skripsi;
7. Kepala Desa Sukorejo yang telah memberikan ijin penelitian;
8. Teman-teman program studi fisika angkatan 2013 yang sudah saling memberi dukungan, membantu serta berbagi pengalaman;
9. Pengurus Hima Fisika angkatan 2013 yang telah menjadi sahabat dan memberikan banyak pengalaman hidup serta motivasi bagi penulis;
10. Teman-teman KSGF Universitas Negeri Semarang yang telah membantu dan memberikan semangat;
11. Penghuni kos Full Color yang telah memberi semangat dan motivasi;
12. Teman-teman jurusan fisika 2013 yang telah membantu dan memberi semangat.

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

Semarang, 23 Agustus 2017

Penulis

ABSTRAK

Sakinah, A. F. 2017. *Analisis Ground Shear Strain untuk Identifikasi Potensi Gerakan Tanah dengan Metode HVSR (Horizontal to Vertikal Spectral Ratio) Di Taman Puri Sartika Semarang*. Skripsi, Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang. Pembimbing Utama: Dr. Khumaedi, M.Si dan Pembimbing Pendamping: Drs. Ngurah Made Darma Putra, M.Si., Ph.D.

Kata kunci: Sukorejo, *Horizontal to Vertikal Spectral Ratio* (HVSR), Gerakan Tanah, Gempabumi, *Ground Shear Strain* (GSS).

Desa Sukorejo merupakan salah satu daerah di Kota Semarang yang memiliki beberapa titik-titik rawan terjadinya gerakan tanah atau tanah longsor. Kontur tanah di desa tersebut sebagian adalah perbukitan dengan struktur tanah yang labil. Taman Puri Sartika merupakan salah satu daerah yang terletak di Desa Sukorejo. Menurut peta geologi lembar Magelang-Semarang, struktur lapisan tanah Taman Puri Sartika adalah batupasir, batulempung, konglomerat, tufan dan napal. Lapisan batupasir tersebut mudah meneruskan dan menyimpan air, namun batulempung termasuk batuan kedap air, sehingga mudah menyebabkan tanah longsor saat curah hujan tinggi. Penelitian mengenai potensi longsor di daerah tersebut belum ada, sehingga perlu dilakukan penelitian sebagai salah satu upaya mitigasi bencana. Salah satu metode geofisika untuk mengetahui potensi longsor di suatu daerah adalah menghitung nilai *ground shear strain* dengan metode HVSR. Pengukuran dilakukan menggunakan alat seismometer tiga komponen di 18 titik dengan durasi 30 menit tiap titik. Pengolahan data menggunakan tiga sumber gempa dan belum menunjukkan potensi longsor yang besar karena memiliki nilai dibawah 10^{-2} . Namun beberapa dengan data gempa Yogyakarta nilai *ground shear strain* mendekati angka 10^{-2} sehingga titik-titik yang lebih tinggi perlu diwaspadai. Perbandingan nilai *ground shear strain* dengan ketiga sumber gempa menunjukkan bahwa semakin besar magnitudo dan semakin kecil jarak atau kedalaman episenter, potensi longsor di daerah tersebut akan semakin tinggi.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

ABSTRACT

Sakinah, A. F. 2017. Analysis of Ground Shear Strain to Identification The Land Movement using HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) Method in The Taman Puri Sartika Semarang. Final Project, Department of Physics. Faculty of Mathematics and Natural Sains. First Lecture: Dr. Khumaedi, M.Si dan Second Lecture: Drs. Ngurah Made Darma Putra, M.Si., Ph.D.

Keywords: Sukorejo, *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR), Land Movement, Earthquake, *Ground Shear Strain* (GSS).

Sukorejo is one of the areas in Semarang City which has several points of potentially to land movement or landslide. The lands contour in these village is partly hilly with unstable soil structure. Taman Puri Sartika is one area which located in Sukorejo. According to the geological map sheet of Magelang-Semarang, the structure of Taman Puri Sartika's soil layer is sandstone, claystone, conglomerate, tuff and napal. Sandstone layer is easy to continue and store water, but claystone including waterproof rocks, so easy to occur landslides during high rainfall. Research about land movement potential in these area is not available, so research needs to be done as one of disaster mitigation. One of the geophysical methods to know the potential of lands movement is HVSR method. Measurements were made using a three component seismometer at 18 points with a duration of 30 minutes per point. Data processing using three earthquake sources and has not shown the potential for large landslides because it has a value below 10^{-2} . However some point with Yogyakarta earthquake's source data ground shear strain value approaching 10^{-2} so higher point need to be consider. The comparison of ground shear strain values with the three earthquake sources indicates that the magnitude and the depth of the epicenter, the potential for landslides in the area will be higher.



DAFTAR ISI

	Halaman
Halaman Judul	i
Persetujuan Pembimbing	ii
Surat Pernyataan	iii
Halaman Pengesahan	iv
Motto dan Persembahan	v
Kata Pengantar	vi
Abstrak	viii
Abstract	ix
Daftar Isi	x
Daftar Tabel	xiii
Daftar Gambar	xiv
Daftar Lampiran	xvi
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB 2 LANDASAN TEORI	
2.1 Kondisi Geologi Daerah Penelitian	5
2.2 Gerakan Tanah	6

2.2.1 Pengertian Gerakan Tanah	6
2.2.2 Jenis-jenis Gerakan Tanah	7
2.2.3 Faktor-faktor Penyebab Gerakan Tanah	9
2.3 Gempabumi	10
2.4 Gelombang Seismik	11
2.3.1 Gelombang Badan (<i>Body wave</i>)	12
2.3.2 Gelombang Permukaan	13
2.5 Mikroseismik	13
2.5.1 Analisis Data Mikroseismik	14
2.6 Kerangka Berpikir	25
BAB 3 METODE PENGUMPULAN DATA	
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian	28
3.1.1 Lokasi Penelitian	28
3.1.2 Waktu Penelitian	28
3.2 Perlengkapan Penelitian	29
3.2.1 Alat-alat	29
3.2.2 <i>Software</i>	29
3.3 Akuisisi Data	30
3.4 Pengolahan dan Interpretasi Data	31
3.5 Diagram Alir Penelitian	34
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Hasil Penelitian	35
4.1.1 Frekuensi Natural	36

4.1.2 Amplifikasi	37
4.2 Ketebalan Lapisan Sedimen	38
4.3 Percepatan Tanah Maksimum (<i>Peak Ground Acceleration</i>)	40
4.3.1 Percepatan Tanah Maksimum berdasarkan Data Gempa Tegal ...	40
4.3.2 Percepatan Tanah Maksimum berdasarkan Data Gempa Jepara .	41
4.3.3 Percepatan Tanah Maksimum berdasarkan Data Gempa Yogyakarta	42
4.4 <i>Ground Shear Strain</i> atau Regang Geser Maksimum	43
4.4.1 <i>Ground Shear Strain</i> berdasarkan Data Gempa Tegal	43
4.4.2 <i>Ground Shear Strain</i> berdasarkan Data Gempa Jepara	45
4.4.3 <i>Ground Shear Strain</i> berdasarkan Data Gempa Yogyakarta	46
4.5 Pembahasan	48
BAB 5 PENUTUP	
5.1 Simpulan	53
5.2 Saran	54
DAFTAR PUSTAKA	55
LAMPIRAN-LAMPIRAN	58

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Tabel klasifikasi tanah oleh Kanai	18
2.2 Skala Intensitas Gempa	21
2.3 Tingkat <i>strain</i> dan dinamika tanah	24
3.1 Persyaratan teknis survei mikroseismik	30
3.2 Kriteria reliabilitas data	32



DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Peta geologi Desa Sukorejo	5
2.2 Jenis Gerakan Tanah	7
2.3 Gelombang love dan gelombang rayleigh	13
2.4 Penggambaran metode HVSR	15
2.5 Model cekungan yang berisi material sedimen halus	16
2.6 Pergeseran dari permukaan tanah	23
2.7 Kerangka berpikir penelitian	27
3.1 Desain survei penelitian	28
3.2 Diagram alir penelitian	34
4.1 Spektrum kurva HVSR dan <i>windowing</i> titik 1	36
4.2 Peta nilai frekuensi (f_0) Taman Puri Sartik Semarang	37
4.3 Peta nilai amplifikasi Taman Puri Sertika Semarang	38
4.4 Nilai ketebalan lapisan sedimen Taman Puri Sartika Semarang	38
4.5 Peta nilai PGA Taman Puri Sartika berdasarkan data gempa Tegal	41
4.6 Peta nilai PGA Taman Puri Sartika berdasarkan data gempa Jepara	42
4.7 Peta nilai PGA Taman Puri Sartika berdasarkan data gempa Yogyakarta	43
4.8 Peta 2 dimensi dan 3 dimensi permukaan nilai <i>ground shear strain</i> berdasarkan data gempa Tegal	44
4.11 Peta 2 dimensi dan 3 dimensi permukaan nilai <i>ground shear strain</i> berdasarkan data gempa Jepara	45

4.12	Peta 2 dimensi dan 3 dimensi permukaan nilai <i>ground shear strain</i> berdasarkan data gempa Yogyakarta	47
4.16	Perbandingan nilai percepatan tanah maksimum dari data gempa	49



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Analisis tingkat realibilitas data	58
2. Data pengukuran mikroseismik	63
3. Data kecepatan gelombang S (V_{S30})	64
4. Hasil pengolahan data	65
5. Dokumentasi akuisisi data	68
6. Surat Ijin Penelitian	69
7. SK Pembimbing	70



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu bencana yang sering terjadi di Kota Semarang adalah gerakan tanah. Salah satu jenis gerakan tanah yang banyak terjadi adalah tanah longsor. Menurut hasil penelitian Windraswara dan Widowati (2010), tujuh dari 16 kecamatan di Kota Semarang memiliki titik-titik rawan gerakan. Ketujuh kecamatan tersebut adalah Manyaran, Gunungpati, Gajahmungkur, Tembalang, Ngaliyan, Mijen dan Tugu. Kontur tanah di kecamatan-kecamatan tersebut sebagian adalah perbukitan dan daerah patahan dengan struktur tanah yang labil. Topografi yang cukup terjal membuat daerah ini memiliki potensi yang besar untuk terjadi gerakan tanah.

Gunungpati merupakan daerah yang sudah banyak dipadati oleh pemukiman penduduk. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa daerah Gunungpati khususnya Desa Sukorejo memiliki titik-titik rawan gerakan tanah karena kondisi topografi yang miring. Desa Sukorejo terbagi atas beberapa wilayah yaitu Deliksari, Perumahan Trangkil Sejahtera, Taman Puri Sartika, Perumahan Bukit Sukorejo dan Perumahan Dewi Sartika. Daerah yang sudah teridentifikasi rawan gerakan tanah di Desa Sukorejo adalah Deliksari dan Perumahan Trangkil Sejahtera. Taman Puri Sartika merupakan salah satu kawasan pemukiman yang terletak paling dekat dengan daerah yang sudah teridentifikasi dan memiliki

beberapa titik dengan kondisi topografi yang miring. Struktur geologi di Desa Sukorejo juga terdiri dari batupasir, batulempung, konglomerat, tufan dan napal. Struktur tersebut didominasi oleh batupasir yang cenderung dapat meneruskan dan menyimpan air, namun batulempung merupakan batuan kedap air yang menyebabkan batupasir tidak dapat meneruskan air ke batulempung sehingga dapat menjadi faktor terjadinya gerakan tanah. Namun, belum ada informasi titik-titik rawan gerakan tanah di daerah tersebut sehingga perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui persebarannya.

Metode geofisika yang sering digunakan untuk mengidentifikasi potensi gerakan tanah adalah metode geolistrik. Namun metode tersebut memiliki beberapa kekurangan yaitu tidak ramah lingkungan karena harus menancapkan elektroda pada permukaan tanah dan terlalu sensitif terhadap benda-benda konduktif sehingga menimbulkan error yang besar. Daerah yang akan dilakukan penelitian merupakan kawasan perumahan yang mayoritas lahannya sudah digunakan dan diaspal sehingga dibutuhkan metode yang ramah lingkungan. Keberadaan beberapa tiang listrik pada pemukiman juga akan sangat mempengaruhi hasil pengukuran geolistrik. Selain metode geolistrik, metode yang dapat digunakan adalah metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr). Metode tersebut merupakan metode pasif yang sangat ramah lingkungan sehingga tidak merusak struktur bangunan atau jalan pada saat pengambilan data.

Menurut Warnana *et al.* (2011) metode HVSr sangat cocok untuk menentukan nilai frekuensi natural dan amplifikasi yang dimiliki suatu daerah. Nilai tersebut akan menentukan nilai percepatan tanah maksimum dan ketebalan

lapisan sedimen di daerah penelitian yang kemudian digunakan untuk menghitung nilai *ground shear strain* atau regang geser tanah. Nilai *ground shear strain* dapat digunakan untuk mengkarakterisasi dampak yang terjadi saat gempa bumi, seperti likuifaksi, tanah retak, penurunan tanah, tanah longsor dan bergetarnya tanah.

Kurangnya informasi masyarakat tentang potensi gerakan tanah menjadikan penelitian ini dilakukan. Informasi nilai *ground shear strain* sangat bermanfaat untuk mitigasi bencana di Taman Sartika Semarang terutama kesiapsiagaan dalam menghadapi bencana gempa bumi maupun tanah longsor.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka permasalahan dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Berapa nilai ketebalan lapisan sedimen di Taman Puri Sartika?
2. Berapa nilai percepatan tanah maksimum di Taman Puri Sartika?
3. Berapa nilai *ground shear strain* di Taman Puri Sartika?
4. Bagaimana potensi longsor dengan pendekatan nilai *ground shear strain* di Taman Puri Sartika ?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui ketebalan lapisan sedimen di Taman Puri Sartika.
2. Mengetahui nilai percepatan tanah maksimum di Taman Puri Sartika.
3. Mengetahui nilai *ground shear strain* di Taman Puri Sartika.
4. Mengetahui potensi longsor dengan pendekatan nilai *ground shear strain* di Taman Puri Sartika.

1.4 Batasan Masalah

Ruang lingkup masalah yang diamati pada penelitian adalah sebagai berikut:

1. Penyebab dari tanah longsor hanya karena gempa bumi.
2. Akuisisi data hanya dilakukan di lingkup Puri Sartika dengan luas daerah penelitian 800×50 m.
3. Pengambilan dan pengolahan data mikroseismik mengacu pada aturan yang ditetapkan oleh *SESAME European Research Project*.

1.5 Manfaat

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Manfaat bagi dunia pendidikan

Memberikan informasi kepada peneliti secara kuantitatif tentang *peak ground acceleration* dan *ground shear strain* di perumahan Puri Sartika dengan harapan peneliti lain dapat mengembangkan penelitian ini ke arah yang lebih baik.

2. Manfaat bagi masyarakat

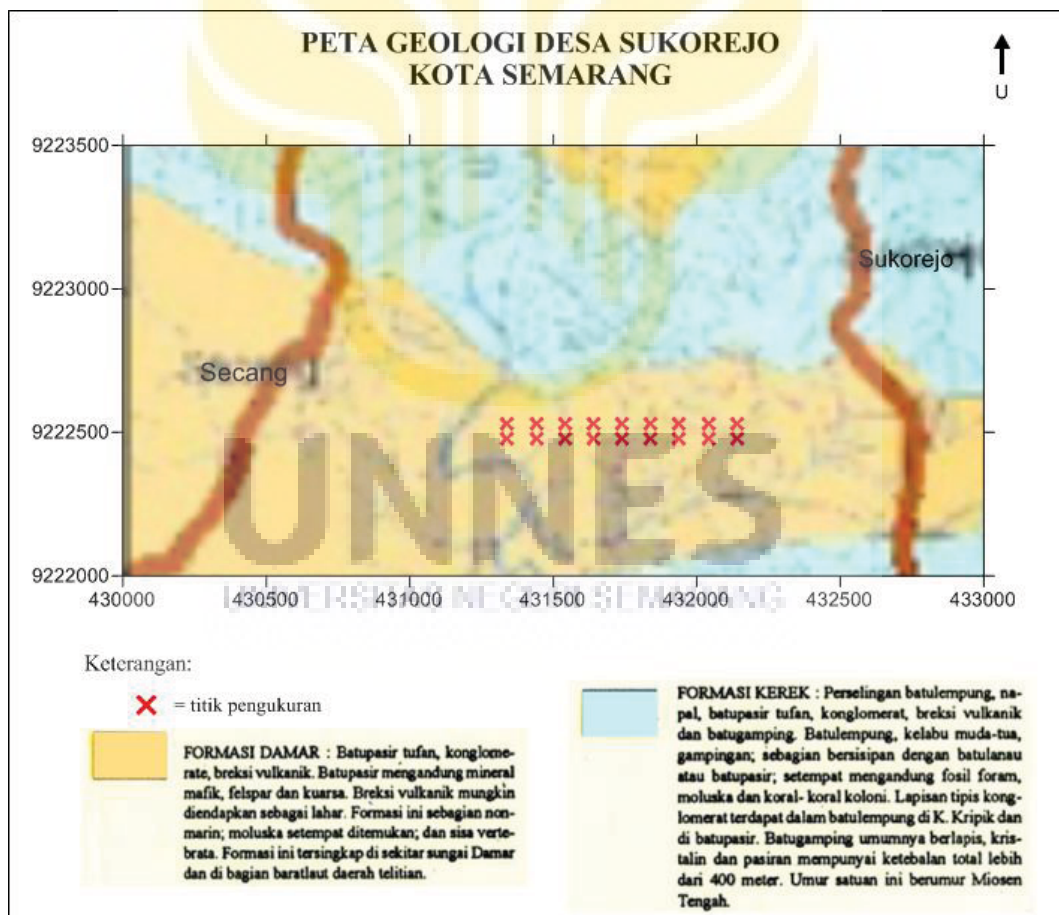
Diharapkan adanya upaya mitigasi bencana dengan memberikan gambaran tentang potensi gerakan yang divisualkan dalam bentuk mikrozonasi *ground shear strain* di sekitar perumahan Puri Sartika. Selain itu, diharapkan pula adanya upaya pemerintah untuk melakukan penataan lahan khususnya di daerah yang sudah teridentifikasi rawan longsor seperti memperbanyak vegetasi, dll.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kondisi Geologi Daerah Penelitian

Taman Puri Sartika terletak di Kelurahan Sukorejo Kecamatan Gunungpati Kota Semarang. Lokasi pemukiman ini berada pada koordinat $7^{\circ}2'1.32''$ LS dan $110^{\circ}22'45.67''$ BT. Ditinjau dari peta geologi (Gambar 2.1), bawah permukaan Kelurahan Sukorejo masuk ke dalam Formasi Damar dan Formasi Kerek.



Gambar 2.1 Peta Geologi Desa Sukorejo

Formasi Damar terdiri dari batupasir, tufan, konglomerat, breksi vulkanik. Sedangkan Formasi Kerek terdiri dari perselingan batulempung, napal, batupasir tufan, konglomerat, breksi vulkanik dan batugamping.

2.2 Gerakan Tanah

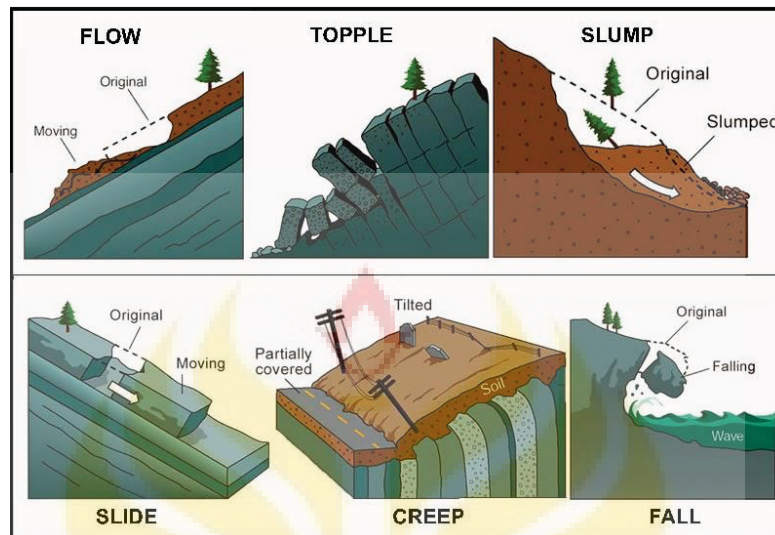
2.2.1 Pengertian Gerakan Tanah

Gerakan tanah adalah perpindahan material pembentuk lereng, berupa batuan, bahan timbunan, tanah atau material campuran tersebut, bergerak ke arah bawah dan keluar lereng (Varnes, 1978). Jenis lereng berdasarkan material terbagi menjadi dua, yaitu lereng batuan dan tanah. Dalam analisis dan penentuan jenis tindakan pengamanannya, tidak dapat disamakan karena parameter material dan jenis penyebab longsor di kedua lereng tersebut berbeda. Pada keadaan tidak terganggu (alamiah), tanah atau batuan umumnya berada dalam keadaan seimbang terhadap gaya-gaya yang timbul dari dalam. Apabila mengalami perubahan keseimbangan, maka tanah atau batuan itu akan berusaha untuk mencapai keadaan keseimbangan yang baru secara alamiah. Cara ini berupa proses degradasi atau pengurangan beban, terutama dalam bentuk longsor atau gerakan lain sampai tercapai keadaan keseimbangan yang baru.

Pada tanah atau batuan dalam keadaan tidak terganggu (alamiah) telah bekerja tegangan-tegangan vertikal, horisontal dan tekanan air pori. Ketiga hal di atas mempunyai peranan penting dalam membentuk kemantapan lereng.

2.2.2 Jenis-Jenis Gerakan Tanah

Jenis Gerakan Tanah berdasar Klasifikasi Varnes (1978) (Gambar 2.2):



Gambar 2.2 Jenis Gerakan Tanah

(1) Longsoran Translasi (*Flows*)

Longsoran translasi adalah Bergeraknya massa tanah dan batuan pada bidang gelincir berbentuk rata atau menggelombang landai. Longsoran ini dapat juga terjadi pada batuan tetapi lebih sering terjadi pada bahan rombakan yang merupakan percampuran antara material tanah (berbutir halus) dan hancuran-hancuran batuan (berbutir kasar).

(2) Robohan (*Topples*)

Robohan (*topples*) adalah robohnya batuan yang umumnya bergerak melalui bidang-bidang diskontinuitas (bidang-bidang yang tidak menerus) yang sangat tegak pada lereng. Robohan ini biasanya terjadi pada batuan dengan kelerengan sangat terjal sampai tegak dan dapat dipengaruhi oleh tekanan cairan (misalnya tekanan air) yang mengisi bidang-bidang retakan atau kekar.

(3) Longsoran Rotasi (*Slump*)

Longsoran rotasi adalah salah satu jenis gerakan tanah yang sering dijumpai di kota Semarang, baik skala kecil maupun besar. Upaya penanggulangan biasanya dilakukan setelah longsor terjadi, meskipun gejala longsor dapat diketahui sebelum kejadian. Longsoran rotasi mudah terjadi pada tanah kohesif atau berbutir halus dan pada saat jenuh air, karena pada saat tersebut harga kuat geser dan kohesi terendah. Pada prinsipnya, tanah longsor terjadi bila gaya pendorong pada lereng lebih besar dari pada gaya penahan. Keadaan ini dikontrol oleh morfologi (kemiringan lereng), jenis dan kondisi batuan ataupun tanah penyusun lereng, dan kondisi hidrologi atau tata air pada lereng. Meskipun suatu lereng rentan atau berpotensi longsor, karena kondisi kemiringan lereng, batuan/tanah dan tata airnya, namun lereng tersebut belum akan longsor atau terganggu kestabilannya tanpa dipicu oleh proses pemicu.

(4) Pergerakan Blok (*Slide*)

Pergerakan blok adalah perpindahan batuan yang bergerak pada bidang gelincir berbetuk rata. Geraka tanah ini disebut juga longsoran translasi blok batu.

(5) Rayapan Tanah (*Creep*)

Rayapan tanah adalah jenis tanah longsor yang bergerak lambat. Jenis tanahnya berupa batuan kasar dan halus. Jenis tanah longsor ini hampir tidak dapat dikenali. Setelah waktu yang cukup lama, longsor jenis rayapan ini bisa menyebabkan tiang-tiang telepon, pohon atau rumah miring ke bawah.

(6) Runtuhan (*Falls*)

Runtuhan (*falls*) adalah runtuhnya/jatuhnya sebagian massa batuan atau tanah penyusun lereng yang terjal, dengan sedikit atau tanpa disertai terjadinya pergeseran antara massa yang runtuh dengan massa yang tidak runtuh. Hal ini berarti runtuhnya massa batuan atau tanah umumnya dengan cara jatuh bebas, meloncat atau menggelinding tanpa melalui bidang gelincir.

2.2.3 Faktor-faktor Penyebab Gerakan Tanah

Faktor penyebab gerakan tanah merupakan fenomena yang mengkondisikan suatu lereng menjadi berpotensi untuk bergerak atau longsor. Lereng yang berpotensi untuk bergerak ini baru akan bergerak apabila ada gangguan yang memicu terjadinya gerakan. Faktor-faktor penyebab ini umumnya merupakan fenomena alam (meskipun ada yang bersifat non alamiah), sedangkan gangguan pada lereng atau faktor penyebab dapat berupa proses alamiah atau pengaruh dari aktivitas manusia ataupun kombinasi antara keduanya. Faktor-faktor yang mempengaruhi longsor tanah dapat dikelompokkan menjadi 2, yaitu faktor yang bersifat pasif dan faktor yang bersifat aktif (Noor, 2012).

(1) Faktor yang bersifat pasif pada longsor tanah adalah:

- a) Litologi: material yang tidak terkonsolidasi atau rentan dan mudah meluncur karena basah akibat masuknya air ke dalam tanah.
- b) Susunan batuan (stratigrafi): perlapisan batuan dan perselingan batuan antar batuan lunak dan batuan keras atau perselingan antara batuan permeable dan batuan impermeable.

- c) Struktur geologi: jarak antara rekahan/*joint* pada batuan, patahan, zona hancuran, bidang foliasi dan kemiringan lapisan batuan yang besar.
- d) Topografi: lereng yang terjal atau vertikal.
- e) Material organik: lebat atau jarangya vegetasi.

(2) Faktor yang bersifat aktif pada longsoran tanah adalah:

- a) Gangguan yang terjadi secara alamiah atau buatan seperti gempabumi, dll.
- b) Kemiringan lereng yang menjadi terjal karena aliran air.
- c) Pengisian air ke dalam tanah yang melebihi kapasitasnya, sehingga tanah menjadi jenuh air.
- d) Getaran-getaran tanah yang diakibatkan oleh seismitas atau kendaraan berat.

2.3 Gempabumi

Dalam penelitian ini, potensi longsor yang didapatkan adalah karena faktor gempabumi. Gempabumi adalah pergerakan tiba-tiba permukaan bumi. Gempabumi dapat diakibatkan oleh pergerakan lempeng tektonik atau aktivitas vulkanik gunung berapi. Di permukaan bumi, getaran tersebut dapat menimbulkan korban jiwa. Getaran gempa juga dapat memicu terjadinya tanah longsor, runtuh batuan dan kerusakan tanah lainnya yang merusak pemukiman penduduk.

Setiap kejadian gempabumi akan menghasilkan informasi seismik berupa rekaman sinyal berbentuk gelombang yang setelah melalui proses manual atau non manual akan menjadi data bacaan fase (*phase reading data*). Informasi

seismik selanjutnya mengalami proses pengumpulan, pengolahan dan analisis sehingga menjadi parameter gempabumi. Parameter gempabumi tersebut meliputi:

(1) Episenter

Episenter (*epicentre*) adalah hasil proyeksi hiposenter ke permukaan bumi, atau dapat disebut juga sebagai titik di permukaan bumi yang didapat dengan menarik garis melalui fokus tegak lurus pada permukaan bumi. Tempat di permukaan bumi yang letaknya terdekat terhadap hiposenter. Letak episenter tegak lurus terhadap hiposenter dan sekitar daerah ini pada umumnya merupakan wilayah yang paling besar merasakan getaran gempabumi. Daerah sekitar episenter yang terhebat menderita kerusakan akibat gempabumi dinamakan *macroseisme* yang dibatasi oleh suatu garis yang disebut *pleistosiste*.

(2) Hiposenter

Hiposenter (*hypocentre*) adalah pusat gempabumi, yaitu tempat terjadinya perubahan lapisan batuan atau dislokasi di dalam bumi sehingga menimbulkan gempabumi.

(3) Magnitudo

Magnitudo adalah besaran yang berhubungan dengan kekuatan gempa di sumbernya, biasanya diukur dalam satuan Skala Richter.

(4) *Origin Time*

Origin time adalah waktu tiba gempabumi.

2.4 Gelombang Seismik

Gelombang seismik adalah gelombang yang merambat baik di dalam maupun di permukaan yang berasal dari sumber seismik seperti dari sumber

gempa, aktivitas tektonik maupun aktivitas manusia lainnya. Penjalaran gelombang seismik menembus struktur lapisan bumi bergantung pada sifat elastisitas batuan yang dilaluinya.

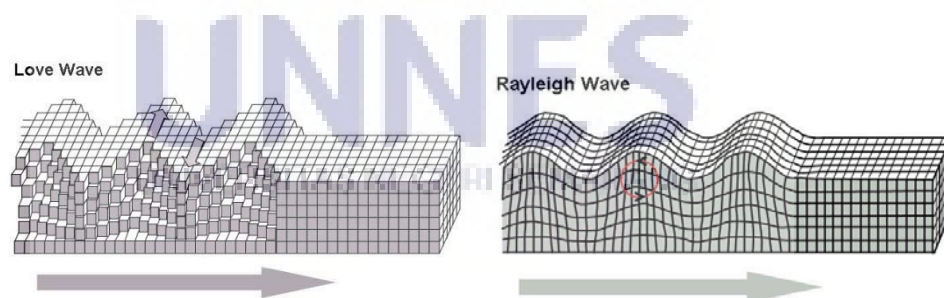
Gelombang seismik atau gelombang elastik terdiri atas dua jenis, yaitu gelombang tubuh (*body wave*) dan gelombang permukaan (*surface wave*). Metode seismik memanfaatkan penjalaran gelombang seismik ke dalam bumi. Objek perhatian utama pada rekaman gelombang seismik dalam metode ini ialah *body wave* yang terdiri dari gelombang primer (*P*) dan sekunder (*S*). Gelombang ini merupakan gelombang yang energinya ditransfer melalui medium di dalam bumi. Sedangkan pada *surface wave* transfer energinya pada permukaan bebas, tidak terjadi penetrasi ke dalam medium bumi dan hanya merambat di permukaan bumi saja.

2.3.1 Gelombang Badan (*Body wave*)

Gelombang badan merupakan gelombang menjalar melalui bagian dalam bumi dan biasanya disebut *free wave* karena dapat menjalar ke segala arah di dalam bumi. Gelombang badan terdiri dari gelombang *P* dan gelombang *S*. Gelombang *P* merupakan gelombang longitudinal atau gelombang kompresional, gerakan partikel sejajar dengan arah perambatannya. Gelombang *S* merupakan gelombang transversal atau gelombang *shear* yang gerakan partikelnya tegak lurus dengan arah perambatannya. Gelombang *S* memiliki kecepatan yang lebih rendah dibandingkan dengan gelombang *P*, sehingga terdeteksi oleh seismograf setelah gelombang *P* (Braile, 2011).

2.3.2 Gelombang Permukaan

Gelombang Permukaan merupakan gelombang yang zona rambatannya berada di kerak bumi. Gelombang ini memiliki frekuensi yang lebih rendah dibandingkan dengan gelombang badan. Gelombang permukaan dibedakan menjadi dua, yaitu gelombang *love* dan gelombang *rayleigh*. Gelombang *love* merupakan gelombang yang arah gerakan partikel berada pada sumbu horizontal dan tidak menghasilkan perpindahan pada sumbu vertikal. Pergerakan partikel gelombang *love* sejajar dengan permukaan tetapi tegak lurus dengan arah rambatnya. Gelombang *love* lebih cepat dibandingkan gelombang *rayleigh* dan lebih dulu sampai pada seismograf. Gelombang *rayleigh* merupakan gelombang yang gerakan partikelnya membentuk ellips. Gelombang *rayleigh* dihasilkan oleh gelombang datang *P* dan gelombang datang *S* yang berinteraksi pada permukaan bebas dan merambat sejajar pada permukaan tersebut (Braile, 2011). Ilustrasi gerak partikel gelombang *love* dan gelombang *rayleigh* ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Gelombang *Love* dan Gelombang *Rayleigh*

2.5 Mikroseismik

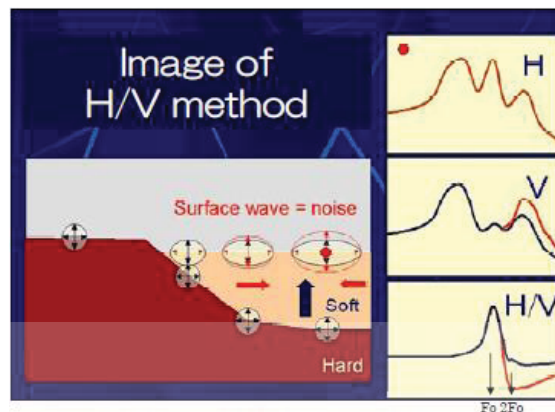
Struktur bawah permukaan dapat diketahui dengan pengukuran mikroseismik. Mikroseismik merupakan getaran lemah di permukaan bumi yang

berlangsung terus menerus akibat adanya sumber getaran seperti aktivitas tektonik, gempa bumi, aktivitas manusia, industri dan lalu lintas (Daryono, 2009). Data mikroseismik yang terukur adalah 3 sinyal yang komponennya adalah komponen vertikal (*Up-Down*), horizontal (*North-South*), dan horizontal (*East-West*). Setelah didapatkan sinyal kemudian dianalisis menggunakan metode HVSR untuk mengetahui nilai frekuensi dominan dan amplifikasi. HVSR merupakan metode geofisika yang dapat menggambarkan kerentanan lapisan tanah permukaan terhadap deformasi saat terjadi gempa bumi (Nakamura, 2008).

2.5.1 Analisis Data Mikroseismik

2.5.1.1 Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR)

Metode analisis HVSR pertama kali dikembangkan oleh Nakamura pada tahun 1989. Metode HVSR digunakan untuk menghitung rasio spektrum dari sinyal mikrotremor komponen horizontal terhadap komponen vertikalnya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4. Hasil analisis HVSR menunjukkan suatu puncak spektrum pada frekuensi natural (Nakamura, 1989). Frekuensi natural dan amplifikasi menggambarkan karakteristik dinamis tanah yang dihasilkan dari analisis HVSR (Nakamura, 2000). Herak (2008) juga menjelaskan bahwa nilai frekuensi natural dan amplifikasi pada permukaan suatu daerah berkaitan dengan parameter fisik bawah permukaan daerah tersebut.



Gambar 2.4 Penggambaran metode HVSR (Nakamura, 2008)

Teknik HVSR menyatakan adanya hubungan antara perbandingan spektrum H/V sebagai fungsi frekuensi yang berhubungan erat dengan fungsi *site transfer* dari gelombang *S* (Nakamura, 1989). *Site effect* pada lapisan sedimen di permukaan biasanya digambarkan dengan cara membandingkan spektrum antara komponen horisontal rekaman seismogram pada lapisan tanah sedimen atau alluvial dengan komponen horisontal rekaman seismogram pada batuan keras.

Nakamura (2000) membagi gelombang seismik menjadi dua yaitu gelombang *Rayleigh* dan gelombang badan, dimana gelombang *Rayleigh* termasuk kedalam gelombang permukaan yang merambat melalui batuan dasar seperti pada Gambar 2.5. Berdasarkan hal tersebut maka persamaan *H/V* dapat ditulis sebagai berikut:

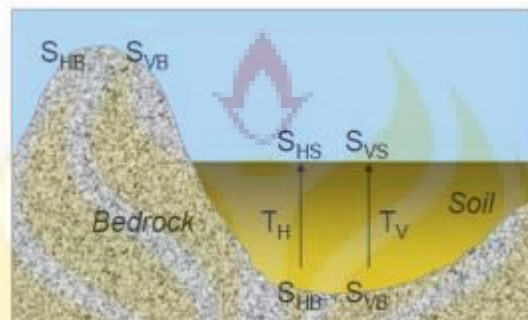
$$H_f = A_H S_{HB} + S_{HS} \quad (2.1)$$

$$V_f = A_V S_{VB} + S_{VS} \quad (2.2)$$

sehingga

$$H/V = \frac{H_f}{V_f} = \frac{A_H S_{HB} + S_{HS}}{A_V S_{VB} + S_{VS}} \quad (2.3)$$

dimana H_f dan V_f adalah komponen horisontal dan vertikal; gelombang mikroseismik, H/V menggambarkan puncak dari frekuensi natural (f_0). A_H dan A_V faktor amplifikasi gelombang badan, S_{HB} dan S_{VB} adalah spektrum gerak horisontal dan vertikal di batuan dasar/*bedrock*. Sedangkan S_{HS} dan S_{VS} adalah spektrum gerak horisontal dan vertikal di permukaan tanah atau lapisan sedimen.



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

Menurut Nakamura (2000), *site effect* (T_{site}) ditentukan berdasarkan perbandingan faktor amplifikasi gerakan horisontal (T_h) dan vertikal (T_v) dari permukaan tanah yang terkena batuan dasar.

$$T_H = \frac{S_{HS}}{S_{HB}} \quad (2.4)$$

$$T_V = \frac{S_{VS}}{S_{VB}} \quad (2.5)$$

sehingga

$$T_{site} = \frac{T_H}{T_V} = \frac{H_f S_{VB}}{S_{HB} V_f} \quad (2.6)$$

Dari Persamaan (2.1) dan (2.2) *site effect* atau efek lokal sangat dipengaruhi oleh perambatan gelombang mikroseismik yang dipengaruhi oleh kondisi geologi setempat. Nakamura (2000) juga mengasumsikan bahwa data mikroseismik tersusun atas beberapa jenis gelombang *Rayleigh* yang merambat pada lapisan

sedimen di atas batuan dasar. Efek gelombang *Rayleigh* pada mikroseismik terdapat pada spektrum komponen vertikal di lapisan sedimen permukaan, tetapi tidak terdapat pada spektrum komponen vertikal di batuan dasar. Komponen vertikal mikroseismik tidak teramplifikasi oleh lapisan sedimen ($A_v = 1$) di permukaan tanah. Daryono & Prayitno (2009) juga menambahkan efek gelombang *Rayleigh* pada rekaman mikroseismik adalah ekuivalen untuk komponen yang terekam. Untuk rentang frekuensi (0,2 - 20 Hz) rasio spektrum antara komponen horisontal dan vertikal di batuan dasar mendekati nilai satu ($\frac{S_{VB}}{S_{HB}} \approx 1$). Pada kondisi tersebut rasio spektrum antara komponen horisontal dan vertikal dari gelombang mikrotremor yang terekam di permukaan memungkinkan efek gelombang *Rayleigh* pada batuan dasar untuk dieliminasi, sehingga menyisakan efek yang disebabkan oleh kondisi geologi lokal, oleh karena itu persamaan (2.6) menjadi

$$T_{site} = \frac{H_f}{V_f} = \frac{\sqrt{(\text{komponen utara-selatan})^2 + (\text{komponen barat-timur})^2}}{\text{komponen vertikal}} \quad (2.7)$$

Persamaan (2.7) sama dengan konsep dari persamaan (2.3), dimana komponen horisontal dan komponen vertikal dipengaruhi oleh amplifikasinya. Hasil dari kurva HVSR adalah frekuensi natural dan amplifikasi, dimana frekuensi natural adalah frekuensi dominan yang terdapat pada daerah tersebut dan amplifikasinya adalah besarnya penguatan gelombang pada saat melalui medium tertentu. Nilai frekuensi natural dapat mempresentasikan jenis tanah berdasarkan tabel klasifikasi tanah yang ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Tabel klasifikasi tanah berdasarkan nilai frekuensi natural mikroseimik 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 pasir berkerikil keras (<i>hard sandy gravel</i>)	Ketebalan lapisan sedimen permukaannya tipis, didominasi oleh batuan keras
Jenis II	10 – 4	Batuan alluvial dengan ketebalan 5m. Terdiri dari pasir berkerikil (<i>sandy gravel</i>), lempung keras berpasir (<i>hard sandy clay</i>), tanah liat, lempung (<i>loam</i>) dan sebagainya.	Ketebalan lapisan sedimen permukaannya masuk dalam kategori menengah, yaitu 5-10 meter.
Jenis III	2,5 – 4	Batuan alluvial yang hampir sama dengan tanah jenis II, hanya dibedakan oleh adanya formasi yang belum diketahui (<i>buff formation</i>)	Ketebalan sedimen permukaannya masuk dalam kategori tebal, yaitu sekitar 10-30 meter.
Jenis IV	<2,5	Batuan alluvial yang terbentuk dari sedimentasi delta, top soil, lumpur, tanah lunak humus, endapan delta atau endapan lumpur dll, yang tergolong kedalam tanah lembek, dengan kedalaman 30m	Ketebalan sedimen permukaannya sangatlah tebal.

2.5.1.2 Ketebalan Lapisan Sedimen

Ketebalan lapisan sedimen menggambarkan ketebalan lapisan yang lunak atau lapuk pada lapisan permukaan tanah di atas batuan dasar. Ketebalan lapisan sedimen mempengaruhi kecepatan dari penjaralan gelombang badan. Menurut Nakamura (2008) ketebalan lapisan sedimen (h) berhubungan dengan frekuensi natural (f_0) dan kecepatan gelombang S pada permukaan (V_s), sehingga dapat dirumuskan persamaan sebagai berikut:

$$h = \frac{V_s}{4f_o} \quad (2.8)$$

Nilai kecepatan gelombang $S(V_s)$ di permukaan ditentukan berdasarkan data dari *United State Geological Survey* (USGS) dengan memasukkan koordinat pengambilan data (Putra *et al.*, 2104). Menurut Nurahmi (2015) gelombang S di permukaan tanah merupakan gelombang geser yang terjadi hingga kedalaman 30 m (V_{s30}) yang dapat mendeformasikan lapisan batuan.

2.5.1.3 Percepatan Tanah Maksimum atau Peak Ground Acceleration (PGA)

Percepatan tanah maksimum (PGA) adalah nilai percepatan getaran tanah terbesar yang dapat terjadi di suatu tempat yang diakibatkan oleh gelombang gempabumi. Percepatan tanah maksimum di suatu tempat yang disebabkan oleh getaran seismik bergantung pada perambatan gelombang seismik dan karakteristik lapisan tanah di tempat tersebut (Kanai & Tanaka, 1961). Sifat-sifat lapisan tanah ditentukan oleh periode natural tanah dari lapisan tanah tersebut bila ada getaran seismik. Periode getaran seismik (T) dan periode natural tanah (T_o) akan mempengaruhi besarnya percepatan batuan pada lapisan batuan dasar dan pada lapisan permukaan. Perbedaan kecepatan perambatan gelombang seismik pada batuan dasar dengan kecepatan perambatan gelombang seismik pada permukaan tanah akan menentukan faktor perbesaran $G(T)$ (Edwiza *et al.*, 2008).

Menurut Ozaki (1977) jika nilai periode getaran seismik (T) dan periode natural tanah (T_o) sama maka akan terjadi resonansi, sehingga percepatan tanah akan mengalami penguatan yang disebut dengan percepatan tanah maksimum. Berdasarkan hal tersebut, Kanai (1966) memformulasikan persamaan empiris

percepatan tanah maksimum dalam Douglas (2011) yang dirumuskan sebagai berikut.

$$a_{max} = G(T)a_0 \quad (2.9)$$

dengan

$$a_0 = \frac{1}{T} 10^{(0,61M) - (1,66 + \frac{3,6}{R}) \log R + (0,167 - \frac{1,83}{R})} \quad (2.10)$$

$$G(T) = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \left(\frac{T}{T_0}\right)^2\right)^2 + \left(\frac{0,2T}{\sqrt{T_0 T_0}}\right)^2}} \quad (2.11)$$

dengan : a_0 = Percepatan tanah (*gal*)

a_{max} = Percepatan tanah maksimum titik pengamatan (*gal*)

T_0 = Periode predomnan titik pengamatan (*s*)

M = Magnitudo Gempa (Skala *Richter*)

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 natural tanah dari lapisan sedimen yang akan diperkuat (Edwiza *et al.*, 2008). Pada kondisi resonansi, maka Persamaan (2.12) menjadi:

$$a_{max} = \frac{5}{\sqrt{T_0}} 10^{(0,61M) - (1,66 + \frac{3,6}{R}) \log R + (0,167 - \frac{1,83}{R})} \quad (2.12)$$

Menurut Gutenberg & Richter (1942) terdapat hubungan antara nilai percepatan tanah maksimum dengan skala intensitas gempa (I_{MM}) dalam MMI

(*Modified Mercalli Intensity*) yang kemudian dirumuskan dengan persamaan empiris sebagai berikut.

$$I_{MM} = 3 \log a_{max} + 5 \quad (2.13)$$

Intensitas gempa menyatakan kekuatan gempa yang dirasakan di suatu tempat (di permukaan) dan ditentukan dari efek langsung guncangan gempa, misalnya terhadap topografi, bangunan dan sebagainya. Besarnya nilai percepatan tanah maksimum dan intensitas sangat bergantung pada besarnya magnitudo gempa, jarak dari sumber gempa dan faktor dari geologi daerah terkena gempa, sehingga nilainya relatif berbeda-beda di setiap daerah. Berdasarkan skala MMI tingkat intensitas gempa dan dampaknya diklasifikasikan menjadi beberapa tingkat seperti ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Skala nilai intensitas gempa berdasarkan dampak dan percepatan tanah maksimum (USGS, 2017)

Intensitas	Efek	PGA (gal)
I	Tidak terasa	Kurang dari 1
II	Dirasakan oleh orang yang beristirahat terutama ditingkat-tingkat atas bangunan atau tempat tinggi	1-2
III	Terasa di dalam rumah, seakan akan ada truk lewat tetapi banyak yang tidak menyangka ada gempabumi	2-5
IV	Terasa di dalam rumah seperti ada truk lewat atau terasa seperti ada barang berat yang menabrak dinding rumah. Barang-barang yang tergantung bergoyang-goyang, jendela dan pintu bergetar, barang pecah belah pecah, gelas-gelas gemerincing, dinding dan rangka rumah berbunyi	5-10
V	Dapat dirasakan diluar rumah. Orang tidur terbangun, cairan tampak bergerak-gerak dan tumpah sedikit. Barang perhiasan rumah yang kecil dan tidak stabil bergerak atau jatuh. Pintu-pintu terbuka tertutup, pigura-pigura dinding bergerak, lonceng bandul berhenti atau mati atau tidak cocok jalannya.	10-25

VI	<p>Terasa oleh semua orang. Banyak orang lari ke luar karena terkejut. Orang yang sedang berjalan kaki terganggu. Jendela berderit, gerabah, barang pecah-belah pecah, barang-barang kecil dan buku jatuh dari raknya, gambargambar jatuh dari dinding. Mebel-mebel bergerak atau berputar. Plester dinding yang lemah pecah-pecah. Lonceng-lonceng gereja berbunyi, pohon-pohon terlihat bergoyang.</p>	25-50
VII	<p>Dapat dirasakan oleh sopir yang sedang mengemudi mobil. Orang yang sedang berjalan kaki sulit untuk berjalan dengan baik, cerobong asap yang lemah pecah. Langit-langit dan bagian-bagian konstruksi pada tempat yang tinggi rusak. Tembok yang tidak kuat pecah, plester tembok dan batu-batu tembok yang tidak terikat kuat jatuh. Terjadi sedikit pergeseran dan lekukan-lekukan pada timbunan pasir dan batu kerikil. Air menjadi keruh lonceng-lonceng besar berbunyi, selokan irigasi rusak.</p>	50-100
VIII	<p>Mengemudi mobil terganggu. Terjadi kerusakan pada bangunan-bangunan yang kuat karena terdapat bagian-bagian yang runtuh. Kerusakan terjadi pada tembok-tembok yang dibuat tahan terhadap getaran-getaran horisontal dan beberapa bagian tembok runtuh. Cerobong asap, monumen-monumen, menara-menara, dan tangki air yang berada di atas berputar atau jatuh. Rangka rumah berpindah dari fondasinya. Dinding-dinding yang tidak terikat baik jatuh atau terlempar. Ranting-ranting pohon patah dari dahannya. Tanah yang basah dan lereng yang curam terbelah</p>	100-250
IX	<p>Publik menjadi panik. Bangunan yang tidak kuat hancur. Bangunan yang kuat mengalami kerusakan berat. Fondasi dan rangka bangunan rusak. Pipa dalam tanah putus. Tanah merekah. Di daerah aluvium pasir dan lumpur keluar dari dalam tanah.</p>	250-500
X	<p>Pada umumnya semua tembok, rangka rumah dan fondasi rusak. Beberapa bangunan dari kayu yang kuat dan jembatan-jembatan rusak. Kerusakan berat terjadi pada bendungan-bendungan, tanggul-tanggul dan tambak-tambak. Terjadi tanah longsor yang besar. Air dalam kolam, sungai dan danau tumpah/muncrat. Terjadi perpindahan tempat secara horisontal di daerah pantai dan di daerah-daerah yang permukaan tanahnya rata. Jalur-jalur kereta api menjadi sedikit bengkok.</p>	500-1000

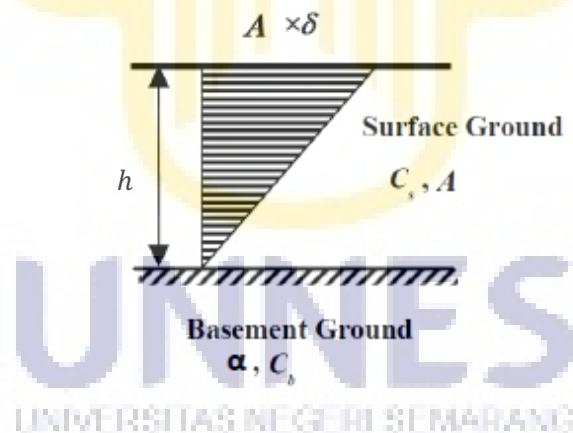
2.5.1.3 Ground Shear Strain (γ)

Menurut Nakamura (2008) parameter yang mempengaruhi nilai *ground shear strain* (γ) adalah kerentanan gempa (*Kg*) yang disebabkan oleh deformasi

lapisan permukaan (δ) dan percepatan gelombang seismik pada batuan dasar (α) yang mengalami penguatan jika merambat pada medium yang densitasnya lebih rendah dalam hal ini adalah lapisan tanah permukaan.

Ground shear strain pada lapisan tanah permukaan menggambarkan kemampuan material lapisan tanah untuk saling meregang atau bergeser saat terjadi gempa bumi. *Ground shear strain* dinotasikan dengan γ . Semakin besar nilai *ground shear strain* akan menyebabkan lapisan tanah semakin mengalami deformasi seperti likuifaksi, rekahan tanah maupun longsoran.

Persamaan kerentanan gempa pada dasarnya diperoleh berdasarkan nilai pergeseran atau deformasi permukaan tanah dan percepatan gelombang seismik di batuan dasar (Gambar 2.6)



Gambar 2.6 Pergeseran dari permukaan tanah (Nakamura, 2008)

Nilai *ground shear strain* permukaan tanah dapat dituliskan dalam persamaan berikut.

$$\gamma = A \frac{\delta}{h} \quad (2.14)$$

dimana A adalah amplifikasi, δ adalah deformasi lapisan permukaan tanah akibat gempa, dan h adalah ketebalan lapisan sedimen, dengan:

$$\delta = \left(\frac{a}{(2\pi f_0)^2} \right) \quad (2.15)$$

Jika Persamaan (2.15) disubstitusikan kedalam Persamaan (2.14), maka persamaan (2.14) menjadi:

$$\gamma = \frac{A}{h} \left(\frac{a}{(2\pi f_0)^2} \right) \quad (2.16)$$

Perhitungan nilai *ground shear strain* yang diharapkan adalah bernilai maksimum, maka percepatan tanah yang digunakan adalah percepatan tanah maksimum sehingga Persamaan (2.16) menjadi:

$$\gamma = \frac{A}{h} \left(\frac{a_{max}}{(2\pi f_0)^2} \right) \quad (2.17)$$

$$\gamma = \frac{A}{h} \frac{a_{max}}{4\pi^2 f_0^2} \quad (2.18)$$

Menurut Nakamura (1997) nilai *ground shear strain* pada permukaan tanah perlu diperhatikan. Pada umumnya, permukaan tanah yang memiliki nilai *ground shear strain* di atas 10^{-3} akan mengalami deformasi non-linear. Sementara itu, jika nilai *ground shear strain* lebih dari 10^{-2} maka lapisan tanah akan mengalami deformasi runtuh. Tabel 2.3 menjelaskan fenomena yang terjadi pada tanah berdasarkan nilai regang geser tanah.

Tabel 2.3 Tingkat *strain* dan dinamika tanah

Ukuran Strain	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}
Fenomena	Gelombang getaran		Rekahan, penurunan tanah		Tanah kompak, likuifaksi	longsor, tanah,
Bahan bergerak	Elastik		Elasto Plastisitas		Runtuh perulangan, kecepatan berproses	efek ketika berproses

Sumber : Nakamura, 1998

2.6 Kerangka Berpikir

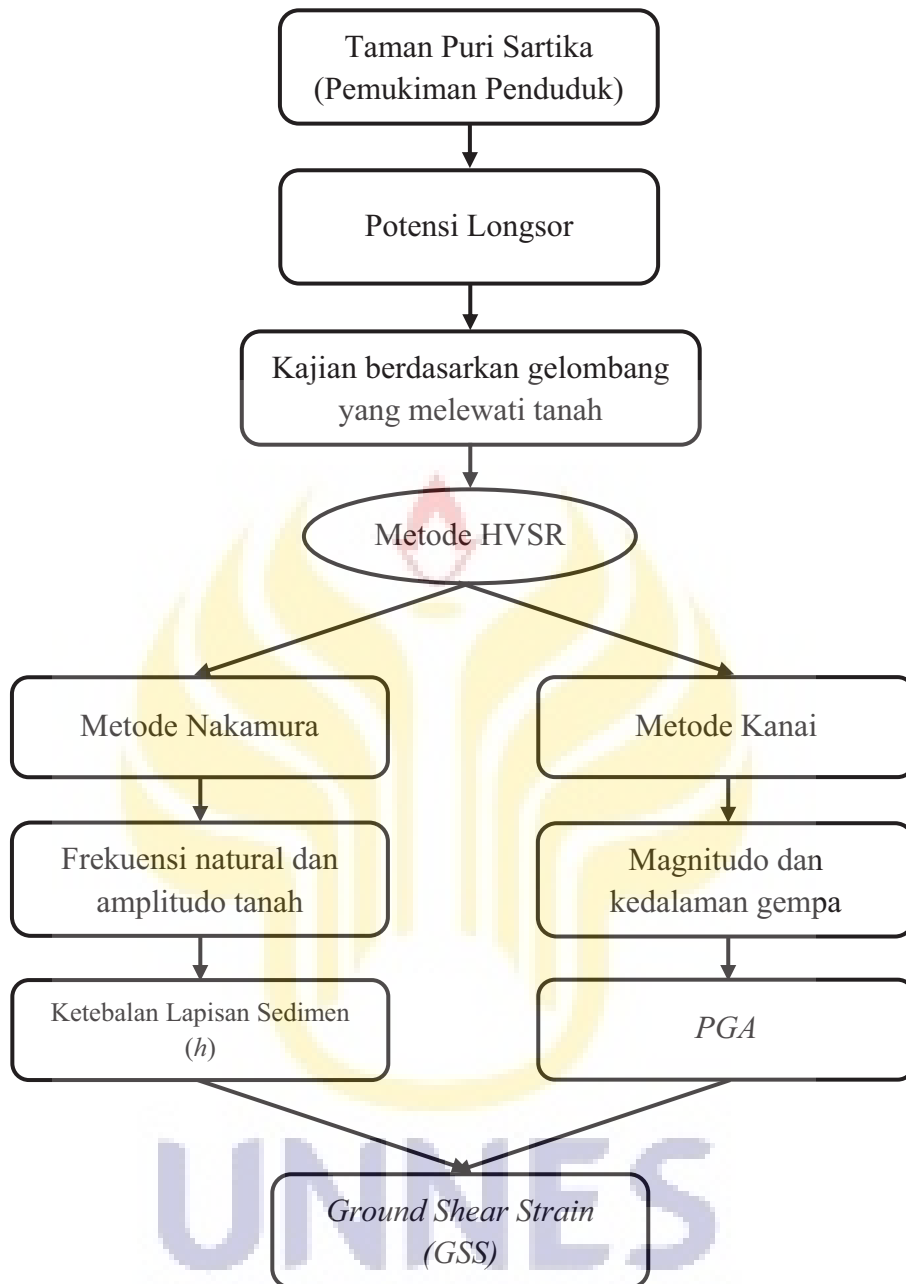
Tanah longsor merupakan bencana yang sering terjadi di daerah perbukitan maupun lereng terjal. Menurut beberapa penelitian, kecamatan Gunungpati merupakan salah satu daerah di Kota Semarang yang memiliki beberapa titik rawan longsor karena tanahnya yang labil serta kondisi topografinya yang miring seperti kelurahan Sukorejo. Daerah Sukorejo memiliki beberapa kawasan yang sudah banyak dibangun pemukiman penduduk salah satunya adalah Taman Puri Sartika. Banyak kerugian yang didapat jika di Taman Puri Sartika terjadi longsor seperti banyaknya rumah warga yang runtuh. Maka perlu dilakukan mitigasi bencana, salah satunya adalah dengan mengetahui persebaran titik-titik rawan longsor di daerah tersebut.

Ada banyak penyebab terjadinya tanah longsor, contoh yang paling dominan adalah gempa bumi. Nguyen *et al.* (2004) mengemukakan bahwa tingkat kerusakan akibat gempa bumi tidak hanya tergantung kepada besarnya magnitudo dan jaraknya dari pusat gempa bumi saja, tetapi kondisi geologi lokal juga sangat mempengaruhi kerusakan akibat gempa bumi tersebut yang kemudian dikenal dengan *local site effect*. Taman Puri Sartika terletak pada kondisi topografi yang miring, maka tidak menutup kemungkinan bahwa daerah tersebut dapat terjadi longsor.

Penggambaran fenomena akibat gempa bumi seperti longsor dapat dianalisis dengan nilai *ground shear strain*. Nilai tersebut menunjukkan kemampuan regang geser tanah pada saat terjadi gempa bumi dan dapat diketahui dengan metode HVSR. Semakin besar nilainya, maka potensi tanah bergerak atau bahkan longsor

akan semakin besar. Nilai *ground shear strain* memanfaatkan nilai ketebalan lapisan sedimen dan percepatan tanah maksimum. Ketebalan lapisan sedimen dapat dihitung dengan memanfaatkan frekuensi natural yang dihasilkan dari getaran alami tanah. Sedangkan percepatan tanah maksimum dihitung dengan persamaan Kanai yang memanfaatkan magnitudo dan kedalaman dari sumber gempa bumi di sekitar daerah penelitian. Metode HVSR cocok digunakan karena merupakan metode pasif dan tidak merusak struktur permukaan tanah atau bangunan.





Gambar 2.7 Kerangka berpikir penelitian

BAB 5

PENUTUP

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu:

- (1) Ketebalan lapisan sedimen di Taman Puri Sartika berkisar 8,5 m hingga 84 m yang terbentuk dari endapan alluvial berupa batupasir dan batulempung.
- (2) Nilai percepatan getaran tanah maksimum dengan menggunakan data gempa Tegal adalah 0,29-0,90 gal, data gempa Jepara adalah 0,73-5,25 gal dan data gempa Yogyakarta adalah 11-36 gal. Nilai tersebut belum tergolong nilai yang tinggi.
- (3) Nilai *ground shear strain* (γ) di Taman Puri Sartika adalah 10^{-5} dengan data gempa Tegal, 10^{-4} dengan data gempa Jepara dan 10^{-3} dengan data gempa Yogyakarta sehingga fenomena yang terjadi adalah gelombang getaran dan penurunan tanah.
- (4) Nilai *ground shear strain* yang dihasilkan dari pengukuran mikroseismik menggunakan tiga sumber gempa bumi belum menunjukkan adanya potensi tanah longsor. Namun dengan menggunakan data gempa Yogyakarta nilai *ground shear strain* mendekati nilai 10^{-2} sehingga titik-titik yang nilainya lebih tinggi perlu diwaspadai. Perbandingan nilai *ground shear strain* menunjukkan bahwa semakin besar magnitudo dan semakin kecil jarak atau

kedalaman episenter, maka nilai *shear strain* akan semakin tinggi pula sehingga tetap perlu waspada.

5.2 Saran

Mengacu pada hasil akhir penelitian, penulis mengajukan saran untuk penelitian berikutnya, diantaranya:

- (1) Perlu dilakukannya penelitian lanjutan untuk menentukan bidang miring atau bidang gelincir yang dapat dikorelasi dengan data mikroseismik sehingga data akan semakin kuat.
- (2) Pengukuran mikroseismik sebaiknya dilakukan di permukaan dengan struktur tanah yang sama. Selain itu sebaiknya dilakukan pada tanah yang tidak terlalu padat maupun terlalu gembur dan diusahakan meminimalisir gangguan seperti kendaraan atau sumber getaran lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, S.S., B.S. Mulyanto, Marjiyono, & Satianegara. 2012. Penentuan Zona Rawan Guncangan Bencana Gempa Bumi berdasarkan Analisis Nilai Amplifikasi HVSR Mikrotremor dan Analisis Periode Dominan Daerah Liwa dan Sekitarnya. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, Vol. 2(1).
- Braile, L. 2011. Making Waves: Seismic Waves Activities and Demonstrations. Abstract. *American Geophysical Union*.
- Daryono & B. S. Prayitno. 2009. *Data Mikrotremor dan Pemanfaatannya untuk Pengkajian Bahaya Gempabumi*. Yogyakarta: BMKG.
- Daryono. 2011. *Indeks Kerentanan Seismik berdasarkan Mikrotremor pada Setiap Satuan Bentuk Lahan di Zona Graben Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta*. Disertasi. Program Pascasarjana Fakultas Geografi Universitas Gajah Mada. Yogyakarta
- Douglas, J. 2011. *Ground-Motion Prediction Equations 1964-2010*. BRGM/RP-59356-FR.
- Edwiza, D., & S. Novita. 2008. Pemetaan Percepatan Tanah Maksimum dan Intensitas Seismik Kota Padang Panjang menggunakan Metode Kanai. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Andalas*, Vol. 2(29).
- 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.
- Gutenberg, B., & C.F. Richter. 1942. Earthquake Magnitude, Intensity, energy, and Acceleration. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 32(3).
- Herak, M. 2008. ModelHVSR: a Matlab Tool to Model Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio of Ambient Noise. *Computers and Geosciences*, Vol 34(11).
- Kanai K. & Tanaka. 1961. *On Microtremors. VII, Bull. Earth. Res. Inst.*, University of Tokyo, Japan
- Kanai K. 1966. Improved empirical formula for characteristics of stray [sic] earthquake motions. *Proceedings of the Japanese Earthquake Symposium*. Not seen. Reported in Trifunac & Brady (1957)
- Nakamura, Y. 1989. A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface. Japan: *Quarterly Report of Railway Technical Research Institute (RTRI)*, Vol.30(1).

- Nakamura, Y. 1997. Seismic Vulnerability Indices for Ground and Structures using Microtremor. *Worlds Congress on Railway Research: Florence*.
- 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. 2001. Inventory Development for Natural and Built Environments: Use of Seismic Motion and Microtremor for Vulnerability Assessment. *4th EQTAP Workshop in Kamakura*.
- Nakamura, Y. 2008. On The H/V Spectrum. China: *The 14th World Conference on Earthquake Engineering*.
- Noor, Djauhari. 2012. *Pengantar Mitigasi Bencana Geologi*. Yogyakarta: Deepublish. Hal. 132.
- Nguyen, F., H. Teerlynck, G. Van Rompaey, M. Van Camp, D. Jongmans, & T. Camelbeeck. 2004. Use of microtremor measurement for assessing site effects in Northern Belgium-interpretation of the observed intensity during the Ms5.0. June 11, 1938 Earthquake. *Journal of Seismology*. Vol. 8(1).
- Nurrahmi, R.E., & Sandra. 2015. Analisis Kecepatan Gelombang Geser Vs30 Menggunakan Metode Refraksi Mikrotremor (ReMi) di Kelurahan Talise. *Jurnal Gravitasi* Vol. 14(1).
- Oliveira, CS., Roca, A. and Goula, X. 2006. *Assessing And Managing Earthquake Risk*. Springer: Netherland.
- Ozaki, M., Y. Kitagawa, and S. Hattori. 1977. Study on Regional Distribution of Maximum Earthquake Motions in Japan. *Proceeding of Ninth Joint UJNR Panel Conference "Wind and Seismic Effect"*.
- Partono, W., M. Irsyam, S.P.R. Wardani, & S. Maarif. 2015. Persepsi Pengembangan Peta Rawan Gempa Kota Semarang melalui Penelitian Hazard Gempa Deterministik. *Jurnal Teknik Universitas Diponegoro*, Vol. 36(1).
- Putra, D.M.A., N.B. Wibowo, & D. Darmawan. 2014. Indeks Kerentanan Seismik Kabupaten Kulon Progo Berdasarkan Data Mikrotremor. *Prosiding Seminar Nasional Fisika dan Pendidikan Fisika*, ISBN : 978-602-99834-6-3. Yogyakarta.
- 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. *13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C. Canada*, No. 905.

- 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
- Slob, S. 2007. *Micro Seismic Hazard Analysis, Earthquake Vulnerability and Multi-Hazard Risk Assessment: Geospatial Tools for Rehabilitation and Reconstruction Efforts*, ITC The Netherlands.
- Sulistiawan, H. 2016. *Analisis Seismic Hazard berdasarkan Data Peak Ground Acceleration (PGA) dan Kerentanan Gempa menggunakan Metode Mikroseismik di Daerah Kampus UNNES Sekaran, Gunungpati, Kota Semarang*. Skripsi. Semarang: FMIPA Universitas Negeri Semarang.
- Sunardi, B., dkk. 2012. Kajian Potensi Bahaya Gempa Bumi Daerah Sumbawa berdasarkan Efek Tapak Lokal. *Jurnal Badan Meteorologi dan Geofisika*, Vol. 13(2).
- USGS. *The Modified Mercalli Intensity Scale*. <http://earthquake.usgs.gov/learn/topics/mercalli.php>. Diakses: 1 Maret 2017.
- Varnes, D. J. 1978. *Slope Movement and Types of Processes in Landslides, Analysis and Control Transportation Research Board*. National Academy of Sciences, Washington D.C.
- Wangsadinata, W. (2006). Perencanaan Bangunan Tahan Gempa Berdasarkan SNI 1726-2002. *Shortcourse HAKI 2006*. Jakarta
- Warnana, D.D., R.A.A. Soemitro, & W. Utama. 2011. Application of Microtremor HVSR Method for Assessing Site Effect in Residual Soil Slope. *International Journal of Basic & Applied Scienses IJBA-IJENS*. Vol. 11(4).
- Windraswara, R & Widowati, E. 2010. Penerapan Cbdp (Community Based Disaster Preparadness) dalam Mengantisipasi Bencana Tanah Longsor di Kecamatan Gunungpati Kota Semarang. *Jurnal Unnes Rekayasa* Vol. 8(2).