



TUGAS AKHIR - SF 141501

**ANALISA POTENSI LONGSOR
MENGUNAKAN METODE *HORIZONTAL TO
VERTICAL SPECTRAL RATIO* DARI DATA
MIKROTREMOR DI DAERAH JALAN RAYA
TRENGGALEK-PONOROGO KM 23**

Aulia'ur Rohman
NRP 01 1113 40000 009

Dosen Pembimbing
Dr. Sungkono, M.Si.

Departemen Fisika
Fakultas Ilmu Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



FINAL PROJECT - SF 141501

**LANDSLIDE POTENTIAL ANALYSIS USING
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL
RATIO METHOD FROM MICROTREMOR
DATA IN HIGHWAY AREA OF
TRENGGALEK-PONOROGO KM 23**

**Aulia'ur Rohman
NRP 01 1113 40000 009**

**Advisor
Dr. Sungkono, M.Si.**

**Department of Physics
Faculty of Natural Science
Tenth Nopember of Technology Institute
Surabaya 2018**

LEMBAR PENGESAHAN

Analisa Potensi Longsor Menggunakan Metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* dari data Mikrotremordi Daerah Jalan Raya Trenggalek-Ponorogo KM-23

TUGAS AKHIR

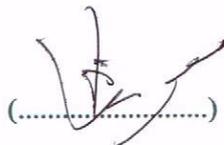
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Sains pada:
Program Sarjana Departemen Fisika
Fakultas Ilmu Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

AULIA'UR ROHMAN
NRP. 01 1113 40000 009

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing 1
Dr. Sungkono, M.Si.



Analisa Potensi Longsor Menggunakan Metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* dari data Mikrotremor di Daerah Jalan Raya Trenggalek-Ponorogo KM-23

Nama Mahasiswa : Aulia'ur Rohman
NRP : 01 1113 40000 009
Jurusan : Departemen Fisika FIA, ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Sungkono, M. Si.

ABSTRAK

Pada perbatasan wilayah Ponorogo-Trenggalek KM 23 sebagian besar didominasi oleh deretan gunung api kuartar. Sehingga, banyak sekali pegunungan, tebing, dan lereng yang curam pada sekitar Jalan Raya Trenggalek-Ponorogo KM 23. Kondisi tersebut mengakibatkan seringnya kejadian longsor yang dapat terjadi sewaktu-waktu. Dengan menggunakan data Mikrotremor metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* dapat diketahui besarnya nilai Indeks Kerentanan Tanah (Kg) yang terdapat di daerah penelitian. Selanjutnya, nilai kerentanan tanah tersebut dikorelasikan dengan nilai percepatan getaran minimum di bawah permukaan. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa daerah dengan adanya retakan dan patahan memiliki nilai kerentanan tanah yang tinggi dan nilai percepatan getaran minimum yang rendah.

Kata Kunci : *Horizontal to vertical spectral ratio, Indeks kerentanan tanah, Mikrotremor, dan Percepatan getaran minimum.*

Landslide Potential Analysis Using *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* method from Microtremor Data in Highway Area of Trenggalek-Ponorogo KM-23

Student's Name : Aulia'ur Rohman
NRP : 01 1113 40000 009
Departmen : Departemen Fisika FIA, ITS
Advisor : Dr. Sungkono, M. Si.

ABSTRACT

In the border zone of Trenggalek and Ponorogo (KM23) is dominated by quarter volcanoes therefore several geological structures such as mountainous area, cliff and steep slope in those area. These geological condition causes the stability of slope in the area is low and the landslide can be occurred at any moment. By using data of microtremor Horizontal to Vertical Spectral Ratio method can be obtained value of soil vulnerability index (Kg) which has founded in research area. Furthermore, the value of soil vulnerability indices also correlated with minimum vibration acceleration in subsurface. The result are area within crack and fracture have the higher value of soil vulnerability indices and the lower value of vibration acceleration of rocks

Keywords : *Horizontal to Vertical Spectral ratio, Vulnerability indices, Minimum vibration acceleration.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan petunjuk, kemudahan, ilmu pengetahuan serta rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir sebagai syarat wajib untuk memperoleh gelar sarjana jurusan Fisika FIA ITS yang berjudul *Analisa Potensi Longsor Menggunakan Parameter HVSR di Daerah Jalan Raya Trenggalek Ponorogo KM 23*. Penulis menyadari penulisan tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, maka disini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Sungkono, M.Si. selaku dosen pembimbing, terima kasih atas saran, kritik, dan kesabarannya dalam membimbing penulis.
2. Bapak Dr. Yono Hadi P., M.Eng. selaku Ketua Departemen Fisika FIA ITS.
3. Bapak Heru Sukamto, S.Si M.Si . selaku dosen wali yang telah membimbing dan mensaheti penulis selama masa perkuliahan berlangsung.
4. Seluruh staf pengajar dan Dosen di Departemen Fisika ITS.
5. Kedua orang tua penulis Bapak M. Amrullah dan Ibu Noor Farida Hariyati serta adik saya tercinta Hasya Shabrina Sajidah yang selalu memberikan dukungan baik materi maupun non materi sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir.
6. Rafida Kurniawati yang selalu memberi dukungan dan hiburan selama masa perkuliahan hingga terselesaikannya tugas akhir ini.
7. Ibu Uli sekeluarga yang telah membantu memfasilitasi selama penelitan di Ponorogo.
8. Para penghuni grup “4 Lebih Baik” M. Rifa’i H, Dwi Putri P.S.A., Safira Chusnundita Rineksane. yang selalu memberikan dukungan, hiburan dan motivasi selama penulis menjalani proses perkuliahan.

9. Tim Akuisisi Data Husein Alfaritsi, Silvia Lestari, dan Alif Haidar yang telah membantu pagi, siang, dan malam dalam pengambilan data tugas akhir.
10. Seluruh penghuni Lab Geofisika Pak Kiswanto, Uunk, Getek, Dani, Badri, Husein, Anom, Bram, Haidar, Adi, Yayan, Fikri, Azmi, dan Rahman terima kasih atas fasilitas, canda tawa, sharing ilmu, dan menemani selama mengerjakan Tugas Akhir siang dan malam.
11. Penghuni grup “LET” Rayhan, Shona, Meme, Yossita, Devi, dan Wilda. Terimakasih atas canda tawa dan bantuannya selama ini.
12. Teman-Teman bidang minat Fisika Bumi 2013 terima kasih atas sharing ilmu dan dukungannya.
13. Keluarga besar SUPERNOVA 2013 terima kasih atas segala dukungan selama kuliah.

Disini penulis menyadari masih memiliki keterbatasan ilmu pengetahuan dan kemampuan, oleh karena itu penulis mengharapakan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kebaikan penulis Tugas Akhir ini. Semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi masyarakat umumnya dan memberikan inspirasi dan bantuan bagi pembaca untuk berkembang lebih lanjut.

Surabaya, 7 Desember 2017

Penulis

Aulia'ur Rohman

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
TUGAS AKHIR.....	iii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	2
1.5 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II.....	5
TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Geologi Regional Penelitian.....	5
2.2 Seismotektonik Wilayah Ponorogo.....	6
2.3 Longsor.....	8
2.4 Metode Mikrotremor.....	10
2.5 Metode Horizontal Vertical Spectral Ratio.....	11

2.6 Indeks Kerentanan Seismik (K_g).....	15
2.7 Analisa Sinyal	16
2.7.1 Discrete Fourier Transform (DFT).....	16
2.7.2 Fast Fourier Transform (FFT)	17
2.8 Hubungan Indeks Kerentanan Seismik dan <i>Ground Shear-Strain</i>	17
BAB III.....	21
METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1 Peralatan Penelitian	21
3.2 Lokasi Penelitian	22
3.3 Tahap Penelitian.....	23
3.3.1 Inventarisasi peta geologi.....	25
3.3.2 Studi Literatur	25
3.3.3 Akuisisi Data Mikrotremor	25
3.3.4 Analisa Data.....	26
BAB IV	29
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	29
BAB V	43
PENUTUP.....	43
5.1 Kesimpulan.....	43
5.2 Saran.....	43
DAFTAR PUSTAKA.....	45
Lampiran 1	49
Lampiran 2	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Geologi daerah penelitian (digambar ulang dari Samodra, 1992)	6
Gambar 2.2 Peta seismotektonik Jawa dan Bali (Pusat Survei Geologi, 2005).....	7
Gambar 2.3 Tegangan di permukaan tanah	19
Gambar 3.1 Daftar peralatan penelitian (a) 1 set Mikrotremor, (b) Meteran, (c) GPS, (d) Baterai, (e) Laptop, dan (f) Kompas ..	22
Gambar 3.2 <i>Design</i> area pengukuran metode mikrotremor	23
Gambar 3.3 Diagram alir Metodologi Penelitian.....	24
Gambar 4.1 Data hasil pengukuran pada titik 2.....	29
Gambar 4.2 Pemilihan windows pada titik 2 (26 windows).....	30
Gambar 4.3 Grafik HVSR pada titik 2.....	31
Gambar 4.4 Peta frekuensi natural yang dikorelasikan dengan daerah penelitian	33
Gambar 4.5 Kondisi geologi daerah sawah dengan ketinggian 310 mdpl – 350 mdpl.....	34
Gambar 4.6 Peta amplifikasi yang dikorelasikan dengan daerah penelitian	35
Gambar 4.7 Kondisi geologi daerah penelitian pada ketinggian 405 mdpl – 430 mdpl.....	37
Gambar 4.8. Hasil persebaran nilai kerentanan tanah yang dihubungkan dengan kondisi geologi daerah setempat.	39
Gambar 4.9 Hasil persebaran nilai percepatan getaran yang dihubungkan dengan kondisi geologi daerah setempat.	42

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sumber Mikrotremor berdasarkan nilai frekuensinya (Gautenberg (1958) dan Asten (1978, 1984).....	11
Tabel 2.2 Hubungan nilai efektif <i>shear-strain</i> akibat gempa bumi	18

DAFTAR LAMPIRAN

Tabel 1. Data posisi titik dan ketinggian (mdpl)	50
Tabel 2. Data nilai amplifikasi dan frekuensi natural	52
Tabel 3. Data perhitungan nilai kerentanan tanah (Kg) dan percepatan getaran (α)	54

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Wilayah dengan banyaknya pegunungan dan perbukitan menjadikan Indonesia sebagai salah satu negara dengan potensi bencana alam tinggi. Bencana alam tersebut meliputi gempa bumi dan longsor. Salah satu wilayah di Indonesia yang rawan terjadinya longsor ialah Ponorogo. Daerah tersebut merupakan wilayah deretan pegunungan tinggi, perbukitan, dan lahan miring yang dapat mendorong terjadinya potensi longsor.

Longsor dapat didefinisikan sebagai massa batuan, atau tanah yang berpindah menuruni lereng di bawah pengaruh gravitasi (Cruden dan Varnes, 1996). Longsor dapat dipicu oleh banyak faktor, yakni : intensitas curah hujan tinggi, gempa bumi, permukaan air yang terfluktuasi, aktivitas vulkanik, dan aktivitas manusia (Guzzetti et al 1999; Niu et al 2014; Wu et al. 2014). Sedangkan menurut Sassa et al., (2015) penyebab terjadinya longsor yaitu : pengaruh hujan, getaran gempa bumi, aktivitas vulkanik, maupun akibat perbuatan manusia.

Getaran gempa bumi dan aktivitas vulkanik memiliki perbedaan karakteristik terhadap struktur kepadatan tanah. Kepadatan tanah berpengaruh pada perbedaan antar lapisan (*bedrock* dan sedimen). Perbedaan tersebut mengakibatkan perbesaran gelombang seismik atau amplifikasi. Hal ini dapat terjadi jika frekuensi natural suatu wilayah rendah dan geologi daerah setempat memiliki energi yang terjebak di lapisan lapuk dalam waktu yang lama. Apabila getaran seismik melewati daerah tersebut, maka terjadi perbesaran gelombang yang menyebabkan tanah bergerak dan longsor.

Beberapa metode geofisika yang dapat menyelesaikan masalah longsor diantaranya ialah GPS dan citra satelit. Namun, kedua metode tersebut membutuhkan waktu yang lama dan tidak

efisien. Sehingga digunakan metode lainnya dengan waktu yang cepat, efisien dan mudah yaitu metode Mikrotremor.

Mikrotremor adalah salah satu metode geofisika yang digunakan untuk menyelesaikan salah satu penyebab longsor. Data metode mikrotremor berupa sinyal 3 komponen, yakni : komponen vertikal (*Up and Down*), horizontal (*North-South*), dan horizontal (*East-West*). Sedangkan, parameter yang didapatkan berupa frekuensi natural dan nilai amplifikasi daerah setempat. Dengan memanfaatkan metode HVSR dilakukan perbandingan antara rasio spektrum dari sinyal pada komponen horizontal terhadap komponen vertikalnya (Nakamura, 1989). Sehingga, metode ini menjadi pertimbangan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang dapat dirumuskan dalam penelitian tugas akhir ini yaitu :

1. Bagaimana mengetahui nilai potensi longsor menggunakan metode Mikrotremor?
2. Bagaimana hubungan antara indeks kerentanan tanah dengan percepatan getaran minimum?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian tugas akhir ini diantaranya :

1. Mengetahui nilai potensi longsor menggunakan metode Mikrotremor.
2. Mengetahui hubungan indeks kerentanan tanah dengan percepatan getaran minimum.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapatkan dari penelitian tugas akhir berjudul “Analisa Potensi Longsor Menggunakan Parameter-parameter Mikrotremor HVSR di Daerah Jalan Raya Trenggalek-Ponorogo KM 23” ini berupa besarnya nilai frekuensi natural, faktor amplifikasi, dan indeks kerentanan tanah daerah setempat terhadap potensi longsor. Sehingga, nantinya parameter-

parameter tersebut dapat menjadi acuan bagi masyarakat sekitar agar lebih berhati-hati dengan bahaya longsor .

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam penelitian tugas akhir ini secara garis besar adalah sebagai berikut:

- **BAB I Pendahuluan**
Bab ini berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan permasalahan, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.
- **BAB II Tinjauan Pustaka**
Tinjauan pustaka yang berbasis teori dan konsep dasar yang digunakan sebagai landasan dalam penelitian tugas akhir.
- **BAB III Metode Penelitian**
Metode penelitian berisi prosedur kerja penelitian, perhitungan, dan metode pengolahan.
- **BAB IV Analisa Dan Pembahasan**
Metode ini menjelaskan tentang hasil-hasil yang didapat dari pengerjaan pada penelitian ini.
- **BAB V Penutup**
Bab ini berisi uraian mengenai kesimpulan dari hasil analisa data dan pembahasan serta saran-saran yang digunakan untuk mendukung penelitian selanjutnya.
- **Lampiran**, berisi data-data yang digunakan dalam penelitian beserta beberapa gambar yang menunjang penelitian.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

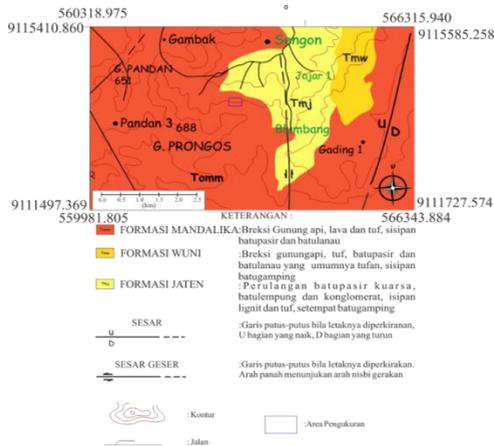
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Regional Penelitian

Menurut Bemmelen (1949) Ponorogo berada pada subzona solo bagian tengah. Subzona tersebut dibentuk oleh deretan gunung api kuarter dan dataran antar gunung api. Hal tersebut sesuai dengan peta geologi Samodra (1992) yang menunjukkan secara regional lokasi penelitian dienuhi oleh formasi Mandalika. Formasi ini tersusun dari material vulkanik berupa lava andesit-basal, breksi gunung api, sisipan batupasir, batulanau, latit pofir, riolit, dan tuf. Formasi ini memiliki anggota bagian atas dan anggota bagian bawah. Anggota bagian atas terdistribusi oleh pumif, tuf halus, dan batuan basaltik. Anggota bagian bawah terdistribusi batuan andestik dan batuan dasitik. Formasi Mandalika ini dapat mengalami alterasi dengan intensif berupa argilik dan propilitik disertai mineral pirit yang tersebar, dan memiliki ketebalan lebih dari 500 m.

Jenis batuan yang tersusun di lokasi penelitian sebagian besar ialah sisipan batu pasir dan batuan tufa. Batuan ini memiliki derajat pelapukan yang tinggi serta gaya ikat antar batuan yang lemah. Tanah pada lokasi penelitian juga sangat membahayakan apabila terjadi hujan. Air hujan dengan cepat meresap ke dalam tanah dan dapat menyebabkan tekanan fluida yang tinggi. Karena peresapan tersebut fluida yang tersaturasi dalam tanah meningkat dan menyebabkan deposit dalam tanah menurun. Sehingga, menyebabkan tanah mudah terlikuifaksi dan memicu longsor.



Gambar 2.1 Geologi daerah penelitian (digambar ulang dari Samodra, 1992)

Daerah penilitan pada **Gambar 2.1** ditandai dengan kotak berwarna biru dengan luas area sebesar 33295 m². Di tengah-tengah daerah penelitian terdapat jalan raya yang menjadi batas wilayah Ponorogo dan Trenggalek, sebelah timur dapat dilihat terdapat sesar geser dengan jarak ± 2 km dari daerah penelitian. Daerah ini merupakan daerah dataran tinggi dengan rata-rata elevasi ± 410 m.

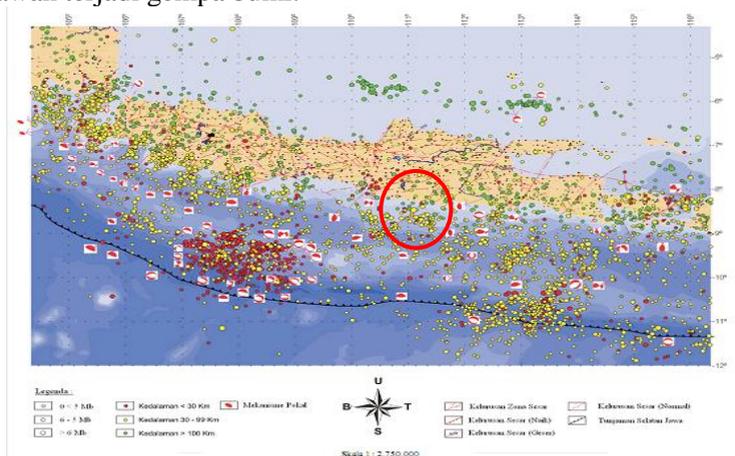
2.2 Seismotektonik Wilayah Ponorogo

Wilayah Jawa merupakan daerah yang rawan bencana gempa bumi dengan tingkatan VI, VIII, dan IX (Puslitbang Geologi, 2004). Hal tersebut dapat dijelaskan berdasarkan wilayah regional Jawa yang terbagi menjadi dua kelompok kegempaan, yaitu kegempaan lajur tunjaman Jawa bagian selatan dan kegempaan lajur sesar aktif Jawa. Untuk lajur tunjaman Jawa dijumpai pada kedalaman dangkal berkisar (0 - 400 km). Lajur tunjaman ini umumnya menyebabkan kegempaan > 4 SR (NEIC, 2006) (USGS, 2006). Sedangkan, untuk lajur sesar aktif Jawa terdapat sesar besar yang aktif dengan panjang berkisar 30-40 kilometer. Sesar tersebut ialah sesar Grindulu yang membelah

kabupaten Pacitan hingga lereng gunung Wilis di kabupaten Ponorogo. Sesar Grindulu memiliki 2 arah orientasi yang mengarah dari timur laut-barat daya dan barat laut-tenggara. Sesar tersebut memiliki kedalaman hingga lapisan batuan dasar (Indrianti *et al.*, 2013).

Selanjutnya, berdasarkan hubungan antara tektonik dan kegempaan, lajur seismotektonik sesar aktif daratan Jawa berkaitan erat dengan keberadaan struktur sesar aktif diantaranya, sesar aktif Cimandiri, sesar aktif Citarik, lajur seismo-tektonik sesar aktif Baribis, sesar aktif Citanduy, sesar aktif Bumi Ayu, sesar Opak, sesar Grindulu, sesar aktif Pasuruan, dan sesar aktif Jember. Peta seismotektonik daerah penelitian dapat dilihat pada **Gambar 2.2** yang ditandai dengan lingkaran berwarna merah.

Data seismotektonik tersebut menunjukkan bahwa daerah Ponorogo terletak di bagian selatan dan berbatasan dengan daerah Pacitan paling selatan pulau Jawa, dimana daerah ini berbatasan dengan perbatasan lempeng dan terletak di lajur seismotektonik sesar aktif Pacitan. Sehingga, mengakibatkan daerah tersebut rawan terjadi gempa bumi.



Gambar 2.2 Peta seismotektonik Jawa dan Bali (Pusat Survei Geologi, 2005)

2.3 Longsor

Longsor dapat didefinisikan sebagai massa batuan, atau tanah yang berpindah menuruni lereng di bawah pengaruh gravitasi (Cruden dan Varnes, 1996). Longsor merupakan salah satu bencana alam yang umumnya terjadi di wilayah pegunungan (*mountainous area*), terutama di musim hujan, yang dapat mengakibatkan kerugian harta benda maupun korban jiwa dan menimbulkan kerusakan sarana dan prasarana lainnya seperti perumahan, industri, dan lahan pertanian yang berdampak pada kondisi sosial masyarakat dan menurunkan perekonomian di suatu daerah.

Terjadinya bahaya longsor dapat dipicu oleh banyak faktor pendorong seperti, intensitas curah hujan tinggi, gempa bumi, permukaan air yang terfluktuasi, aktivitas vulkanik, dan aktivitas manusia (Guzzetti et al 1999; Niu et al 2014; Wu et al. 2014). Kementerian ESDM (2008) menjelaskan faktor-faktor utama penyebab terjadinya tanah longsor yaitu antara lain lereng terjal, tanah yang kurang padat dan tebal, curah hujan yang tinggi, jenis penggunaan lahan, getaran, adanya material timbunan pada tebing, bekas longSORan lama, penggundulan hutan, dan daerah pembuangan sampah. Sedangkan menurut Sassa et al., (2015) penyebab terjadinya longsor yaitu pengaruh hujan, getaran gempa bumi maupun aktivitas vulkanik, dan akibat perbuatan manusia.

Curah hujan yang tinggi menjadi penyebab utama terjadinya longsor. Hal tersebut terjadi dikarenakan banyaknya butiran fluida yang meresap kedalam tanah. Fluida yang meresap tersebut terjebak dan tersaturasi didalam tanah dan dapat menyebabkan kekompakkan tanah menjadi berkurang. Sehingga, yang terjadi daya tarik antar tanah menjadi melemah dan terjadi longsor.

Selain curah hujan dan fluida, likuifaksi juga memiliki kaitan dengan terjadinya longsor. Likuifaksi adalah fenomena hilangnya kekuatan tanah akibat beban seismik ketika terjadi gempa bumi. Menurut See dkk (1975) mengungkapkan bahwa likuifaksi adalah proses perubahan dari tanah pasir dengan

kejenuhan air tinggi menjadi cair akibatnya tekanan air pori meningkat dan sama dengan tekanan total. Sedangkan menurut Towhata (2008) likuifaksi terjadi pada tanah yang berpasir lepas (tidak padat) dan jenuh air. Saat terjadi guncangan gempa, hal tersebut menyebabkan tekanan air bertambah dan tegangan efektif menjadi berkurang.

Pada kasus yang ekstrim, tegangan efektif dapat menjadi nol. Tegangan efektif berlaku ketika terdapat gaya kontak antar butiran pasir. Apabila tegangan efektif bernilai nol, hal tersebut menyatakan tidak adanya gaya kontak yang terjadi. Sehingga butiran pasir benar-benar mengapung bebas dalam air dan butiran pasir menjadi seperti mencair. Oleh karena itu tanah tersebut tidak mampu menopang beban di atasnya dan menyebabkan ambblasnya bangunan maupun longsor.

Penyebab selanjutnya terjadinya longsor adalah getaran. Getaran yang mengakibatkan longsor dapat berupa getaran yang berasal dari gempa bumi maupun aktivitas vulkanik. Hal tersebut dapat menyebabkan batuan dalam tanah menjadi bergerak dan tanah akan merenggang hingga terjadi pelebaran tanah dan memungkinkan proses infiltrasi air kedalam tanah yang menyebabkan longsor. Selain itu, terjalnya lereng juga mempengaruhi tanah tersebut mudah longsor. Longsor juga dapat disebabkan karena jenis batuan. Jenis batuan yang dimaksud ialah endapan gunung api yang umumnya mudah terkena pelapukan dan mudah berubah bentuk (Shi et al., 2016).

Selain 3 hal di atas longsor dapat terjadi akibat ulah manusia sendiri. Hal tersebut dapat berupa pemotangan pohon di hutan yang menyebabkan hutan menjadi gundul dan mengurangi proses penyerapan air tanah, penimbunan sampah dapat menyebabkan daya ikat antar butiran dalam tanah berkurang, penambangan pasir dan batuan yang dilakukan besar-besaran, lereng yang terjal disebabkan karena adanya erosi baik secara alami maupun disengaja oleh manusia. juga dapat menyebabkan longsor.

Longsor terbagi dalam beberapa jenis diantaranya, *slide* (tanah yang tergelincir) dengan berbagai macam tipe gelinciran yang terjadi, *fall* (Runtuhan) yaitu gerakan mendadak massa material geologi, seperti batu dan bebatuan, yang menjadi terpisah dari lereng curam atau tebing, *topple* atau biasa dicirikan dengan robohnya unit batuan dengan cara berputar kedepan pada satu titik sumbu, dan gabungan dua atau lebih longsor, dan *flows* (Aliran) yaitu gerakan massa batuan yang cepat dengan gabungan tanah longgar, batuan, bahan organik, udara, dan air memobilisasi sebagai bubur yang mengalir. Hal ini disebabkan oleh aliran air permukaan yang intens, karena presipitasi yang mengikis dan memobilisasi tanah longgar atau batu lereng curam.

2.4 Metode Mikrotremor

Mikrotremor atau yang biasa disebut dengan *Ambient Noise* merupakan getaran tanah dengan amplitudo yang dapat ditimbulkan oleh peristiwa alam seperti angin, gelombang laut, getaran pada jalan raya, maupun peristiwa buatan. Dari sumber-sumber tersebut dilakukan perekaman secara *real-time*. Sehingga, dapat menggambarkan kondisi geologi suatu wilayah di dekat permukaan (Tokimatsu, 1995). Mikrotremor dapat juga diartikan sebagai getaran harmonik alami tanah yang terjadi secara terus menerus, dan terjebak dilapisan sedimen permukaan. Kemudian terpantulkan oleh adanya bidang batas lapisan dengan frekuensi yang tetap yang disebabkan oleh getaran mikro di bawah permukaan tanah dan kegiatan alam lainnya. Mikrotremor juga didasarkan pada perekaman *ambient noise* sebagai penentuan parameter karakteristik dinamika (*damping ratio* dan frekuensi natural) dan juga fungsi perpindahan (frekuensi dan amplifikasi) pada suatu daerah dan bangunan (Herak, 2008).

Mikrotremor mempunyai frekuensi lebih tinggi dari frekuensi gempabumi, periodenya kurang dari 0,1 detik yang secara umum antara 0,05-2 detik dan untuk mikrotremor periode panjang bisa 5 detik. Sedangkan amplitudonya berkisar 0,1-1,0 μ

(Mirzaoglu, 2003). Untuk aktivitas manusia dapat menimbulkan getaran pengaruh yang sangat kecil dengan frekuensi dibawah 0.1 Hz dan sebaliknya. Pada frekuensi rendah (dibawah 1 Hz) sumber mikrotremor dapat berasal dari alam (gelombang laut, dan kondisi meteorologi skala luas), sedangkan pada frekuensi sedang (berkisar 1-5 Hz) sumber berasal dari meteorologi lokal, maupun aktivitas manusia, dan pada frekuensi yang tinggi (di atas 5 Hz) sumber utama adalah aktivitas manusia. Berikut adalah tabel perbedaan jenis sumber mikrotremor berdasarkan nilai frekuensi yang didapat pada **Tabel 2.1**.

Tabel 2.1 Sumber Mikrotremor berdasarkan nilai frekuensinya (Gutenberg (1958) dan Asten (1978, 1984))

Sumber	Menurut Gutenberg	Menurut Asten
Gelombang laut	0.05 – 0.1 Hz	0.5 – 1.2 Hz
Gangguan meteorology dengan skala besar (<i>monsoon</i>)	0.1 – 0.25 Hz	0.16 – 0.5 Hz
Badai siklon di sepanjang laut	0.3 – 1 Hz	0.5 – 3 Hz
Kondisi meteorologi skala local	1.4 – 5 Hz	-
Tremor vulkanik	2 – 10 Hz	-
Kepadatan penduduk	1 – 100 Hz	1.1 – 30 Hz

2.5 Metode Horizontal Vertical Spectral Ratio

Metode HVSR merupakan metode membandingkan spektrum komponen horizontal terhadap komponen vertikal dari gelombang mikrotremor. Nakamura (2000) menunjukkan bahwa mikrotremor rasio spektrum *horizontal-to-vertical* (HVSR) yang dapat ditentukan dengan mudah hanya dengan satu sensor dengan

tiga komponen, dapat mengestimasi faktor amplifikasi dari daerah setempat untuk pergerakan gelombang S secara vertikal.

Dalam metode mikrotremor, rasio *spektrum Fourier* horisontal terhadap vertikal mikrotremor digunakan mengeliminasi efek sumber. *Spektrum Fourier* horisontal atau vertikal mikrotremor diketahui berhubungan dengan sumber eksitasi, tidak stabil dan tidak merepresentasikan kondisi setempat. Tetapi, rasio spektrum *Fourier* vertikal terhadap horisontal diketahui stabil, menonaktifkan sumber dan jalannya gelombang.

Metode ini menggunakan beberapa asumsi bahwa: 1) Mikrotremor sebagian besar terdiri dari gelombang geser; 2) Komponen vertikal gelombang tidak mengalami amplifikasi lapisan tanah lunak dan hanya komponen horizontal yang teramplifikasi; 3) Tidak ada amplitudo yang berlaku dengan arah yang spesifik pada *bed rock*, dengan getaran yang ke segala arah; 4) Gelombang Rayleigh diasumsikan sebagai noise mikrotremor dan di usulkan metode untuk mengeliminasi efek gelombang

Parameter penting yang dihasilkan dari metode HVSR ialah frekuensi natural dan amplifikasi. HVSR yang terukur pada tanah yang bertujuan untuk karakterisasi geologi setempat, frekuensi natural, dan amplifikasi berkaitan dengan parameter fisik bawah permukaan (Herak, 2008).

Amplifikasi (A) merupakan perbesaran gelombang seismik yang terjadi akibat adanya perbedaan signifikan antar lapisan tanah apabila merambat pada suatu medium ke medium lain yang lebih lunak dibandingkan dengan medium awal yang dilaluinya. Nakamura (2000) menyatakan bahwa nilai faktor penguatan (amplifikasi) tanah berkaitan dengan perbandingan kontras impedansi lapisan permukaan dengan lapisan di bawahnya. Bila perbandingan kontras impedansi kedua lapisan tersebut tinggi maka nilai faktor penguatan juga tinggi, begitu pula sebaliknya. Sedangkan, Frekuensi natural adalah nilai frekuensi yang kerap muncul, sehingga diakui sebagai nilai frekuensi dari lapisan batuan di wilayah tersebut. Selanjutnya,

Nakamura (1989) mengidentifikasi rasio spektrum horizontal terhadap vertikal suatu tempat, sama dengan fungsi transfer gelombang geser yang bergetar antara permukaan dan batuan dasar suatu tempat.

Sungkono dan Bagus (2011) memaparkan bahwa dalam mengkarakterisasi HVSR, perlu diketahui model gelombang yang terkandung dalam HVSR terlebih dulu. Gelombang yang terkandung dalam HVSR masih terdapat perbedaan (Dal Moro, 2010a; 2010b). Nakamura (2000) berpendapat bahwa HVSR merupakan gelombang badan, dalam hal ini gelombang SH, sedangkan Bonnefoy-Clauded et al. (2006a) menunjukkan bahwa HVSR terpengaruh gelombang permukaan, dalam hal ini gelombang Love dan Rayleigh. Dal Moro (2010c) memaparkan bahwa dengan pendekatan gelombang badan (Herak, 2008), frekuensi dasar lebih tepat daripada gelombang permukaan. Dal Moro (2010a; 2010c) juga menjelaskan bahwa pada frekuensi tinggi, kurva observasi HVSR terkadang terdapat puncak (gambar 1). Hal ini menunjukkan bahwa kurva HVSR observasi pada frekuensi tinggi terdapat sumbuangsih gelombang permukaan.

Fungsi transfer HVSR mikrotremor yang dirumuskan oleh Nakamura (2000) menyatakan adanya efek penguatan gelombang pada komponen horizontal yang dinyatakan melalui persamaan berikut:

$$S_E(\omega) = \frac{H_S(\omega)}{H_B(\omega)} \quad (2.1)$$

Dimana $S_E(\omega)$, $H_S(\omega)$, dan $H_B(\omega)$ adalah penguatan gelombang horizontal, spektrum mikrotremor komponen horizontal di permukaan, dan spektrum mikrotremor komponen horizontal di batuan dasar. Sementara itu, penguatan gelombang komponen vertikal dinyatakan sebagaimana berikut:

$$A_s(\omega) = \frac{V_s(\omega)}{V_B(\omega)} \quad (2.2)$$

Yang mana $A_s(\omega)$, $V_s(\omega)$, dan $V_B(\omega)$ ialah penguatan gelombang vertikal, spektrum mikrotremor komponen vertikal di permukaan, dan spektrum mikrotremor vertikal di batuan dasar.

Untuk mereduksi *noise* maka dilakukan normalisasi spektrum penguatan horizontal $S_E(\omega)$ terhadap spektrum penguatan vertikal $A_s(\omega)$,

$$S_m(\omega) = [H_s(\omega)/V_s(\omega)] / [H_B(\omega)/V_B(\omega)] \quad (2.3)$$

dimana $S_m(\omega)$ adalah fungsi transfer lapisan sedimen.

Pada saat $H_B(\omega)/V_B(\omega) = 1$, maka

$$S_m(\omega) = \frac{H_s(\omega)}{V_s(\omega)} \quad (2.4)$$

Dalam proses akuisisi data di lapangan terdapat dua komponen horizontal yang terukur yakni komponen utara-selatan dan komponen barat-timur, sehingga didapatkan Persamaan (2.8)

$$S_m(\omega) = \left[\left((H_{SN}(\omega)^2 / H_{WE}(\omega)^2)^{1/2} \right) \right] / V_s \quad (2.5)$$

Sebagaimana pada persamaan (2.5) telah kita ketahui bahwa HVSR memiliki dua komponen, yakni komponen horizontal dan komponen vertikal. Berdasarkan pada metode Pythagoras kedua komponen horizontal dijumlahkan dalam fungsi frekuensi (Sungkono, 2011).

2.6 Indeks Kerentanan Seismik (Kg)

Indeks kerentanan seismik (Kg) merupakan indeks yang dapat mengilustrasikan besarnya kerentanan lapisan tanah di permukaan terhadap deformasi pada saat terjadi gempa bumi. Deformasi adalah perubahan bentuk dan batuan sebagai akibat dari gaya yang bekerja di dalam bumi ataupun akibat pengaruh gaya tektonik yang bekerja pada batuan tersebut (Noor Djauhari, 2014). Besarnya nilai Kg berfungsi sebagai prediksi daerah-daerah yang mengalami kerusakan bila terjadi gempa bumi. Hubungan antara indeks kerentanan seismik dengan rasio kerusakan pernah dikaji oleh Nakamura (2000) saat mengkaji hubungan antara indeks kerentanan seismik dengan rasio kerusakan menggunakan data gempabumi di Kobe 1995. Hasil kajiannya menunjukkan distribusi indeks kerentanan seismik tinggi terletak pada zona kerusakan parah yang tersebar dengan membentuk jalur kerusakan.

Besarnya nilai indeks kerentanan seismik secara matematis dirumuskan oleh Nakamura (2000) sebagai berikut:

$$Kg = \frac{A^2}{f_0} \quad (2.6)$$

Dengan Kg adalah besarnya indeks kerentanan seismik, A ialah nilai amplifikasi, dan f_0 merupakan nilai frekuensi natural. Konsekuensi dari Persamaan (2.6) menunjukkan bahwa dimana, saat nilai frekuensi natural (f_0) besar dan faktor amplifikasi besar (A), indeks kerentanan seismik akan bernilai besar. Jika frekuensi natural (f_0) kecil dan nilai amplifikasi (A) bernilai besar maka indeks kerentanan seismik (Kg) bernilai besar, dan sebaliknya jika nilai frekuensi natural (f_0) besar dan faktor amplifikasi (A) kecil, maka indeks kerentanan seismik (Kg) bernilai kecil.

2.7 Analisa Sinyal

2.7.1 Discrete Fourier Transform (DFT)

Discrete Fourier Transform (DFT) menjadi transformasi dasar dalam sinyal digital pengolahan, analisis frekuensi, konvolusi cepat, pengolahan citra, dll (Selesnick et al, 2001). DFT adalah metode dengan algoritma untuk mengetahui komponen frekuensi harmonik beserta amplitudonya dari sebuah sinyal periodik atau berupa deret fourier (Li Tan, 2008). Metode DFT juga mampu menunjukkan hubungan antara domain waktu dengan domain frekuensi. Sedangkan, untuk persamaan dari DFT sendiri dapat diperoleh dengan cara mengubah notasi integral pada persamaan (2.7) dibawah ini :

$$a_k = \frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} x(t) e^{-jk\omega_0 t} dt \quad (2.7)$$

menjadi notasi sigma dengan substitusi $T_0 = NT$, $f_0 = \frac{1}{T_0}$, $dt = T$ dan $t = nT$, sehingga dapat didefinisikan sebagai persamaan (2.3) sebagai berikut :

$$X(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j \frac{2\pi kn}{N}} \quad (2.8)$$

dengan $k = 0, 1, 2, \dots, N - 1$ adalah indeks dalam domain frekuensi atau bilangan bulat yang menyatakan komponen harmonik ($f = kf_0$) dan $n = 0, 1, 2, \dots, N - 1$ adalah domain waktu.

Dari perhitungan DFT tersebut yang berawal dari koefisien *fourier* didapatkan algoritma yang lebih efisien dan tidak mengubah esensi dari DFT itu sendiri (Li Tan, 2008). Algoritma tersebut ialah *Fast Fourier Transform* (FFT).

2.7.2 Fast Fourier Transform (FFT)

FFT adalah hasil pengembangan dari *Fourier Transform (FT)* berbentuk algoritma untuk menghitung Discrete Fourier Transform (transformasi fourier diskrit atau DFT) dengan cepat, efisien dan inversnya. *Fast Fourier Transform* memiliki prinsip kerja yang mampu membagi sebuah sinyal dan menghasilkan frekuensi yang berbeda-beda dalam bentuk fungsi eksponensial yang cukup kompleks.

Metode FFT ini digunakan untuk menghitung koefisien dari fourier diskrit yang didapatkan dari suatu data sinyal. Hal ini dikarenakan substansi waktu yang disimpan dapat menyimpan lebih banyak dibandingkan dengan metode yang konvensional. Setelah terbagi menjadi beberapa gelombang sinusoidal, maka langkah selanjutnya adalah menjumlahkan banyaknya gelombang tersebut menggunakan deret fourier. Secara matematis, dapat dituliskan persamaan untuk mengetahui deret fourier tersebut dengan Prsamaan (2.9) sebagaimana berikut :

$$X(\omega) = \frac{1}{N} \sum_{t=0}^{N-1} x(t) e^{j\omega t} \quad (2.9)$$

Dengan beberapa keterangan, dimana $X(\omega)$ adalah fungsi dengan domain frekuensi dan memiliki jarak frekuensi radial antara $0 - 2\pi f$ atau sebagaimana yang kita ketahui bahwa $\omega = 2\pi f$.

2.8 Hubungan Indeks Kerentanan Seismik dan *Ground Shear-Strain*

Ground shear strain pada lapisan tanah permukaan adalah parameter yang menunjukkan tinggi atau rendahnya kemampuan suatu material pada lapisan tanah untuk saling meregang atau bergeser saat terjadi gempa bumi (Nakamura, 2000). Tinggi atau rendahnya kemampuan material pada lapisan tanah untuk saling

meregang atau bergeser tergantung pada kondisi lapisan geologi lokal di suatu daerah.

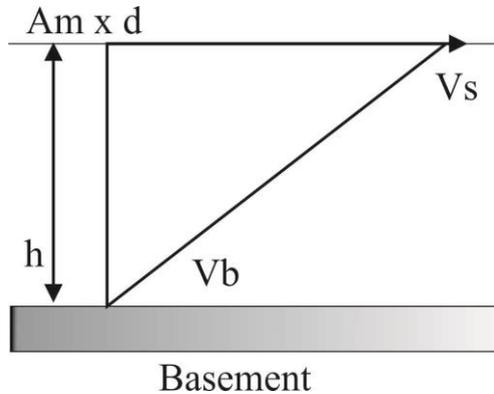
Pada pengukuran mikrotremor nilai *Shear strain* (γ) berkaitan dengan Indeks kerentanan seismik (K_g) suatu daerah. Dimana, kedua hal tersebut saling berhubungan akibat dari terjadinya gempa bumi. Sebagaimana ditunjukkan pada **Tabel 2.2** hubungan antara nilai efektif *shear-strain* (γ) dengan kondisi setelah terjadinya gempa menurut Nakamura (1997).

Tabel 2.2 Hubungan nilai efektif *shear-strain* akibat gempa bumi

Nilai <i>Shear Strain</i> γ	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}
Fenomena	Gelombang, Getaran		Retak, Penurunan tanah		Tanah longsor, Penurunan tanah, Likuifaksi	
Sifat Dinamis	Elastis		Plastis elastis		Keruntuhan	
			Efek berulang – Efek kelajuan selama pemuatan			

Tabel 2.2 menunjukkan bahwa (γ) = 1000×10^6 bersifat plastis, sedangkan pada $\gamma \geq 10.000 \times 10^6$ menunjukkan terjadinya suatu deformasi, longsor, hingga likuifaksi dengan kondisi nilai yang cukup besar (Nakamura, 1997).

Salah satu contoh deformasi akibat dari *shear-strain* pada tanah di permukaan ditunjukkan pada **Gambar 2.3** sebagai berikut :



Gambar 2.3 Tegangan di permukaan di permukaan tanah

Gambar 2.3 tersebut menghasilkan suatu rumusan matematis untuk mendapatkan nilai *shear-strain* (γ) yang didapat dari permukaan tanah dalam bentuk:

$$\gamma = A_m \cdot \frac{d}{h} \quad (2.10)$$

Dengan A_m adalah faktor amplifikasi, h merupakan ketebalan lapisan di permukaan yang telah terjadi pelapukan, dan d ialah besarnya nilai dari *seismic displacement* yang didapat dari dasar bumi. Apabila kecepatan dari gelombang S pada lapisan *bedrock* pada permukaan tanah ditunjukkan dengan menggunakan V_b dan V_s , maka didapatkan pengaruh frekuensi natural seperti pada rumusan :

$$f_0 = \frac{V_b}{(4A_m \cdot h)} \quad (2.11)$$

Sedangkan, nilai percepatan getaran gelombang *basement* di dasar bumi yang dideskripsikan oleh Nakamura (2000) :

$$\alpha = (2\pi f_0)^2 \cdot d \quad (2.12)$$

Selanjutnya, nilai γ dideskripsikan dengan perumusan dibawah ini :

$$\begin{aligned}\gamma &= \left(\frac{A_m \times \alpha_b}{(2\pi f_0)^2} \right) \times (4A_m \times f_0 / V_b) \\ &= \left(\frac{A_m^2}{f_0} \right) \times \left(\frac{\alpha}{\pi^2 V_b} \right)\end{aligned}\quad (2.13)$$

Selanjutnya, dalam Persamaan (2.13) tersebut gaya seismik diaplikasikan dan diasumsikan menjadi eksponensial (e), nilai efektif γ_e menjadi :

$$\begin{aligned}\gamma_e &= K_g (e) \times \alpha_b \\ K_g (e) &= e \times \left(\frac{A_m^2}{f_0} \right) / (\pi^2 V_b) / 100\end{aligned}\quad (2.14)$$

Nilai K_g digunakan sebagai pertimbangan indeks yang dapat mengidentifikasi secara mudah pada titik lokasi pengukuran dalam hal identifikasi titik kelemahan tanah. Nilai kecepatan di dasar bumi V_b dianggap sebagai tetap maka nilai K_g menunjukkan nilai pengukuran seberapa besar tingkat ketahanan dan juga kelemahan dari lapisan tanah. Sehingga, nilai efektif *strain* dapat diperhitungkan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\gamma = K_g \cdot \alpha \quad (2.15)$$

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini ialah sebagai berikut :

1. Mikrotremor *Portable / Portable Digital Seismograph*
Portable Digital Seismograph terdiri atas sensor akselerometer 3 komponen (2 komponen horizontal: EW-NS dan 1 komponen vertikal) yang digunakan untuk melakukan perekaman data pengukuran.
2. *Seismometer*
Seismometer berfungsi untuk mengukur besarnya getaran pada tanah di tiap titik pengukuran yang telah ditentukan.
3. *Global Positioning System (GPS)*
GPS ini digunakan dalam penentuan posisi titik-titik sebelum dilakukannya pengukuran.
4. Kompas
Kompas digunakan untuk penentuan arah pada saat pemasangan sensor 3 komponen.
5. Kabel
Kabel diperlukan sebagai penghubung pada *Portable Digital Seismograph* dengan *seismometer*. *Portable Digital Seismograph* melakukan perekaman data dari *seismometer* yang mendeteksi adanya getaran.
6. Laptop
Penggunaan laptop lebih digunakan pada saat akuisisi data, pengolahan, dan analisa data mikrotremor.

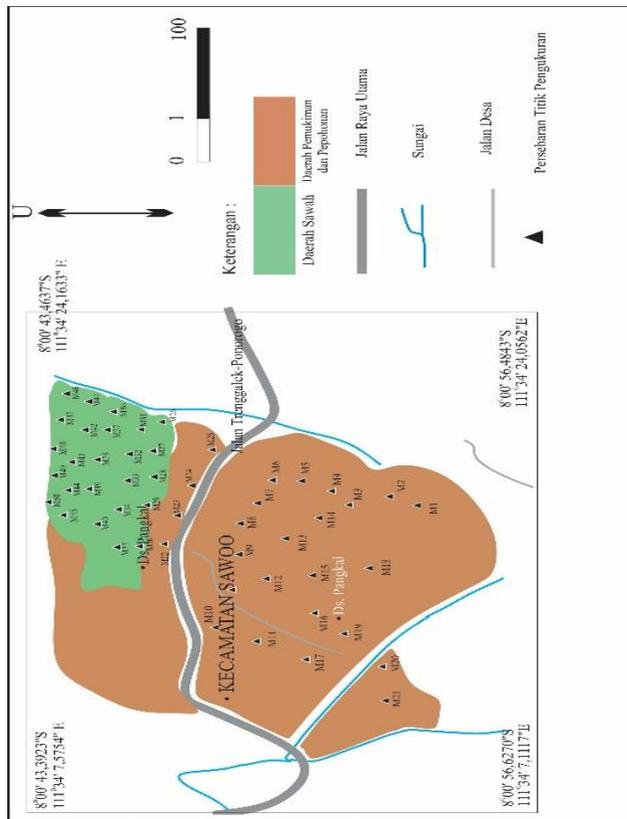
Pada **Gambar 3.1** menunjukkan daftar peralatan-peralatan yang digunakan dalam penelitian sebagaimana berikut ini:



Gambar 3.1 Daftar peralatan penelitian (a) 1 set Mikrotremor, (b) Meteran, (c) GPS, (d) Baterai, (e) Laptop, dan (f) Kompas

3.2 Lokasi Penelitian

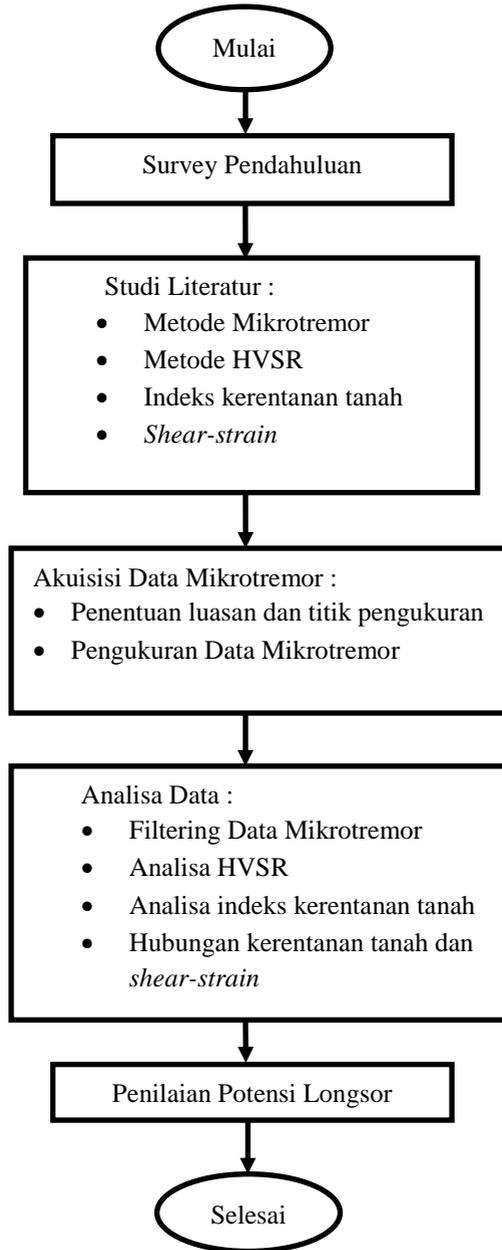
Penelitian dilakukan di sekitar jalan raya Trenggalek – Ponorogo KM 23 dengan luasan area sebesar 33295 m². Jarak antar titik ditentukan sebesar 7 hingga 10 meter dengan waktu pengukuran 30 menit setiap titiknya sebanyak 50 titik pengukuran. Desain pengukuran mikrotremor sesuai dengan **Gambar 3.2**.



Gambar 3.2 Design area pengukuran metode mikrotremor

3.3 Tahap Penelitian

Setelah ditentukan desain pengukuran sebanyak 50 titik secara *random*, penelitian yang bertujuan untuk mengetahui besarnya potensi longsor pada Jalan raya Trenggalek – Ponorogo Km 23 dijelaskan melalui diagram alir sebagaimana pada **Gambar 3.3**. Gambar ini dapat dideskripsikan sebagai berikut :



Gambar 3.3 Diagram alir Metodologi Penelitian

3.3.1 Inventarisasi peta geologi

Inventarisasi peta geologi ini dapat digunakan sebagai bahan acuan untuk melakukan survey pendahuluan pada penelitian. Dari peta geologi didapatkan gambaran mengenai kondisi geologi lingkungan, formasi batuan yang tersebar, dan kondisi tanah daerah setempat.

3.3.2 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk lebih memahami keterkaitan antara kondisi geologi lokasi penelitian dengan metode penelitian yang digunakan. Selain itu, studi literatur juga digunakan untuk lebih mendalami konsep dasar dari metode mikrotremor. Disamping itu, digunakan pula untuk mempelajari hubungan frekuensi natural dengan amplifikasi suatu daerah, dan *noise* yang didapatkan pada saat akuisisi data dan tahap pengolahan. Sumber-sumber yang digunakan pada studi literatur ini didapatkan dari buku-buku, jurnal internasional, dan juga beberapa tugas akhir yang sesuai dengan penelitian tugas akhir ini.

3.3.3 Akuisisi Data Mikrotremor

Akuisisi data mikrotremor dilakukan dengan 2 tahapan sebagaimana berikut :

- a. Penentuan luas wilayah dan titik pengukuran. Penentuan ini didasarkan pada peta geologi dan survey pendahuluan. Sehingga didapatkan luas wilayah pengukuran dan banyaknya titik yang diambil saat pengukuran berlangsung.
- b. Pengukuran data mikrotremor
Pengambilan data dilakukan dengan interval sampling 1/100 pada beberapa titik yang berbeda-beda dan frekuensi sebesar 0.5 Hz sesuai dengan desain yang sudah ditentukan. Pada saat pengambilan data berlangsung selama 20 hingga 30 menit dilarang adanya perlakuan gerak yang berlebihan, atau diharuskan diam sejenak. Hal tersebut dilakukan untuk menghindari adanya *noise* saat

seismograph melakukan perekaman. Apabila terdapat gangguan dari aktivitas manusia berlebihan (jalan raya, pembangunan gedung, dll.) maka perlu dilakukannya pencatatan sebagai bentuk koreksi saat pengambilan data.

3.3.4 Analisa Data

Setelah proses akuisisi data selesai dilakukan, tahap selanjutnya adalah proses analisa data. Analisa data dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak GEOPSY. Perangkat tersebut digunakan untuk analisa HVSR (*Horizontal Vertical Spectral Ratio*) dengan menganalisa frekuensi natural dan amplifikasi dan Hubungan indeks kerentanan tanah terhadap *Shear strain*. Dua tahapan ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

a. HVSR (*Horizontal Vertical Spectral Ratio*)

Metode HVSR merupakan metode perbandingan spektrum komponen horisontal terhadap komponen vertikal dari data mikrotremor. Pada metode ini, HVSR yang terukur pada tanah bertujuan untuk menghasilkan frekuensi natural dan amplifikasi yang berkaitan dengan parameter fisik bawah permukaan (Herak, 2008). Selanjutnya dilakukan perhitungan indeks kerentanan tanah (Kg). Indeks kerentanan tanah (Kg) ini merupakan indeks yang menggambarkan tingkat kerentanan lapisan tanah permukaan terhadap likuifaksi deformasi saat adanya perambatan gelombang.

b. *Smoothing*

Untuk menghaluskan data dari proses HVSR, digunakan filter *smoothing* Konno-Ohmachi (1998) dengan penentuan koefisien bandwidth 40,00 dan cosine taper sebesar 5%. Secara umum persamaan filter Konno-Ohmachi dapat dideskripsikan sebagaimana persamaan :

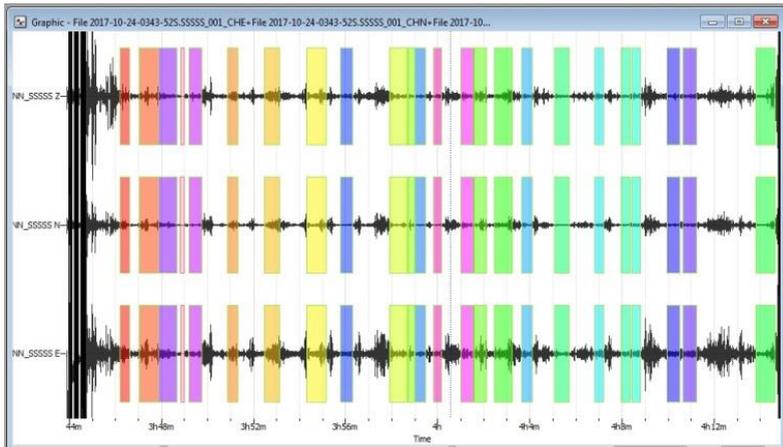
$$Wp(f) = \frac{\sin \left[\left(\log_{10} \left(\frac{f}{f_0} \right) \right)^b \right]}{\left[\left(\log_{10} \left(\frac{f}{f_0} \right) \right) \right]^b} \quad (2.16)$$

Dengan $Wp(f)$, f , f_0 , dan b berturut-turut ialah fungsi pembobotan, frekuensi, frekuensi pusat yang dihaluskan, dan frekuensi nilai bandwith.

- c. Hubungan Indeks Kerentanan Seismik dengan *Shear strain*
- Setelah didapatkan besarnya nilai Indeks kerentanan seismik dari tiap titik-titik pengukuran, dilakukan perhitungan besarnya nilai *shear strain* pada tiap titik pengukuran dengan Persamaan (2.7). selanjutnya, Indeks kerentanan tanah (Kg) dan *shear strain* digunakan untuk menentukan daerah yang memiliki potensi longsor.

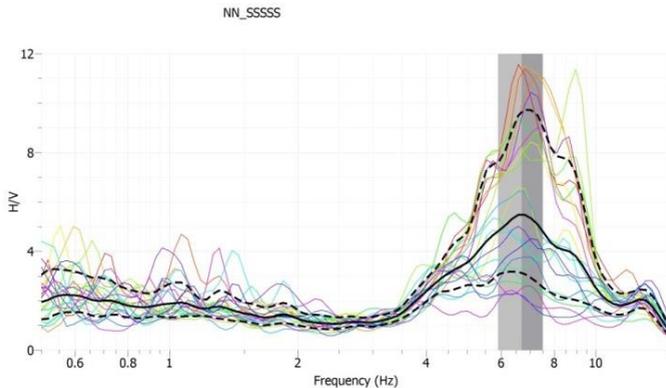
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Langkah selanjutnya ialah pemilihan *windows* pada grafik yang ditunjukkan pada **Gambar 4.2**. Pemilihan *windows* dilakukan pada sinyal yang stationer, konstan, dan *non overlapping*. Menurut SESAME (2010) minimum pemilihan *windows* sebanyak 10 sinyal. Pada pengukuran titik 2 dipilih sebanyak 26 *windows*.



Gambar 4.2 Pemilihan windows pada titik 2 (26 windows)

Setelah dilakukan pemilihan *windows* pada sinyal, langkah selanjutnya yaitu melakukan pengolahan dengan waktu pemilihan 20-50 detik dan *overlapping* antar *windows* sebesar 10%. Pada kolom *processing* dipilih proses *smoothing* Konno-Ohmachi dengan taper fungsi cosines 5% sebesar 40 bandwith. Sedangkan, kolom pada proses *filtering* dipilih *bandpass* dengan frekuensi 0,5 Hz-10 Hz bergantung pada kondisi geologi daerah pengukuran. Hasil dari pengolahan selanjutnya ditunjukkan dalam bentuk kurva HVSR yang ditunjukkan pada **Gambar 4.3**



Gambar 4.3 Grafik HVSR pada titik 2

Selain kurva HVSR, pada pengolahan ini juga didapatkan besarnya nilai frekuensi natural dan amplifikasi dari tiap titik pengukuran. Kedua nilai tersebut diperoleh dari rata-rata frekuensi natural masing-masing spektrum vertikal dan amplifikasi. Hal tersebut diungkapkan oleh Sungkono dan Santosa (2011) yang menerangkan kurva HVSR merupakan fungsi transfer antara getaran gelombang pada sedimen dan *bedrock*, sehingga frekuensi dan amplitudo pada puncak merepresentasikan amplifikasi dan frekuensi natural daerah setempat. Dari kurva HVSR tersebut (titik 2) didapatkan nilai frekuensi natural (f_0) sebesar 5,89236 Hz dan amplifikasi (A) sebesar 7,86300. Hasil lengkap nilai frekuensi natural dan amplifikasi ditulis dalam halaman Lampiran 1.

2.2 Pembahasan

4.2.1 Analisis HVSR

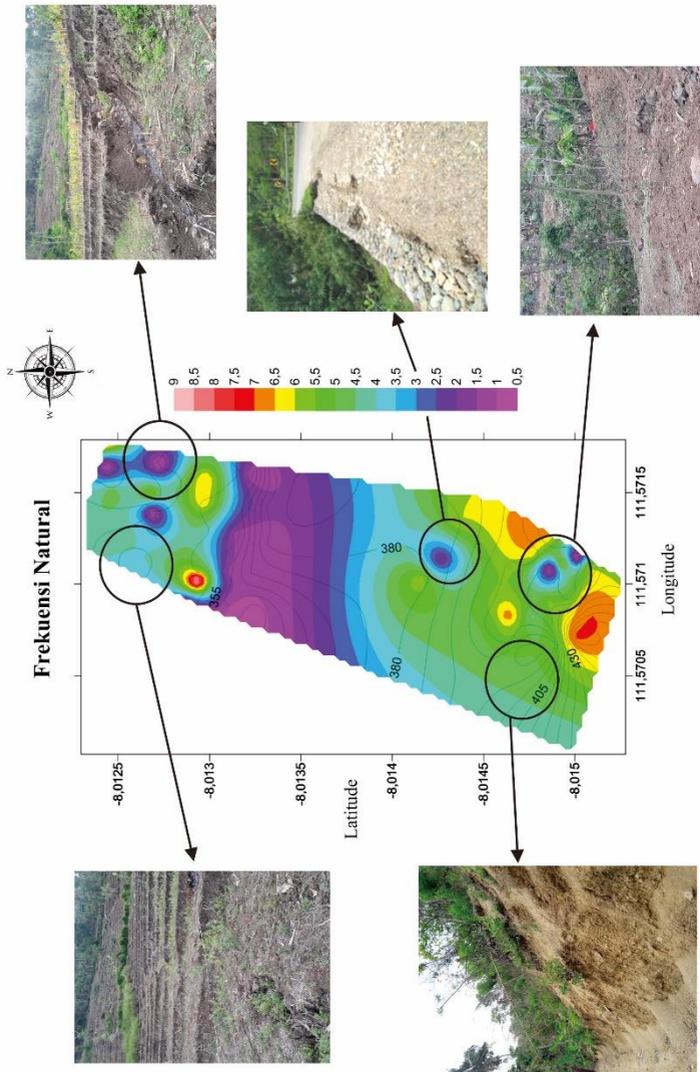
Analisis data mikrotremor dengan menggunakan metode HVSR pada 50 titik pengukuran yang ditentukan diolah sehingga menghasilkan kurva seperti ditunjukkan pada Gambar 4.3. Dari kurva tersebut menghasilkan besarnya nilai frekuensi natural dan amplifikasi. Selanjutnya, seluruh titik pengukuran dilakukan

pengolahan pada *software* Surfer 13 dengan memasukkan koordinat tiap titik pengukuran berupa *latitude* dan *longitude* dan juga nilai masing-masing berupa persebaran nilai amplifikasi, frekuensi natural, indeks kerentanan seismik, dan percepatan getaran. Selanjutnya, data tersebut (persebaran amplifikasi, frekuensi natural, indeks kerentanan tanah, dan percepatan getaran) dilakukan *overlay* pada persebaran ketinggian daerah pengukuran. Pengolahan tersebut dilakukan untuk mengetahui korelasi antara ketinggian dan nilai-nilai yang telah ditentukan sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 4.4**.

Rata-rata besarnya nilai frekuensi natural pada daerah penelitian berkisar antara 0,53 Hz – 6,43 Hz. Titik dengan nilai frekuensi natural tertinggi terdapat di titik M39 dengan nilai 9,68 Hz berada pada ketinggian 344 mdpl di bagian utara dan terendah berada pada titik M3 dengan nilai 0,53 Hz di ketinggian 407 mdpl di bagian selatan.

Nilai frekuensi dipengaruhi oleh ketebalan sedimen dan kecepatan rata-rata bawah permukaan (Sungkono dan Santosa, 2008). Hal tersebut sesuai dengan yang diungkapkan oleh Parolai dkk (2001) dan Isicico (2004), bahwa semakin dalam batuan dasar, maka frekuensi naturalnya semakin rendah. Sebaliknya, semakin dangkal batuan dasar, maka frekuensi natural semakin tinggi.

Pada titik M39 dengan nilai frekuensi natural sebesar 9,68 Hz berada di ketinggian 344 mdpl dimungkinkan titik ini memiliki lapisan sedimen yang tidak terlalu tebal dan gaya ikat antar tanah yang kuat. Sedangkan, nilai frekuensi rendah rata-rata berada pada ketinggian 310 mdpl – 350 mdpl (M40 M41 M43 M47) sebagaimana ditunjukkan pada peta kontur Gambar 4.4.



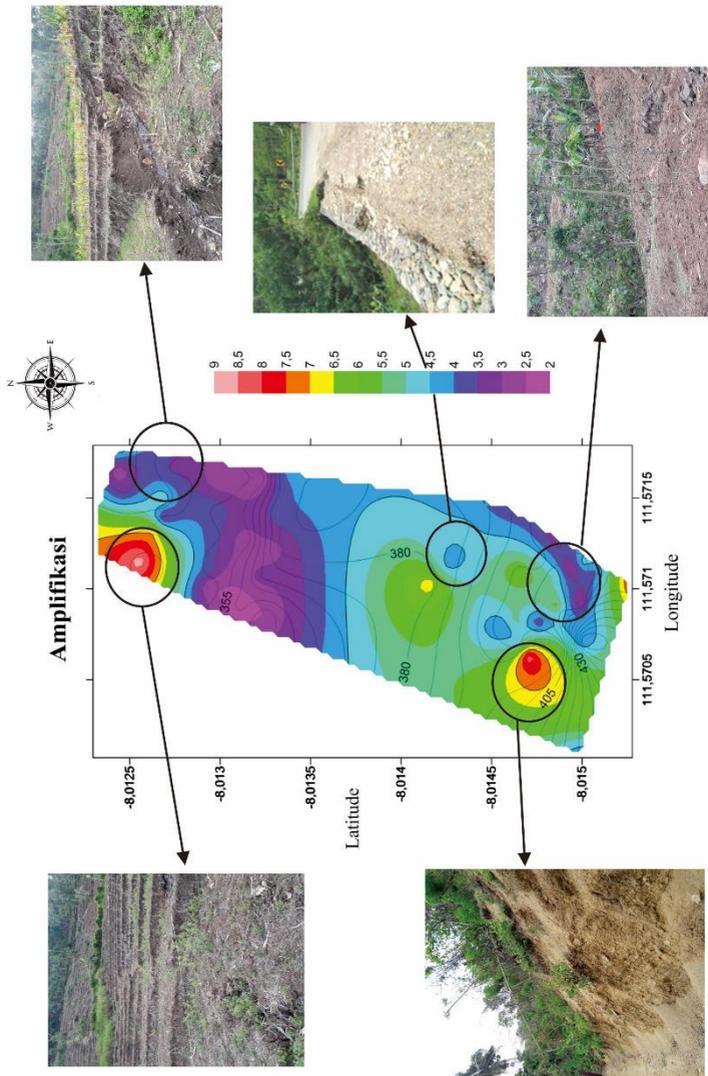
Gambar 4.4 Peta frekuensi natural yang dikorelasikan dengan daerah penelitian

Lokasi tersebut sebagian besar merupakan daerah persawahan (**Gambar 4.5**) yang memiliki kondisi geologi sebaran batuan lempung dan batuan pasir merata. Selain itu pada ketinggian 380 mdpl – 420 mdpl juga menunjukkan persebaran nilai frekuensi natural dominan antara 3,5 Hz – 5 Hz. Artinya, daerah ini dimungkinkan berupa tanah yang lunak dan kandungan sedimen yang tebal. Hal ini sesuai dengan kondisi geologi daerah tersebut yang merupakan sebaran batuan berupa tanah lempung dan memiliki kandungan air yang tinggi. Selain itu, daerah pada lokasi penelitian tersusun seperti lereng-lereng dengan kondisi tanah yang basah. tekanan air tinggi dan tersaturasi dalam tanah-tanah yang merekah.



Gambar 4.5 Kondisi geologi daerah sawah dengan ketinggian 310 mdpl – 350 mdpl.

Sedangkan, rata-rata besarnya nilai amplifikasi yang tersebar pada daerah pengukuran berkisar antara 2,58 hingga 6,86. Amplifikasi pada titik tertinggi terdapat pada titik M45 dengan nilai 8,74 di ketinggian 352 mdpl dan terendah pada titik M35 dengan nilai 2,21 ketinggian 362 mdpl (**Gambar 4.6**).



Gambar 4.6 Peta amplifikasi yang dikorelasikan dengan daerah penelitian

Menurut Towhata (2008) Amplifikasi pada gelombang seismik terjadi karena 4 sebab, diantaranya adanya lapisan lapuk yang terlalu tebal diatas lapisan keras pada suatu tempat, suatu wilayah yang memiliki frekuensi natural yang rendah, frekuensi natural gempa bumi dan geologi setempat sama atau mendekati sama, energi gempa terjebak dalam lapisan lapuk dengan waktu yang lama.

Secara fisis, energi yang terjebak dalam lapisan lapuk ini adalah akibat dari gelombang yang ditransmisikan dari lapisan *bedrock* menuju ke permukaan. Namun, sebelum sampai di lapisan permukaan gelombang tersebut terpantul dan menyebabkan energi dari yang direfleksikan semakin membesar hingga menyebabkan gelombang tersebut terjebak dalam waktu yang lama. Semakin banyaknya gelombang yang ditransmisikan pada lapisan tersebut, maka terjadilah interferensi gelombang yang menyebabkan gelombang-gelombang tersebut menjadi menyatu. Hal tersebut mengakibatkan besarnya nilai amplifikasi pada suatu daerah.

Pada hasil data yang telah diolah menunjukkan besarnya persebaran amplifikasi pada beberapa titik diantaranya, titik M1, titik M17, titik M44, dan titik M45. Nilai dengan persebaran amplifikasi yang tinggi ditunjukkan pada peta kontur sesuai pada **Gambar 4.6**. Pengukuran di titik 1 dan titik 17 terletak pada ketinggian 405 mdpl – 430 mdpl bagian utara dengan kondisi geologi lereng-lereng bekas longsoran pohon dan susunan batuan berupa campuran batuan breksi pasir dan batuan sedimen yang ditunjukkan pada **Gambar 4.7**.

Gambar 4.7 menunjukkan bahwa nilai amplifikasi tinggi terlihat pada peta kontur dengan nilai amplifikasi tersebut berkisar antara 6,5 – 8.6. Beberapa titik dengan kondisi nilai amplifikasi yang tinggi tersebar pada titik M40, M44, M45, dan M50 dibagian utara dan pada bagian selatan terdapat pada titik M1, M17, dan M20 dengan nilai amplifikasi diatas 6.



Gambar 4.7 Kondisi geologi daerah penelitian pada ketinggian 405 mdpl – 430 mdpl.

Selain itu, kondisi ini didukung dengan geologi daerah setempat yang memiliki sebaran batuan sedimen dan batuan breksi pasir yang terdistribusi sepanjang daerah pengukuran. Analisa ini dimungkinkan adanya lapisan lapuk yang tebal diatas lapisan keras ataupun adanya energi yang terjebak di dalam lapisan lapuk dalam waktu yang lama.

Terdapat parameter yang mempengaruhi nilai frekuensi natural dan amplifikasi suatu daerah, parameter dari frekuensi natural ialah ketebalan lapisan (h) dan juga kecepatan rambat (V_s). Dari sini dapat dilihat bahwa besarnya nilai frekuensi natural pada titik-titik pengukuran memiliki nilai yang hampir sama. Kondisi tersebut dikarenakan pada titik pengukuran seluruhnya memiliki nilai kedalaman lapisan sedimen yang mendekati sama dan juga nilai V_s di tiap titik yang hampir sama. Sehingga, didapatkan nilai frekuensi natural yang sama pula.

Sedangkan parameter untuk amplifikasi diantaranya; ketebalan lapisan (h), kecepatan rambat (V_s), densitas (ρ), dan redaman/quasi (Q). Keempat parameter ini mempengaruhi terjadinya amplifikasi pada suatu lapisan.

Terdapat perbedaan parameter antara frekuensi natural dan amplifikasi. Oleh karena itu dalam penentuan daerah rawan

longsor ini tidak dapat ditentukan apabila hanya melihat dari besarnya nilai frekuensi natural saja, dan nilai amplifikasi saja.

Oleh karena itu, Nakamura mengusulkan perhitungan indeks kerentanan tanah (K_g) yang didapatkan dari parameter-parameter HVSR meliputi frekuensi natural dan amplifikasi. Sehingga penentuan daerah rawan longsor dan zona likuifaksi dapat ditentukan.

4.3.2 Peta sebaran nilai Indeks kerentanan tanah

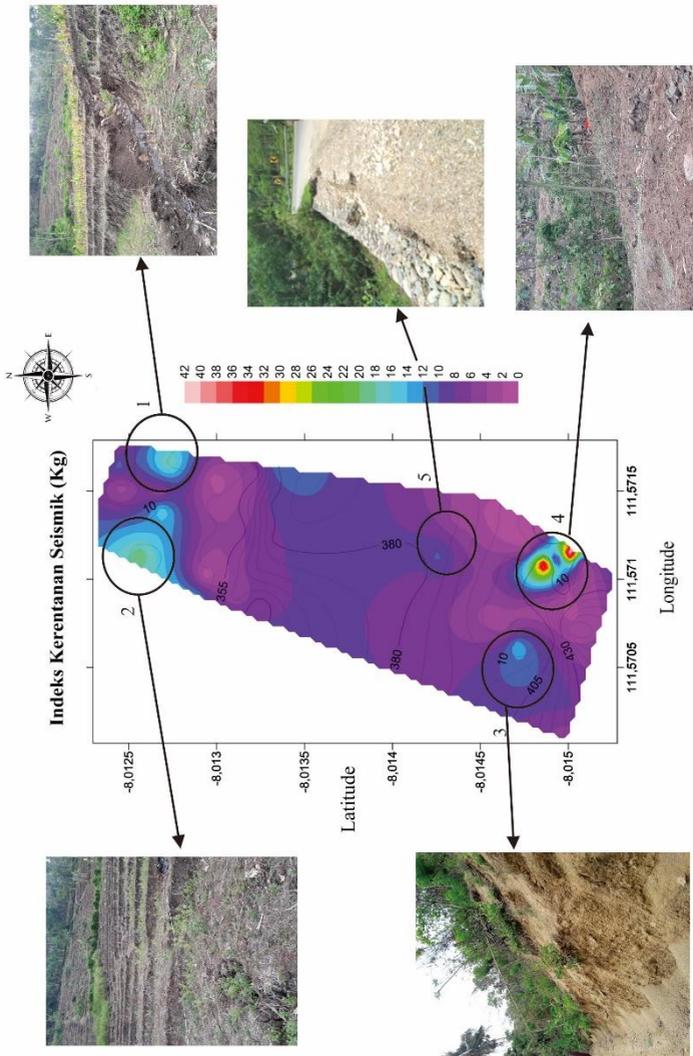
Analisa selanjutnya ialah peta sebaran indeks kerentanan tanah. Dari hasil pengolahan didapatkan beberapa lokasi yang memiliki nilai kerentanan tinggi. Area yang memiliki nilai kerentanan tinggi terdapat pada 4 lokasi yang ditandai dengan lingkaran bernomor 1, 2, 3, dan 4 yang ditunjukkan **Gambar 4.8**.

Indeks kerentanan tanah berfungsi mengidentifikasi daerah yang berpotensi mengalami likuifaksi saat terdapat gerakan tanah yang kuat (Nakamura, 1997,2000).

Gambar 4.8 menunjukkan peta kontur persebaran nilai kerentanan tanah yang di *overlay* dengan nilai ketinggian suatu daerah. Hasilnya menunjukkan peta kontur yang berwarna biru muda hingga merah memiliki nilai kerentanan tanah yang cukup tinggi.

Gambar yang ditandai lingkaran garis hitam nomor 1 bagian utara menunjukkan besarnya kerentanan tanah berkisar 8 hingga 18. Titik-titik yang memiliki nilai kerentanan tanah tinggi pada lingkaran kuning nomor diantaranya M40, M43, dan M47.

Pada wilayah tersebut juga ditemukan adanya patahan dengan lebar kurang lebih 1 meter membelah sebagian sawah. Arah dari patahan tersebut mengarah ke bagian selatan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8. Hasil persebaran nilai kerentanan tanah yang dihubungkan dengan kondisi geologi daerah setempat.

Selanjutnya, Gambar 4.8 dengan ditandai lingkaran garis nomor 2 menunjukkan area dengan warna biru hingga hijau muda dengan rata-rata nilai kerentanan tanah 14 hingga 22. Titik-titik dengan nilai kerentanan tanah tinggi berada di titik M50, M45, M44, dan M43. Pada wilayah tersebut memiliki nilai amplifikasi yang cukup tinggi dengan frekuensi natural yang rendah. Wilayah tersebut diduga memiliki lapisan lapuk lebih tebal dibandingkan lapisan keras dibawahnya. Kondisi geologi pada daerah tersebut memiliki susunan batuan lempung dan sedimen yang tersebar merata.

Lingkaran garis nomor 3 yang terletak di bagian selatan pengukuran terdapat anomali nilai kerentanan tanah yang cukup tinggi. Titik pada daerah tersebut ialah M17 dengan nilai kerentanan tanah 13,94. Kondisi geologi pada daerah tersebut sama persis dengan Gambar 4.7 yang memiliki persebaran batuan sedimen dan batuan pasir. Hal ini dimungkinkan adanya lapisan sedimen lapuk lebih tebal dari lapisan dibawahnya. Selain itu, kondisi geologi daerah tersebut juga bekas area longsoran pohon-pohon besar.

Selanjutnya, lingkaran garis nomor 4 pada Gambar 4.8 menunjukkan persebaran nilai kerentanan tanah skala 14 hingga 40. Nilai kerentanan pada titik tersebut mencapai 42,47 hingga 44,46. Kondisi geologi daerah tersebut sebagian besar tersebar batuan lempung dan sebagian batuan pasir. Selain itu, banyak dijumpai rekahan-rekahan yang bercabang berkedalaman hingga 60 cm. Kondisi tanah pada daerah tersebut bersifat basah dan memiliki tekanan air yang relatif tinggi. Dapat diperkirakan kondisi tersebut merupakan daerah dengan potensi likuifaksi dan longsor.

4.3.3 Hubungan *ground shear-strain* dengan indeks kerentanan tanah

Indeks kerentanan tanah memiliki kaitan erat dengan *ground shear strain*. Hal ini dikarenakan dalam mengestimasi

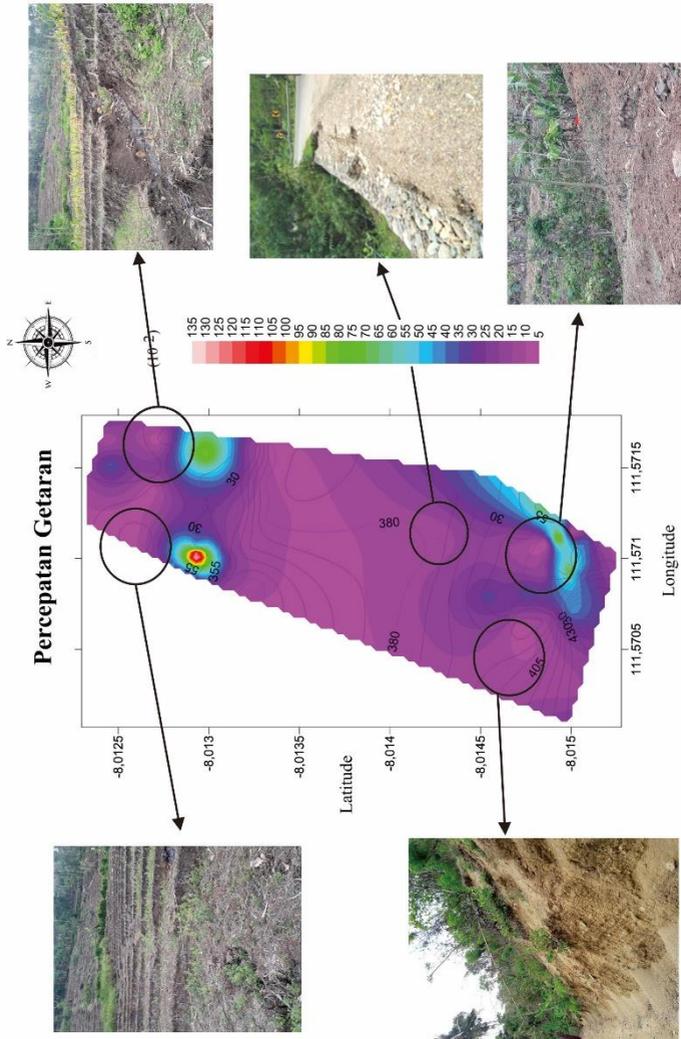
nilai indeks kerentanan (K_g) perlu memperhatikan nilai *shear strain* (γ) (Ngunyen dkk, 2009).

Berdasarkan hasil pengolahan dan pengukuran didapatkan besarnya nilai *shear strain* sebesar 10^{-2} yang disesuaikan dengan kondisi seperti pada Tabel 2.2. Setelah didapatkan nilai *shear strain* tersebut dilanjutkan menentukan besarnya nilai percepatan getaran batuan (α).

Hasil yang didapatkan dari perhitungan besarnya nilai kerentanan tanah selalu berbanding terbalik dengan nilai percepatan getaran batuan. Apabila nilai kerentanan daerah tersebut tinggi, maka bisa dipastikan nilai percepatan getaran akan kecil dan berlaku sebaliknya. Dapat ditunjukkan pada **Gambar 4.9** yang dikorelasikan dengan **Gambar 4.8**. Daerah dengan indeks kerentanan tinggi akan memiliki nilai percepatan getaran yang rendah dan berlaku sebaliknya.

Menurut Ishara (1978) lapisan tanah akan mengalami kondisi plastis jika nilai *shear strain* berkisar 1000×10^{-6} dan untuk nilai *shear strain* $> 10.000 \times 10^{-6}$ kondisi tanah rentan terjadi rekahan, longsor, dan likuifaksi apabila terjadi gempa bumi. Hal tersebut juga disampaikan oleh Nakamura (1977). Sehingga, zona yang ditandai dengan nilai kerentanan tanah tinggi bisa dikatakan memiliki potensi longsor dan potensi likuifaksi.

Oleh karena itu, diperlukan korelasi terhadap pengukuran metode geofisika lainnya seperti VLF-EM, Resistivitas, Self-Potential untuk mengetahui daerah potensi longsor. Selain itu, data log bor jupapat dijadikan pembanding untuk mengetahui kondisi fisik di bawah permukaan.



Gambar 4.9 Hasil persebaran nilai percepatan getaran yang dihubungkan dengan kondisi geologi daerah setempat.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Hasil analisa data mikrotremor menggunakan parameter HVSR yang terukur di lapangan berada di Desa Pangkal Kecamatan Sawoo, didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

- a. Daerah potensi longsor dapat ditentukan dengan menggunakan data mikrotremor metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* yang menghasilkan nilai frekuensi natural dan amplifikasi.
- b. Daerah yang memiliki nilai kerentanan tanah tinggi dan percepatan getaran minimum yang rendah, berkaitan dengan kondisi tanah yang rentan terjadinya longsor. Hal tersebut sesuai dengan kondisi geologi daerah setempat (ditemui adanya retakan-retakan dan patahan).

5.2 Saran

Berdasarkan hasil yang didapat dari tugas akhir ini, penulis menyarankan untuk penelitian kedepan sebaiknya :

1. Adanya korelasi perbandingan dengan menggunakan metode geofisika lainnya seperti VLF-EM, Resistivitas, Self-Potential dan lain-lain.
2. Adanya data log bor untuk memastikan hasil dari data mikrotremor pengukuran ini.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Andika, Putra., 2014. *Indeks kerentanan seismik kabupaten Kulon Progo berdasarkan data Mikrotremor*. Yogyakarta: Prodi Fisika Universitas Negeri Yogyakarta.
- Asten, M.W., 1978. Geological Control on The Three-Component Spectra of Rayleigh-wave Microseisms. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 68, 1623–1636.
- Asten, M.W., Henstridge, J.D., 1984. Array estimators and the use of microseisms for reconnaissance of sedimentary basins. *Geophysics* 49, 1828–1837.
- Bemmelen, R.W.V., 1949. *The Geology of Indonesia Vol. 1A*.
- Cruden DM, Varnes DJ., 1996. *Landslide types and processes*. In: *Turner AK, Schuster RL (eds) Landslides, investigation and mitigation*, special report 247. Transportation Research Board, Washington, DC, pp 36–75
- Dal Moro, G., 2010. Some Thorny Aspects about Surface Wave and HVSR Analyses: an Overview. *Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata*, special issue, submitted.
- Guzzetti F, Mondini AC, Cardinali M, Fiorucci F, Santangelo M, Chang KT (2012) Landslide inventory maps: new tools for an old problem. *Earth-Sci Rev* 112(1):42–66. doi:10.1016/j.earscirev.2012.02.001
- Gutenberg, B., 1958. Microseisms. *Adv. Geophys.* 5, 53–92.
- Herak, M., (2008). ModelHVSR: a Matlab tool to model horizontal-to-vertical spectral ratio of ambient noise. *Computers and Geosciences* 34, 1514–1526.
- Indrianti, Yesika Wahyu, dkk. 2013. *Pemodelan konfigurasi Batuan Dasar dan Struktur Geologi Bawah Permukaan Menggunakan Data Anomali Gravitasi Di Daerah Pacitan-Arjosari-Tegalombo, Jawa Timur*. Malang : Universitas Brawijaya.
- Ishihara, K., 1978, *Introduction to Dynamic Soil Mechanism*, Japan.

- Mirzaoglu, M., 2003, Application of Microtremors to Seismic Microzoning Procedural, Journal of the Balkan Geophysical Society, Vol. 6, No. 3, August, 2003, p. 143 – 156. Greece.
- Nakamura, Y., 2000. Clear identification of fundamental idea of Nakamura's technique and its applications. Proc XII World Conf. Earthquake Engineering, New Zealand, 2656
- Nakamura, Y., 1997. Seismic Vulnerability Indices For Ground And Structures Using Microtremor. World Congress on Railway Research, Florence, Nov.
- Niu et al 2014; Wu et al. 2014 Wu X, Ren F, Niu R (2014) Landslide susceptibility assessment using object mapping units, decision tree, and support vector machine models in the three gorges of China. Environ Earth Sci 71(11):4725–4738. doi:10.1007/s12665-013-2863-4
- Putra, Adi, 2017. *Penilaian Potensi Tanah Longsor Menggunakan Metode VLF-EM di Daerah Jalan Raya Trenggalek–Ponorogo KM 25*. Surabaya: Departemen Fisika MIPA ITS.
- Samodra H., S., 1992. *Geologi Lembar Ponorogo, Jawa*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Indonesia.
- Sampurna dan Samodra, H, Gafoer., 1997. *Peta Geologi lembar Ponorogo, Jawa*. Sekala 1:100.000. Puslitbang
- Sassa, K., Tsuchiya, S., Fukuoka, H., Mikos, M., Doan, L., 2015. Landslides: review of achievements in the second 5-year period (2009–2013). Landslides 12, 213–223. doi:10.1007/s10346-015-0567-4
- Shi et al., 2016 Shi, J.S., Wu, L.Z., Wu, S.R., Li, B., Wang, T., Xin, P., 2016. *Analysis of the causes of large-scale loess landslides in Baoji, China*. Geomorphology 264, 109–117. doi:10.1016/j.geomorph.2016.04.013
- Sungkono dan Santosa., 2011. Karakterisasi Kurva Horizontal-To-Vertical Spectral Ratio: Kajian Literatur Dan Permodelan. Surabaya: Jurusan Fisika MIPA ITS

- Sungkono, 2011. Inversi Terpisah dan Simultan Dispersi Gelombang Rayleigh dan Horizontal to Vertical Spectral Ratio Menggunakan Algoritma Genetik (Thesis ITS). ITS, Surabaya.
- Tokimatsu, K, 1995, “*Geotechnical site characterization using surface waves*”, In *Proc. 1st Intl. Conf. Earthquake Geotechnical Engineering*, Ishihara (ed), Balkema, 1333-1368
- USGS, 2004. *Landslide Types and Processes*. <http://landslides.usgs.gov> .diakses tanggal 10 September 2017.
- Yuniarta, H., 2015. *Kerawanan Bencana Tanah Longsor Kabupaten Ponorogo*.Surakarta: Jurusan Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret Surakarta.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Lampiran 1

Pada lampiran ini dilakukan perhitungan untuk mengetahui besarnya nilai indeks kerentanan tanah (Kg) dan juga percepatan getaran yang didapatkan dari beberapa rumusan (Nakamura, 1997) sebagai berikut :

$$Kg = \frac{A^2}{f_0}$$

$$\gamma = K_g \cdot \alpha$$

Maka,

$$\alpha = \frac{\gamma}{Kg}$$

Tabel 1. Data posisi titik dan ketinggian (mdpl)

NAMA TITIK	Longitude	Latitude	Ketinggian (mdpl)
M1	111,571028	-8,015278	419,000
M2	111,571074	-8,015151	422,000
M3	111,571097	-8,015077	407,000
M4	111,571083	-8,014868	410,000
M5	111,571142	-8,015007	404,000
M6	111,571275	-8,014848	409,000
M7	111,571158	-8,014765	396,000
M8	111,571107	-8,014647	401,000
M9	111,570827	-8,014635	402,000
M10	111,570792	-8,014542	402,000
M11	111,570692	-8,014643	402,000
M12	111,570817	-8,014762	403,000
M13	111,570908	-8,014853	410,000
M14	111,571112	-8,014928	401,000
M15	111,570925	-8,015000	400,000
M16	111,570668	-8,014887	390,000
M17	111,570630	-8,014707	386,000
M18	111,570910	-8,015040	427,000
M19	111,570713	-8,015007	457,000
M20	111,570273	-8,014998	426,000
M21	111,570071	-8,014997	426,000
M22	111,571032	-8,014158	378,000
M23	111,571135	-8,014264	383,000
M24	111,571332	-8,014352	384,000
M25	111,571472	-8,014572	393,000
M26	111,571630	-8,013353	381,000

M27	111,571422	-8,013315	381,000
M28	111,571223	-8,013308	380,000
M29	111,571060	-8,013218	370,000
M30	111,570857	-8,013250	351,000
M31	111,571600	-8,013225	351,000
M32	111,571272	-8,013138	351,000
M33	111,571272	-8,013145	351,000
M34	111,571068	-8,013093	357,000
M35	111,570905	-8,013103	362,000
M36	111,571580	-8,012978	346,000
M37	111,571437	-8,012970	351,000
M38	111,571070	-8,012935	351,000
M39	111,571020	-8,012932	344,000
M40	111,570902	-8,012878	349,000
M41	111,571653	-8,012728	346,000
M42	111,571490	-8,012678	335,000
M43	111,571390	-8,012687	346,000
M44	111,571317	-8,012633	346,000
M45	111,571147	-8,012562	352,000
M46	111,571788	-8,012437	331,000
M47	111,571646	-8,012437	333,000
M48	111,571517	-8,012460	335,000
M49	111,571382	-8,012297	344,000
M50	111,571197	-8,012297	343,000

Tabel 2. Data nilai amplifikasi dan frekuensi natural

NAMA TITIK	Amplifikasi	Frek Natural
1	7,8630	5,665160
2	5,4846	5,892360
3	3,8508	6,006380
4	4,7531	0,530648
5	4,8506	0,529118
6	3,1533	6,811340
7	4,8414	6,314090
8	5,9252	5,835560
9	5,2176	7,026140
10	3,9631	5,168370
11	4,7078	5,339170
12	3,4483	4,289100
13	5,7712	5,645330
14	2,5860	6,243100
15	2,6869	5,546030
16	5,6470	5,206270
17	8,4042	5,063460
18	4,2512	6,807630
19	4,0483	7,103170
20	6,1605	4,602830
21	3,7803	3,977030
22	6,8058	5,973780
23	4,1808	1,647950
24	4,6616	5,943250

25	3,5832	6,192020
26	4,0230	1,411530
27	3,8541	1,766910
28	2,8420	1,088660
29	3,1636	1,353530
30	2,5158	0,867375
31	2,5237	1,118000
32	2,7361	1,405250
33	2,8788	1,349540
34	2,6465	1,479500
35	2,2100	1,086790
36	2,7446	6,683280
37	3,9731	6,429490
38	3,5907	5,681640
39	2,5389	9,686900
40	3,6105	0,942666
41	3,4718	0,627533
42	5,0712	5,998750
43	3,2593	0,659531
44	6,8655	3,802570
45	8,7453	3,935600
46	5,2843	8,448450
47	2,5879	0,601346
48	3,5346	4,787900
49	6,4235	4,368480
50	7,1510	4,292370

Tabel 3. Data perhitungan nilai kerentanan tanah (Kg) dan percepatan getaran (α)

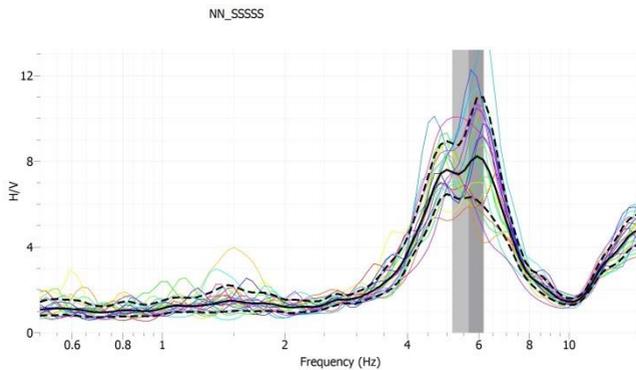
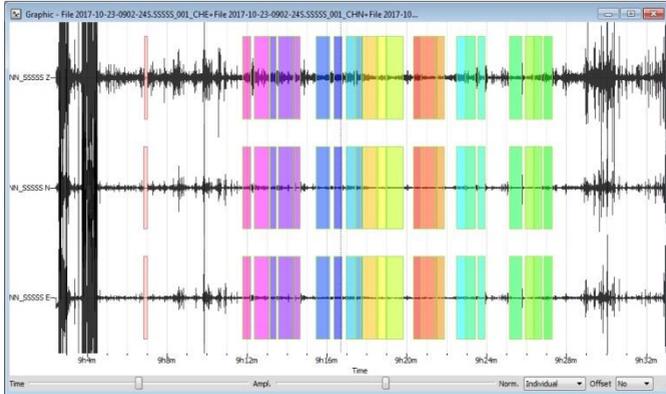
NAMA TITIK	Kg	Percepatan Getaran
M1	10,913508	9,162956583
M2	5,105038977	19,58848903
M3	2,468843908	40,50478836
M4	42,57446494	2,348825761
M5	44,46650714	2,24888363
M6	1,459824933	68,50136463
M7	3,712259609	26,93777121
M8	6,016216959	16,62174098
M9	3,874506913	25,80973586
M10	3,038946398	32,90614144
M11	4,151143962	24,08974512
M12	2,772355698	36,07040759
M13	5,899835544	16,94962499
M14	1,071157643	93,35694019
M15	1,301758704	76,81915219
M16	6,124996038	16,32654117
M17	13,9489743	7,168985897
M18	2,654721444	37,66873553
M19	2,3072649	43,34136058
M20	8,24539031	12,12798864
M21	3,5933776	27,82897072
M22	7,753770977	12,89695044
M23	10,60671713	9,427987831
M24	3,656288203	27,35014157
M25	2,073550403	48,22646213

M26	11,46594759	8,721477159
M27	8,406859372	11,89504851
M28	7,419336176	13,47829477
M29	7,394035302	13,52441474
M30	7,297190476	13,70390431
M31	5,696925437	17,55332786
M32	5,327222234	18,77150898
M33	6,14101621	16,28394985
M34	4,734006252	21,12375748
M35	4,494223172	22,25078643
M36	1,127148455	88,71945795
M37	2,455224514	40,72947278
M38	2,269236147	44,06769218
M39	0,665409917	150,2833028
M40	13,82886313	7,231252422
M41	19,20780917	5,206215821
M42	4,287105195	23,32576306
M43	16,10695553	6,208497924
M44	12,39540724	8,067504204
M45	19,43289389	5,145913963
M46	3,305226149	30,25511583
M47	11,13723202	8,978891687
M48	2,6093098	38,32431089
M49	9,445183522	10,58740677
M50	11,91355197	8,393802304

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

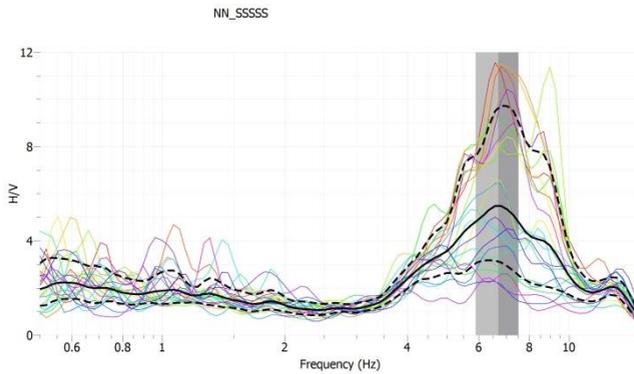
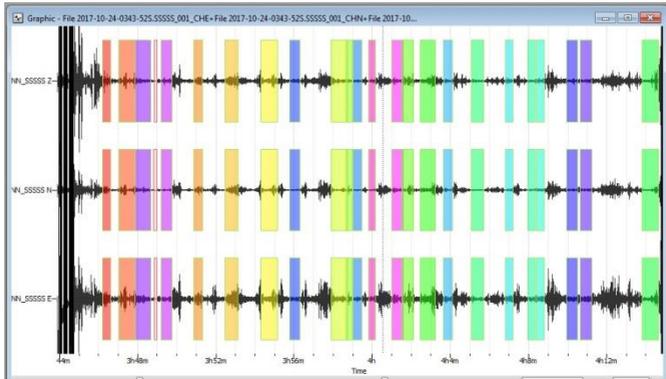
Lampiran 2 HASIL PENGOLAHAN METODE HVSR MENGUNAKAN GEOPSY

Hasil analisis HVSR titik 1



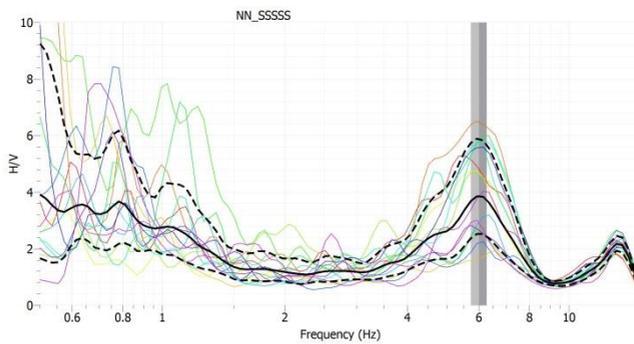
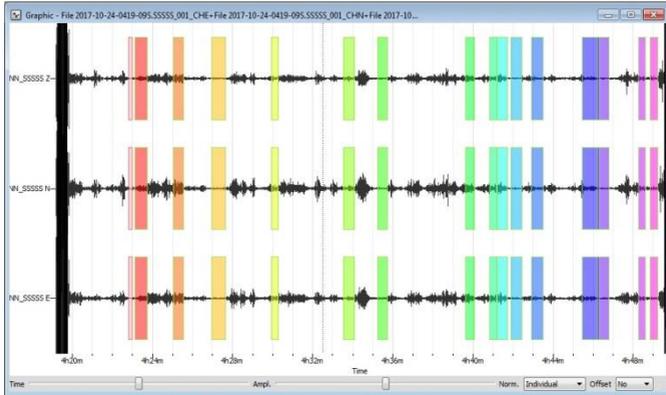
Dilakukan proses windowing sebanyak 22 windows dan didapatkan nilai frekuensi natural sebesar 5,665160 dan amplifikasi sebesar 7,8630.

Hasil analisis HVSR titik 2



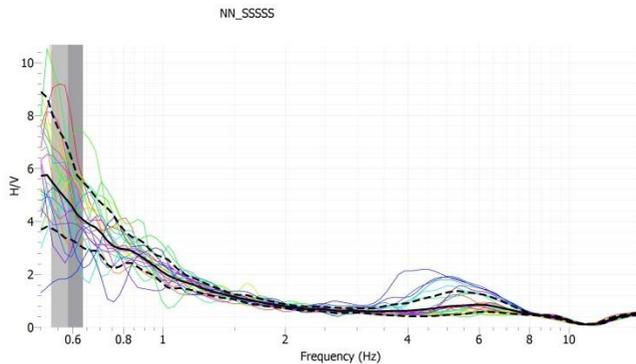
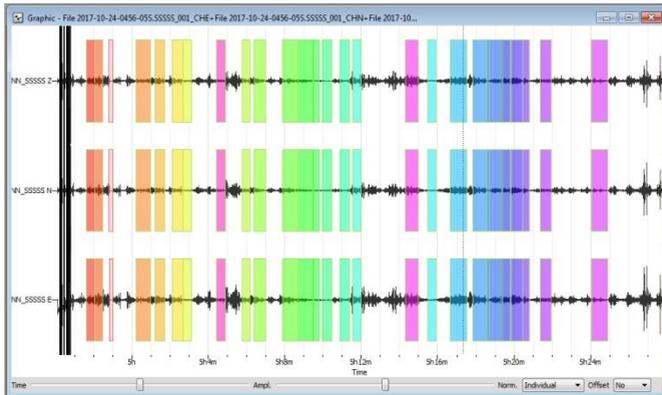
Dilakukan proses windowing sebanyak 23 windows dan didapatkan nilai frekuensi natural sebesar 5,892360 dan amplifikasi sebesar 5,4846

Hasil analisis HVSR titik 3



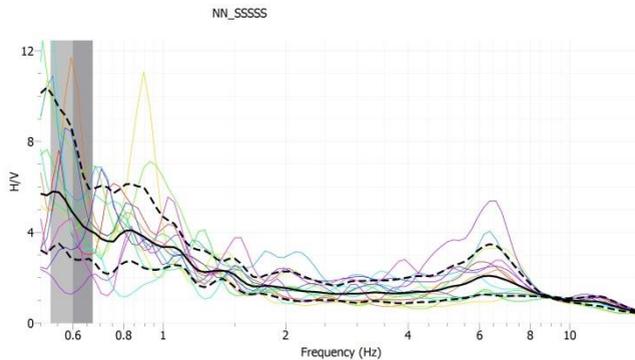
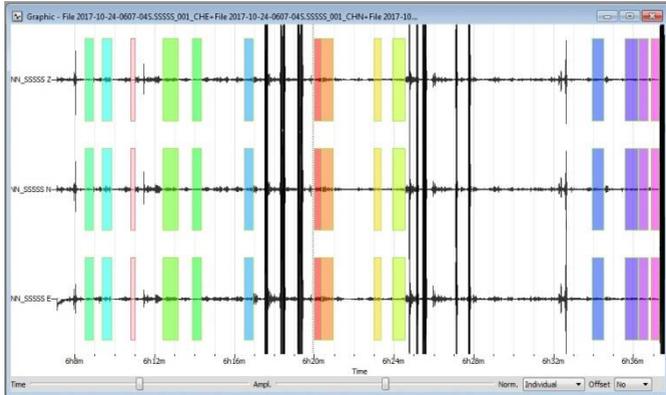
Dilakukan proses windowing sebanyak 15 windows dan didapatkan nilai frekuensi natural sebesar 6,006380 dan amplifikasi sebesar 3,8508

Hasil analisis HVSR titik 4



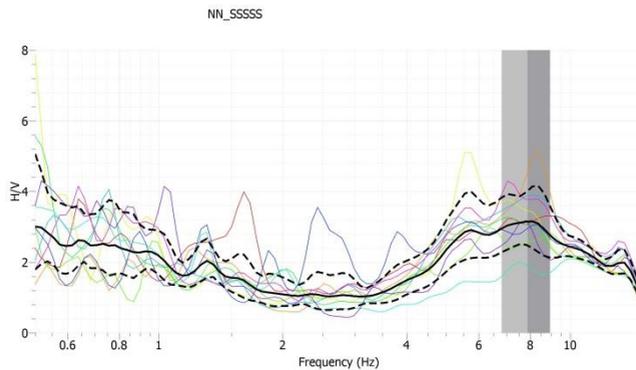
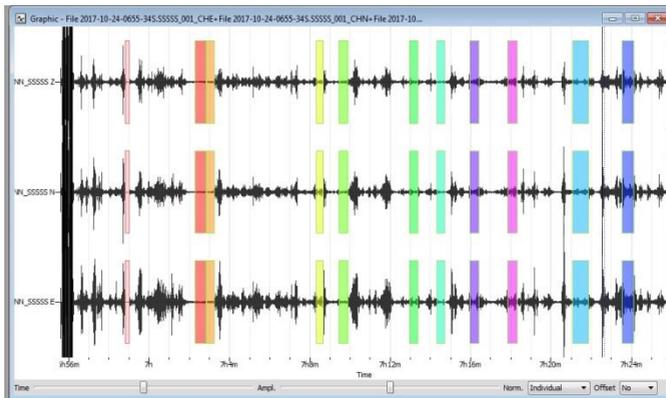
Dilakukan proses windowing sebanyak 25 windows dan didapatkan nilai frekuensi natural sebesar 4,7531 dan amplifikasi sebesar 4,7531

Hasil analisis HVSR titik 5



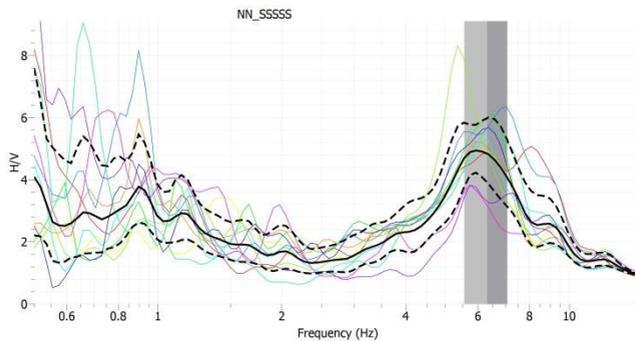
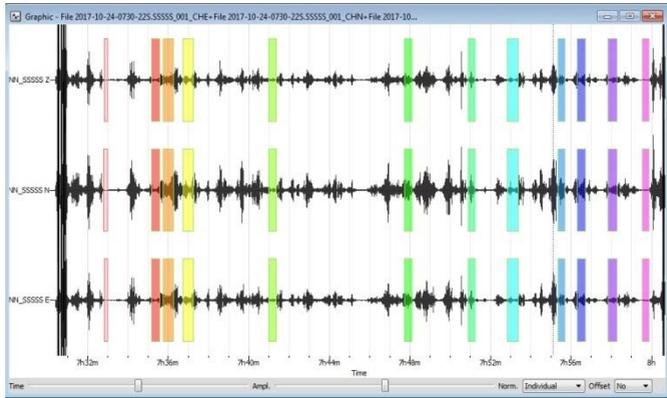
Dilakukan proses windowing sebanyak 13 windows dan didapatkan nilai frekuensi natural sebesar 0,529118 dan amplifikasi sebesar 4,8506

Hasil analisis HVSR titik 6



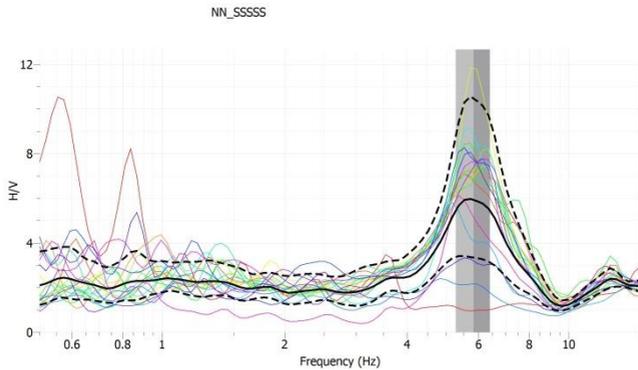
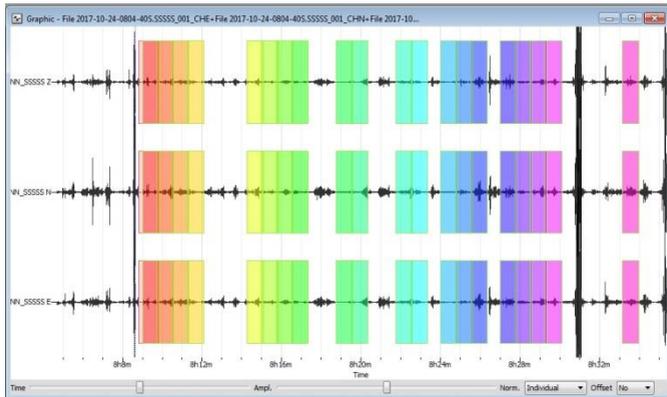
Dilakukan proses windowing sebanyak 10 windows dan didapatkan nilai frekuensi natural sebesar 6,81134 dan amplifikasi sebesar 3,15331.

Hasil analisis HVSR titik 7



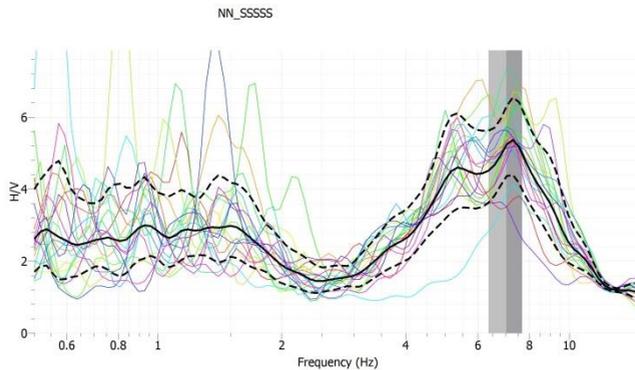
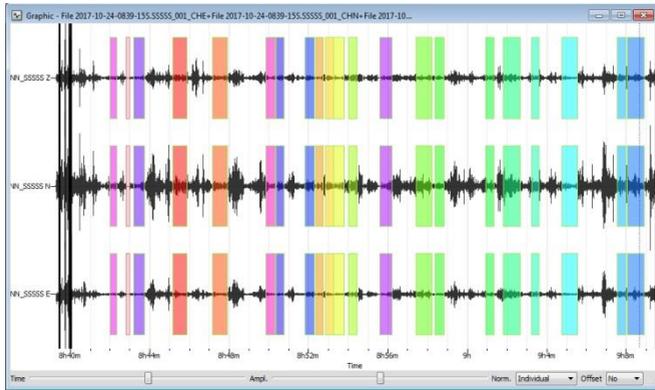
Dilakukan proses windowing sebanyak 11 windows dan didapatkan nilai frekuensi natural sebesar 6,31409 dan amplifikasi sebesar 4,84144.

Hasil analisis HVSR titik 8



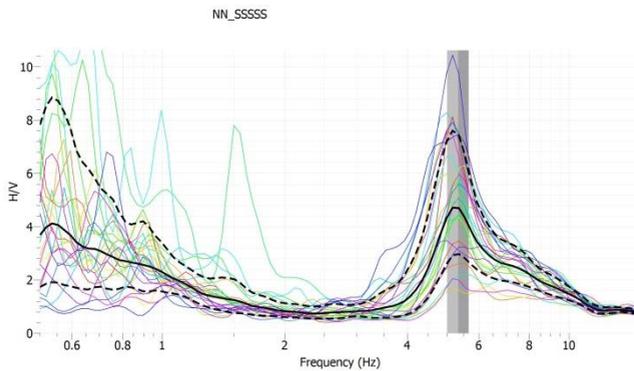
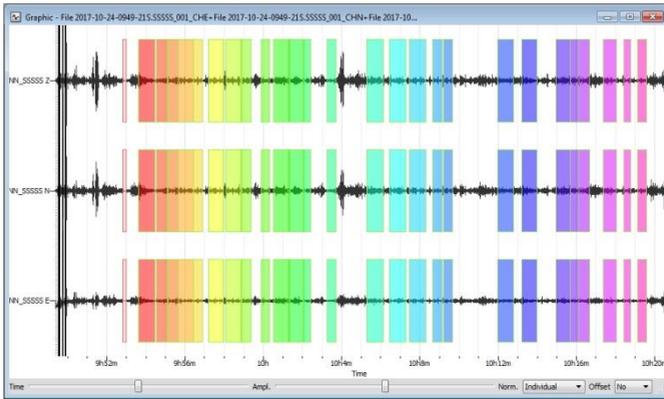
Dilakukan proses windowing sebanyak 20 windows dan didapatkan nilai frekuensi natural sebesar 5,835560 dan amplifikasi sebesar 5,9252.

Hasil analisis HVSR titik 9



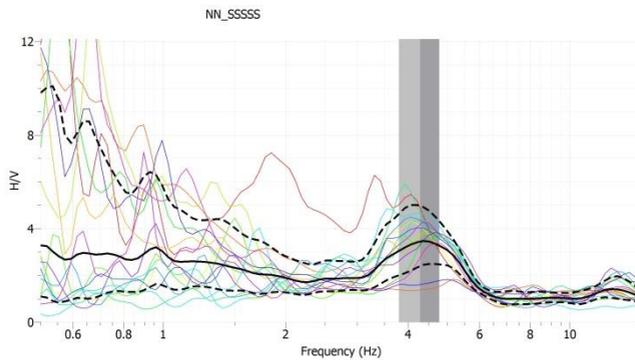
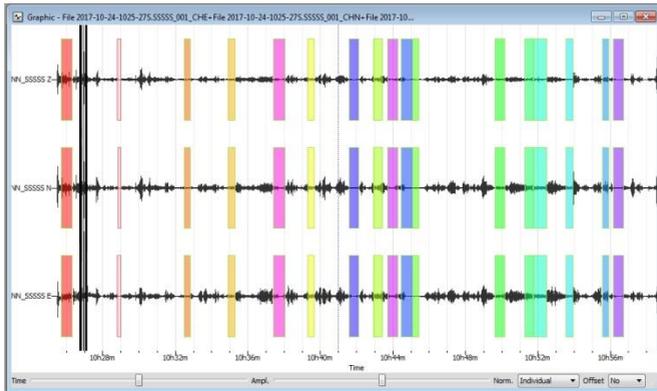
Dilakukan proses windowing sebanyak 20 windows dan didapatkan nilai frekuensi natural sebesar 7,026140 dan amplifikasi sebesar 5,2176.

Hasil analisis HVSR titik 11



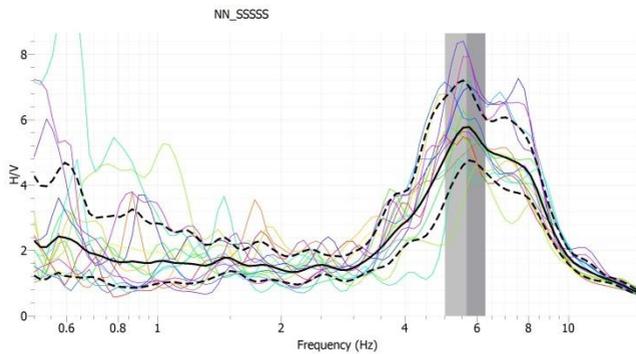
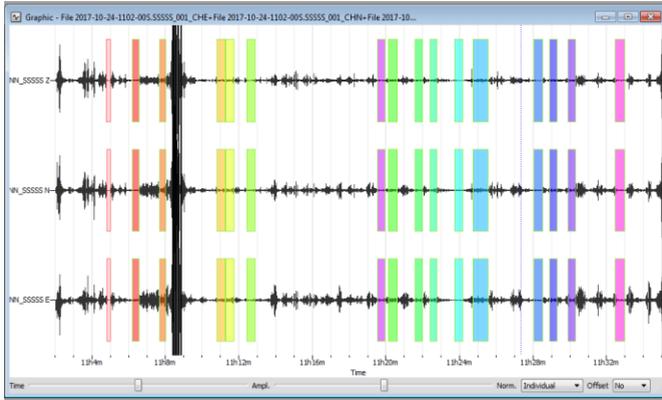
Dilakukan proses windowing sebanyak 26 windows dan didapatkan nilai frekuensi natural sebesar 5,339170 dan amplifikasi sebesar 4,7078.

Hasil analisis HVSR titik 12



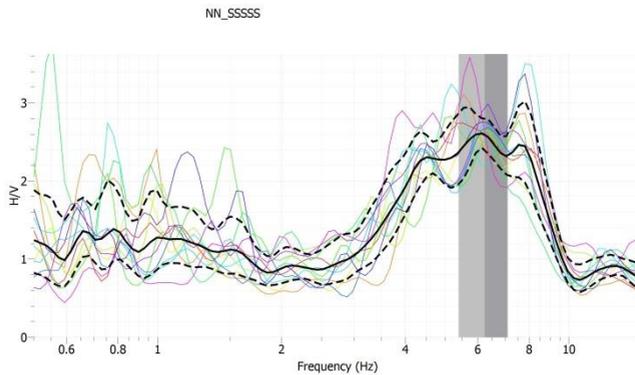
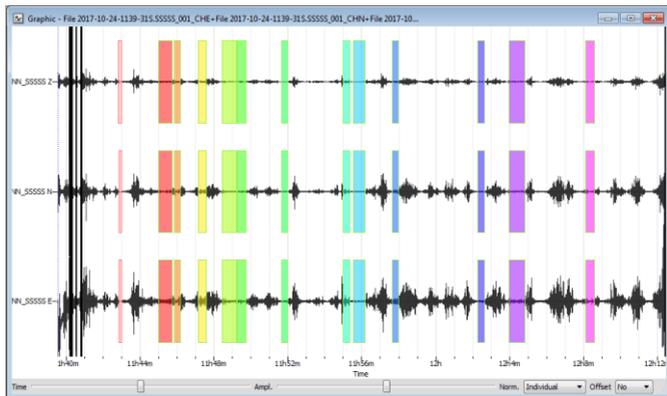
Dilakukan proses windowing sebanyak 16 windows dan didapatkan nilai frekuensi natural sebesar 4,289100 dan amplifikasi sebesar 3,4483.

Hasil analisis HVSR titik 13



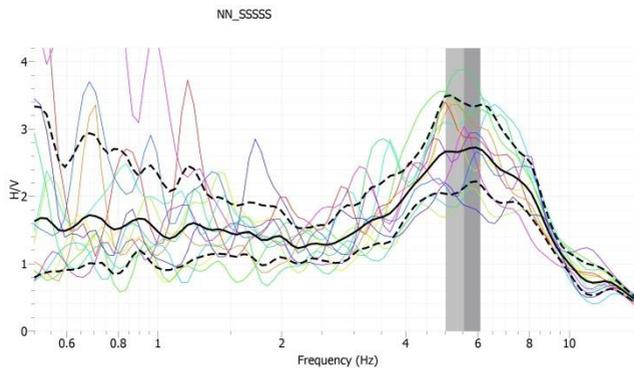
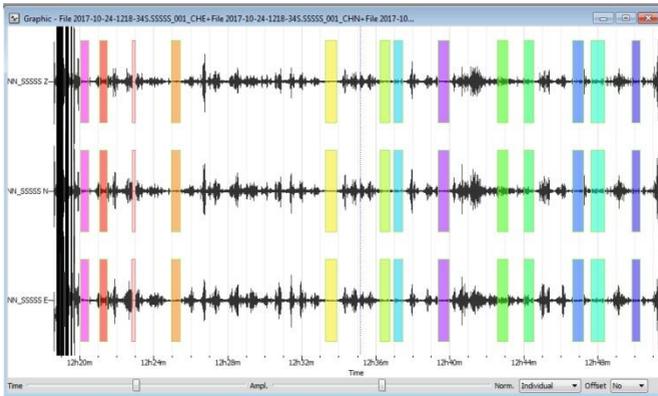
Dilakukan proses windowing sebanyak 15 windows dan didapatkan nilai frekuensi natural sebesar 5,645330 dan amplifikasi sebesar 5,7712.

Hasil analisis HVSR titik 14



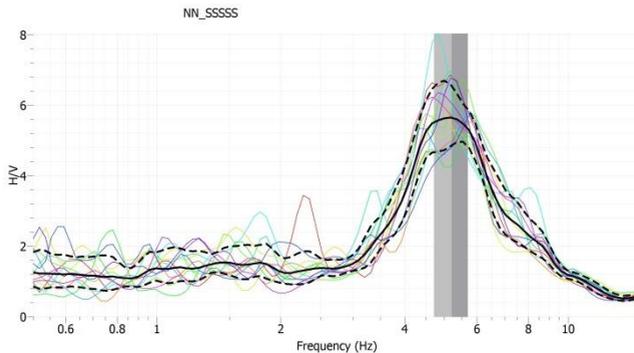
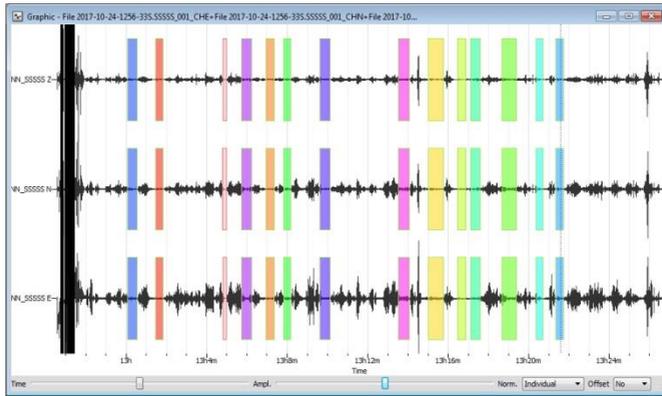
Dilakukan proses windowing sebanyak 12 windows dan didapatkan nilai frekuensi natural sebesar 6,243100 dan amplifikasi sebesar 2,5860.

Hasil analisis HVSR titik 15



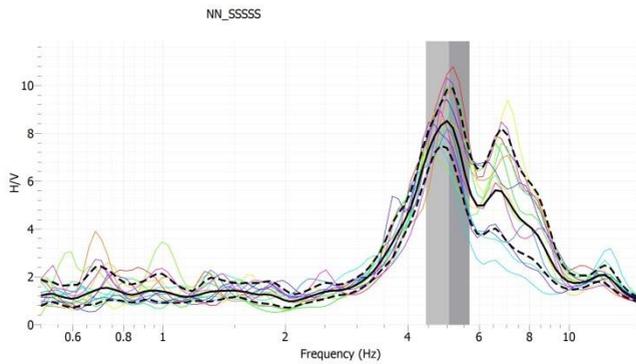
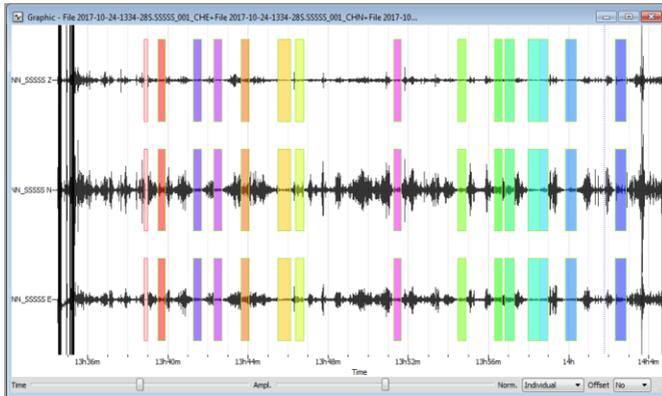
Dilakukan proses windowing sebanyak 12 windows dan didapatkan nilai frekuensi natural sebesar 5,546030 dan amplifikasi sebesar 2,6869.

Hasil analisis HVSR titik 16



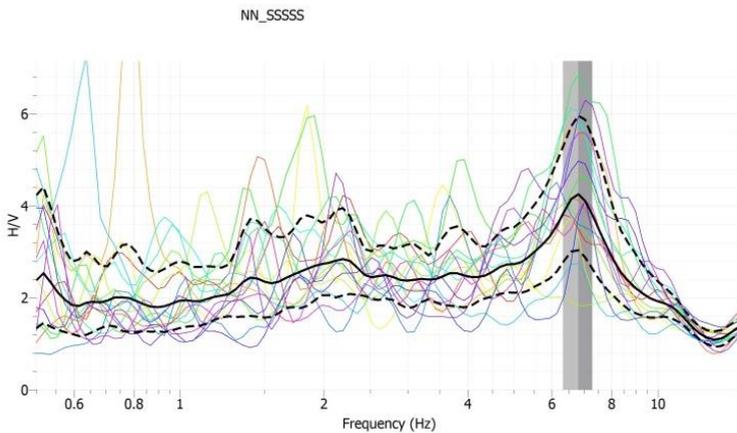
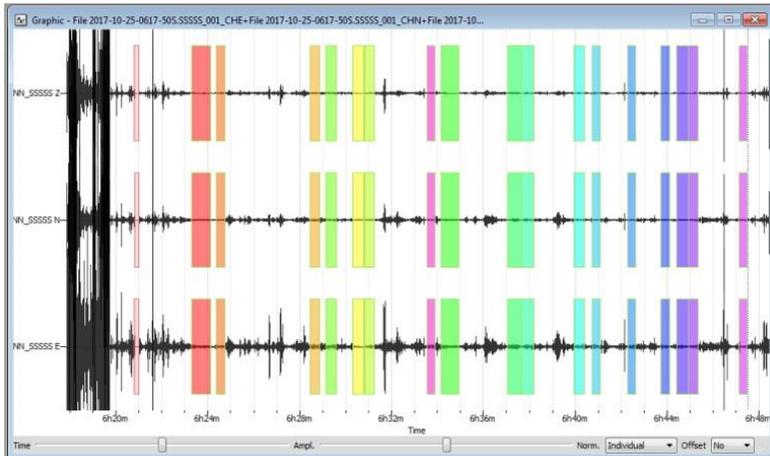
Dilakukan proses windowing sebanyak 13 windows dan didapatkan nilai frekuensi natural sebesar 5,206270 dan amplifikasi sebesar 5,6470.

Hasil analisis HVSR titik 17



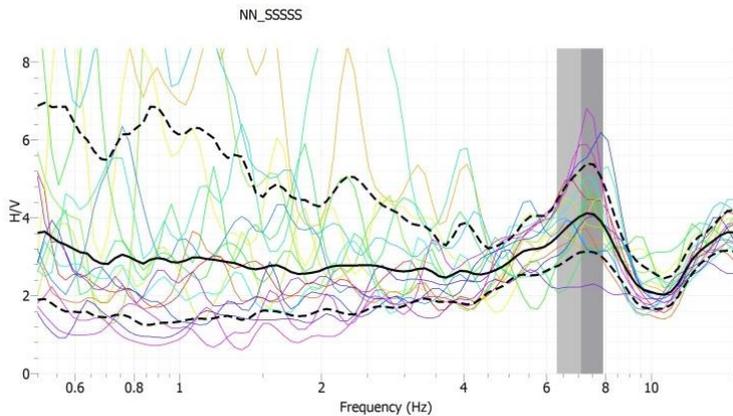
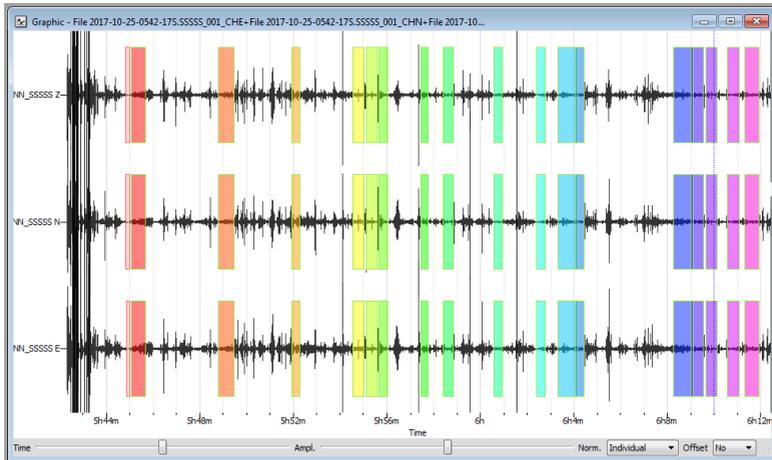
Dilakukan proses windowing sebanyak 14 windows dan didapatkan nilai frekuensi natural sebesar 5,063460 dan amplifikasi sebesar 8,4042.

Hasil analisis HVSR titik 18



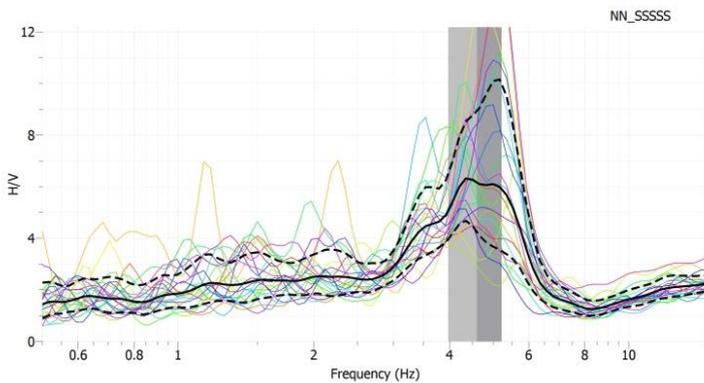
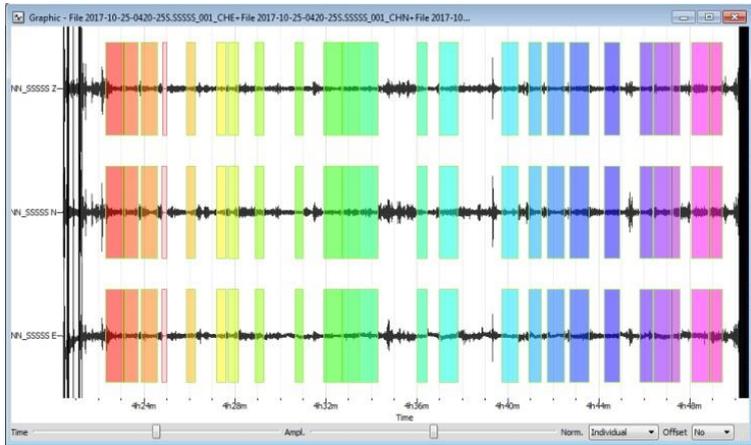
Dilakukan proses windowing sebanyak 17 windows dan didapatkan nilai frekuensi natural sebesar 6,807630 dan amplifikasi sebesar 4,2512.

Hasil analisis HVSR titik 19



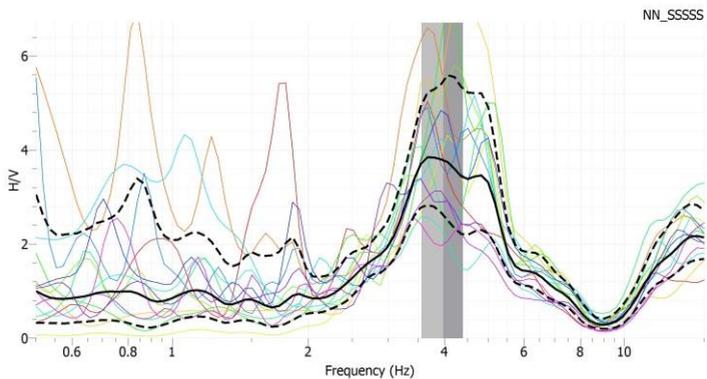
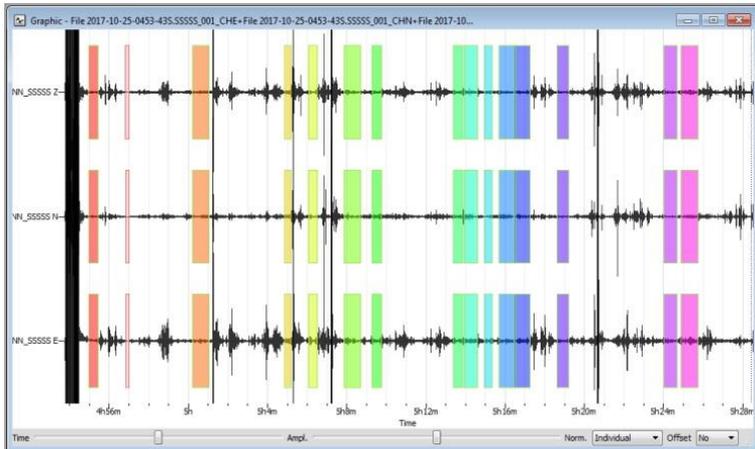
Dilakukan proses windowing sebanyak 17 windows dan didapatkan nilai frekuensi natural sebesar 7,103170 dan amplifikasi sebesar 4,0483.

Hasil analisis HVSR titik 20



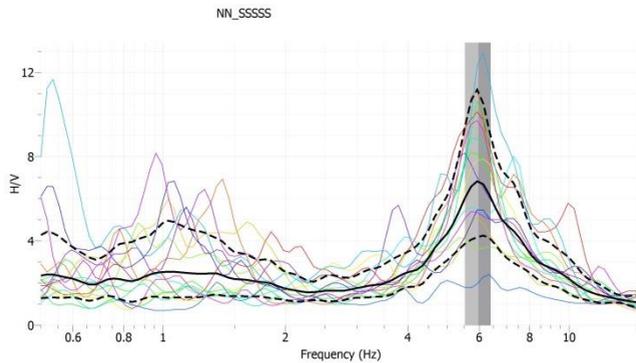
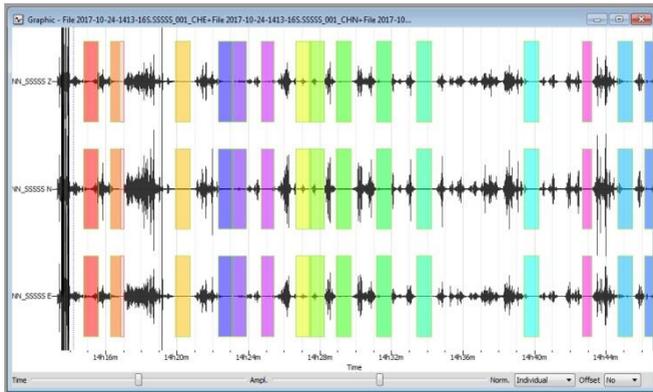
Dilakukan proses windowing sebanyak 23 windows dan didapatkan nilai frekuensi natural sebesar 4,602830 dan amplifikasi sebesar 6,1605.

Hasil analisis HVSR titik 21



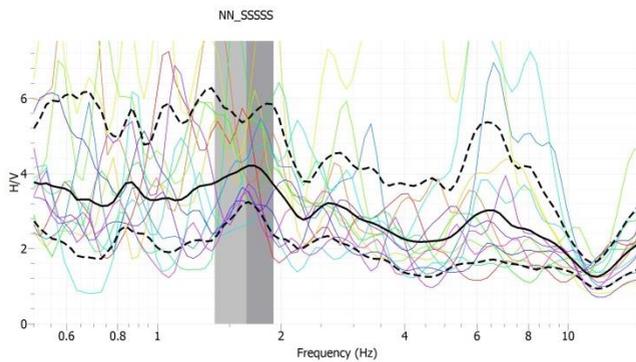
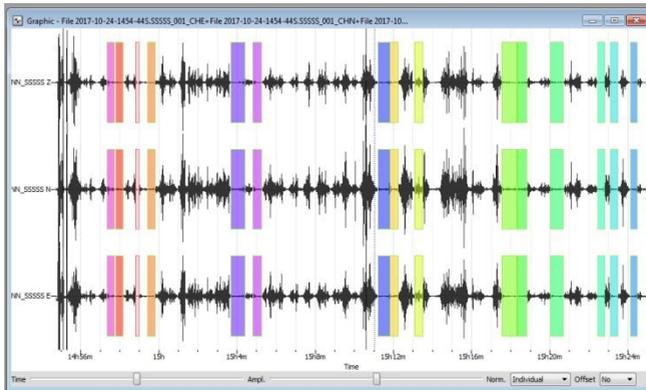
Dilakukan proses windowing sebanyak 14 windows dan didapatkan nilai frekuensi natural sebesar 3,977030 dan amplifikasi sebesar 3,7803.

Hasil analisis HVSR titik 22



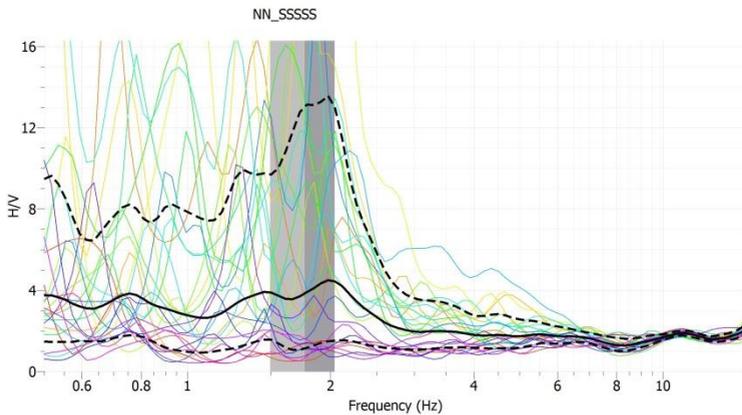
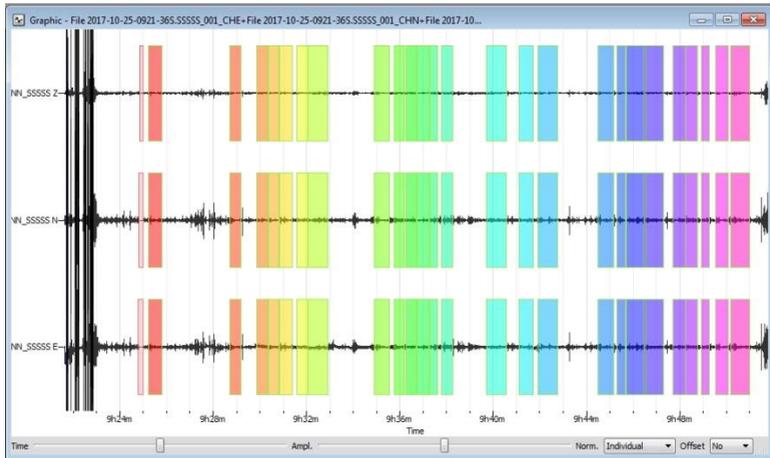
Dilakukan proses windowing sebanyak 15 windows dan didapatkan nilai frekuensi natural sebesar 5,973780 dan amplifikasi sebesar 6,8058.

Hasil analisis HVSR titik 23



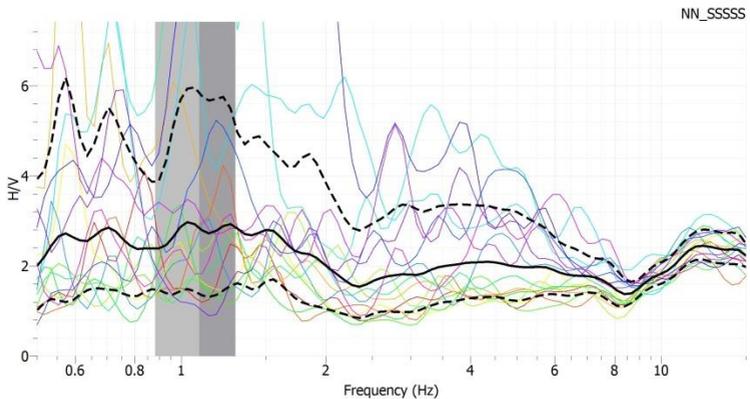
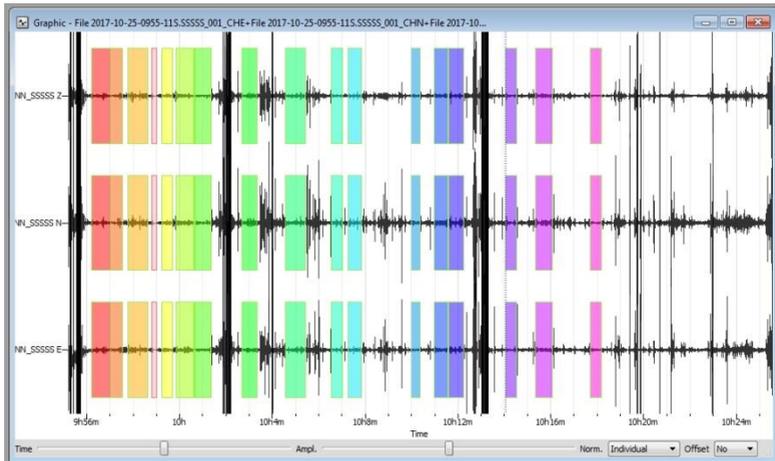
Dilakukan proses windowing sebanyak 14 windows dan didapatkan nilai frekuensi natural sebesar 1,647950 dan amplifikasi sebesar 4,1808.

Hasil analisis HVSR titik 27



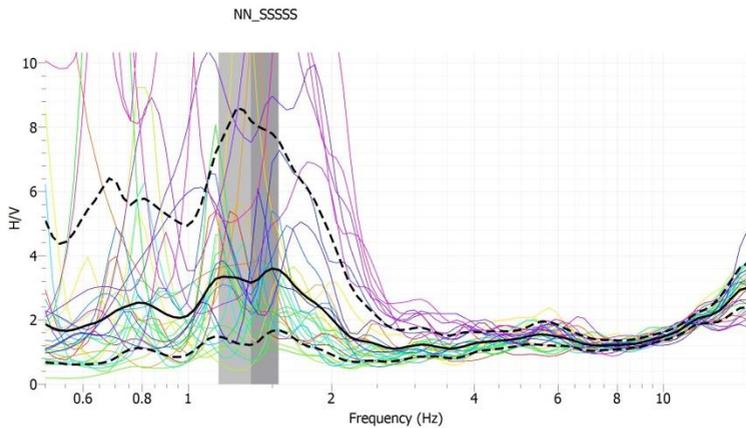
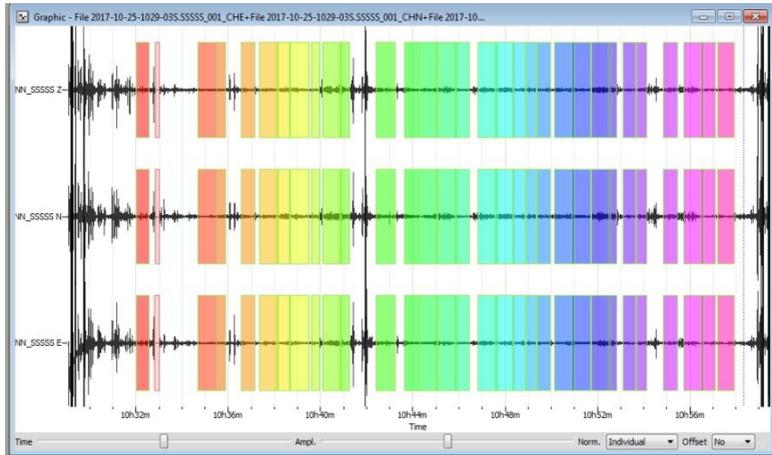
Dilakukan proses windowing sebanyak 27 windows dan didapatkan nilai frekuensi natural sebesar 1,766910 dan amplifikasi sebesar 3,8541.

Hasil analisis HVSR titik 28



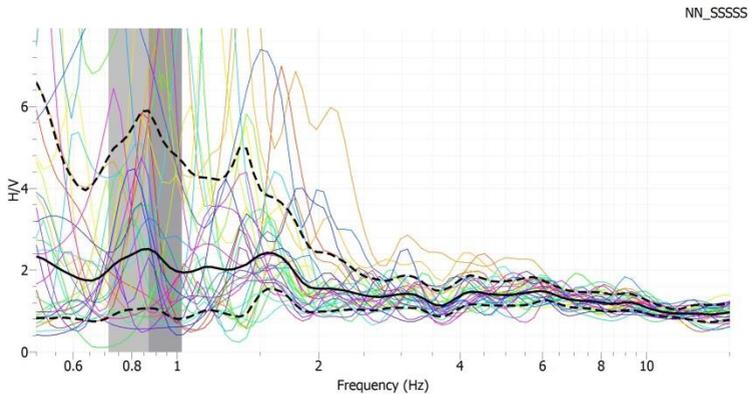
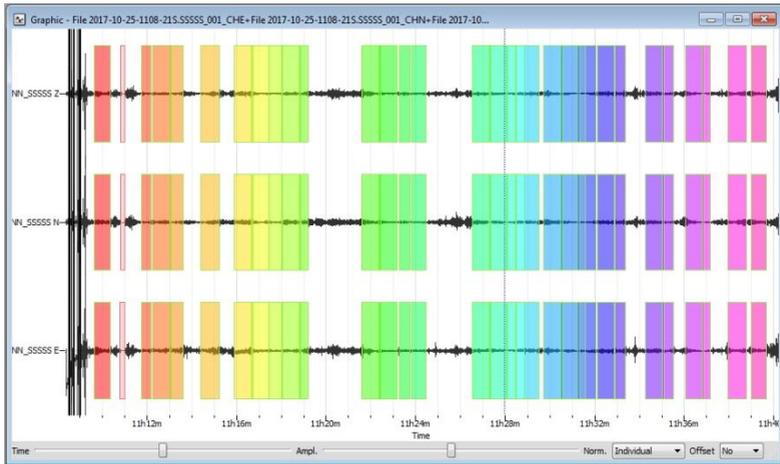
Dilakukan proses windowing sebanyak 16 windows dan didapatkan nilai frekuensi natural sebesar 1,08860 dan amplifikasi sebesar 2,8420.

Hasil analisis HVSR titik 29



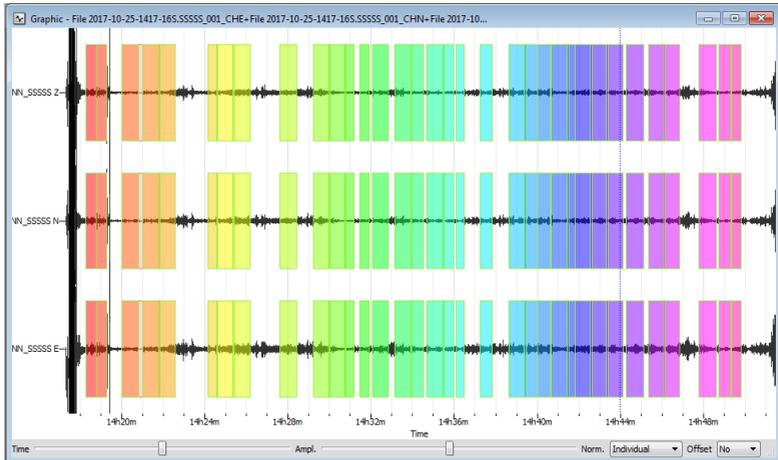
Dilakukan proses windowing sebanyak 30 windows dan didapatkan nilai frekuensi natural sebesar 1,353530 dan amplifikasi sebesar 3,1636.

Hasil analisis HVSR titik 30

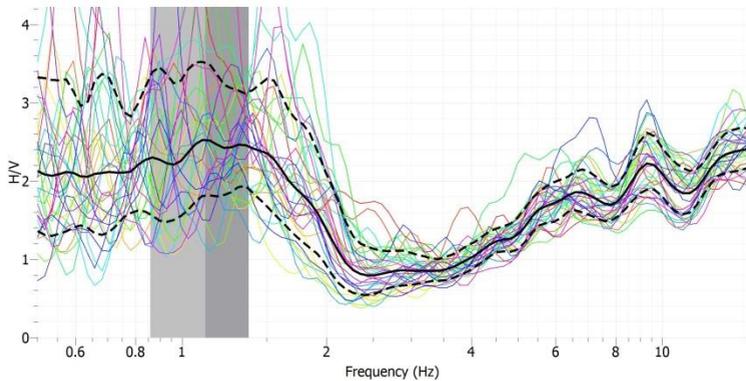


Dilakukan proses windowing sebanyak 31 windows dan didapatkan nilai frekuensi natural sebesar 0,867375 dan amplifikasi sebesar 2,5158.

Hasil analisis HVSR titik 31

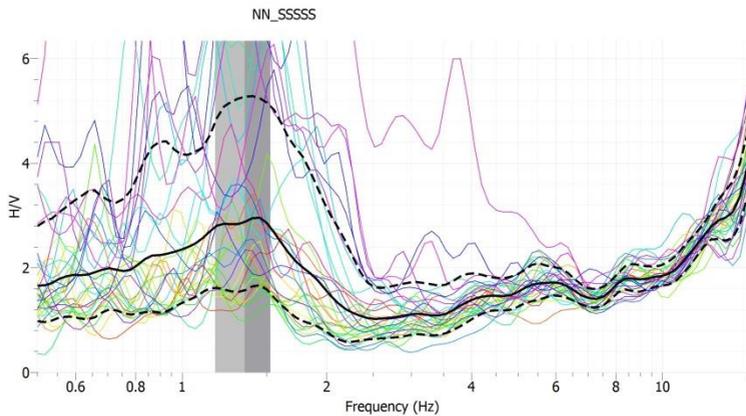
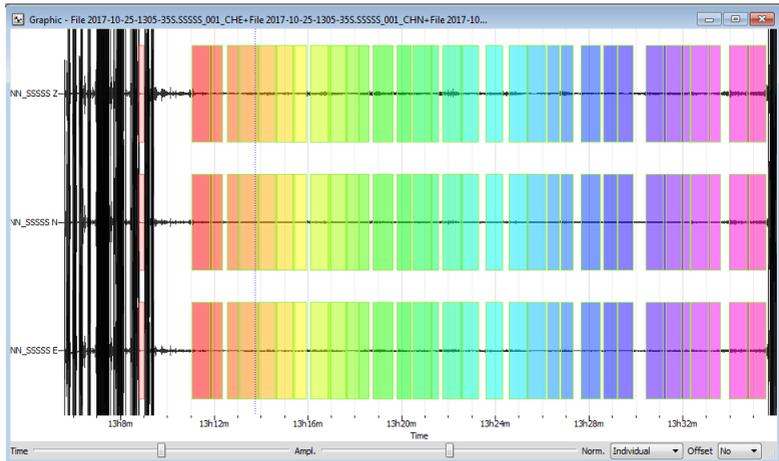


NN_SSSSS



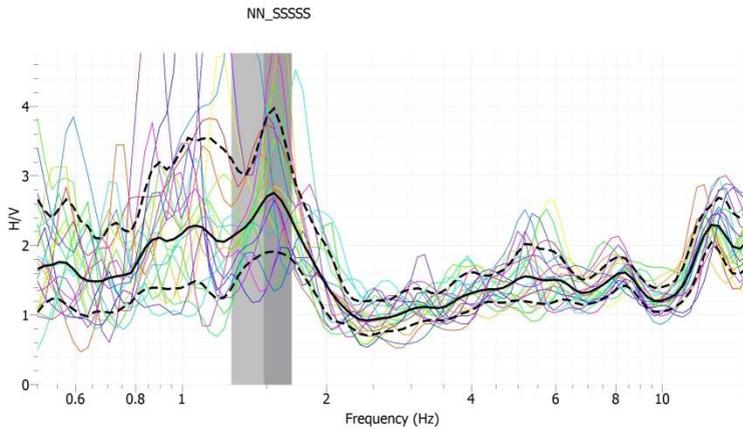
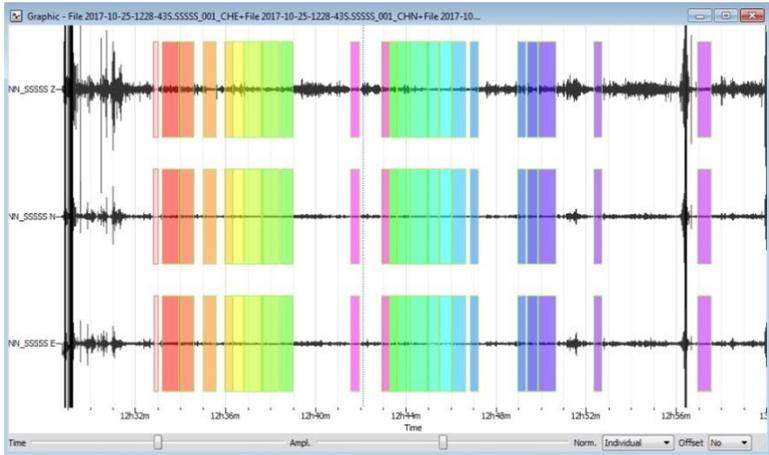
Dilakukan proses windowing sebanyak 34 windows dan didapatkan nilai frekuensi natural sebesar 1,118000 dan amplifikasi sebesar 2,5237.

Hasil analisis HVSR titik 33



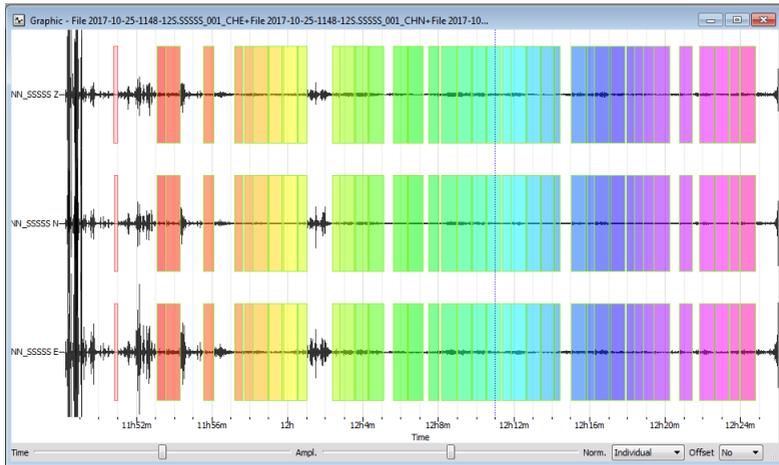
Dilakukan proses windowing sebanyak 32 windows dan didapatkan nilai frekuensi natural sebesar 1,349540 dan amplifikasi sebesar 2,8788.

Hasil analisis HVSR titik 34

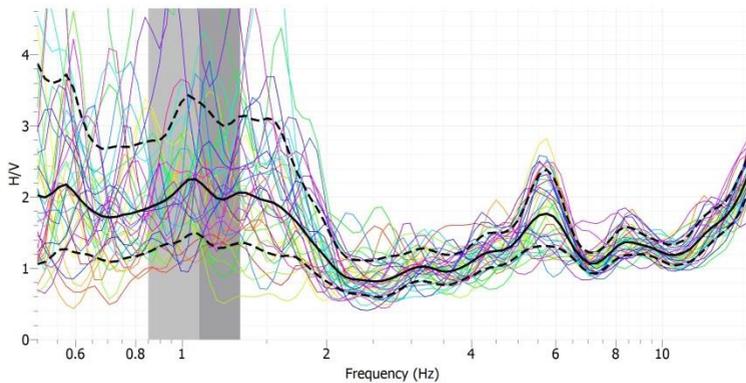


Dilakukan proses windowing sebanyak 22 windows dan didapatkan nilai frekuensi natural sebesar 1,479500 dan amplifikasi sebesar 2,6465.

Hasil analisis HVSR titik 35

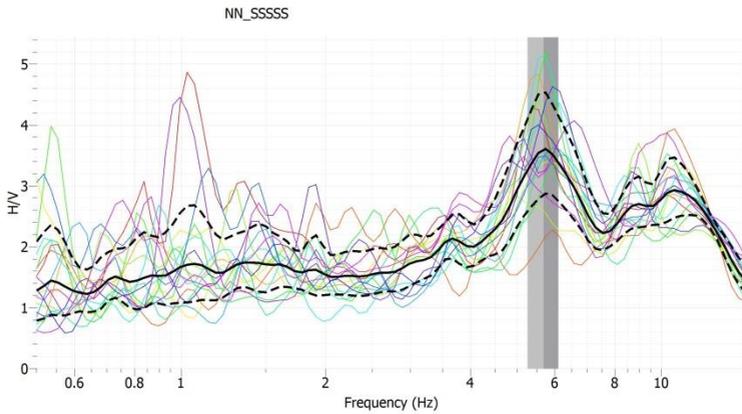
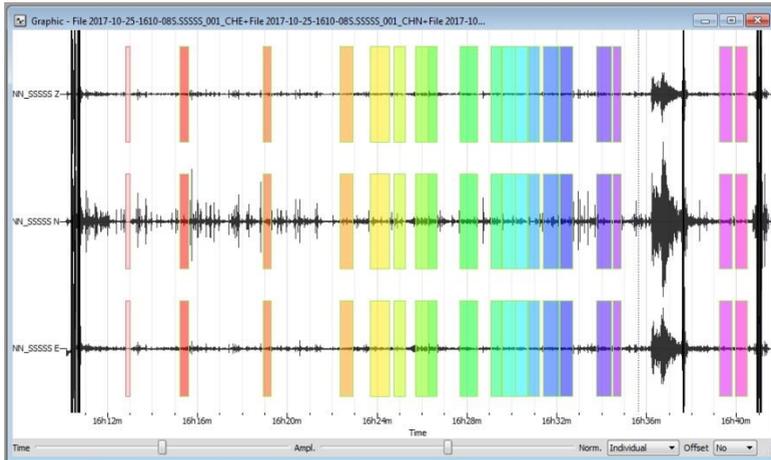


NN_SSSS



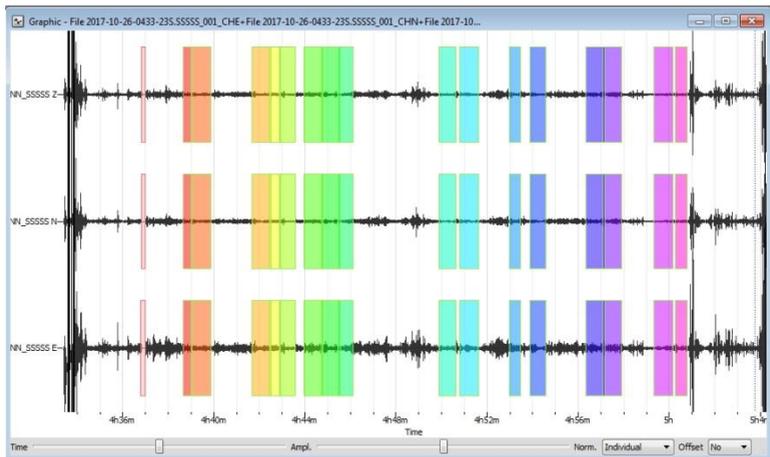
Dilakukan proses windowing sebanyak 38 windows dan didapatkan nilai frekuensi natural sebesar 1,086790 dan amplifikasi sebesar 2,2100.

Hasil analisis HVSR titik 38

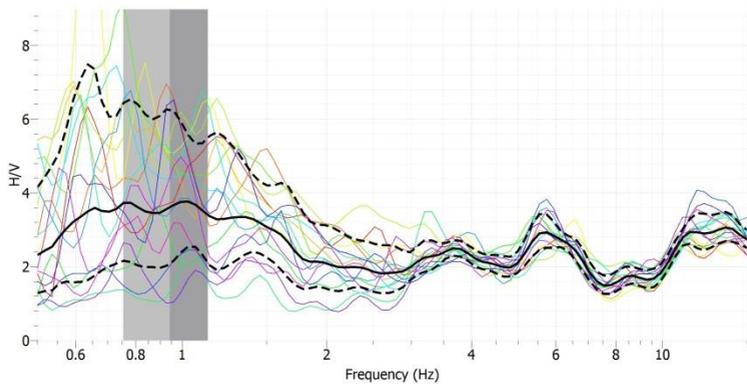


Dilakukan proses windowing sebanyak 18 windows dan didapatkan nilai frekuensi natural sebesar 5,681640 dan amplifikasi sebesar 3,5907.

Hasil analisis HVSR titik 40

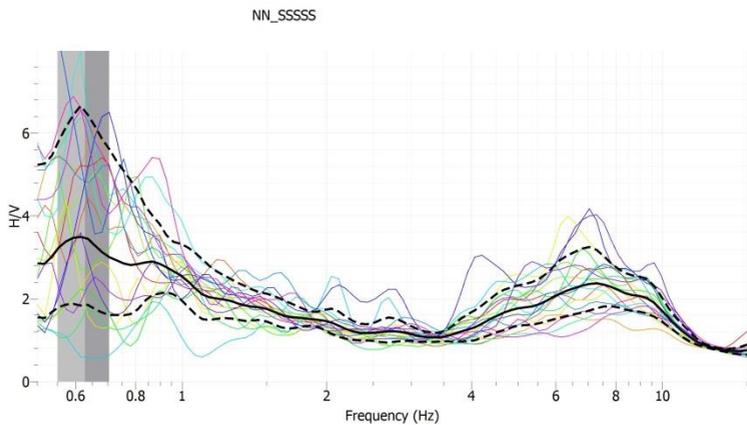
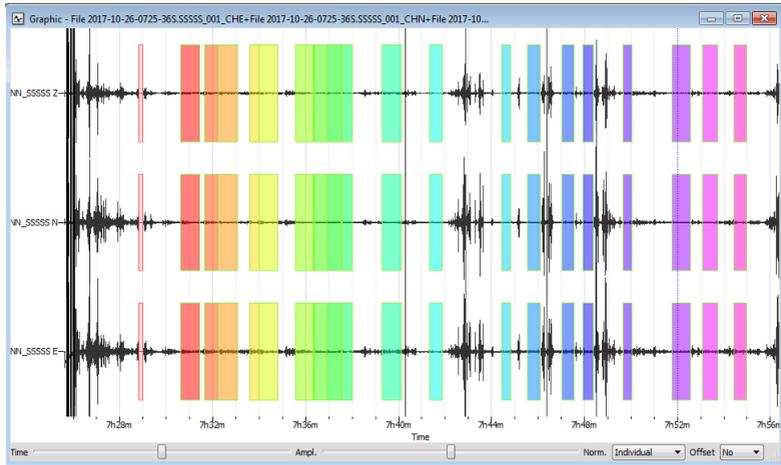


NN_SSSSS



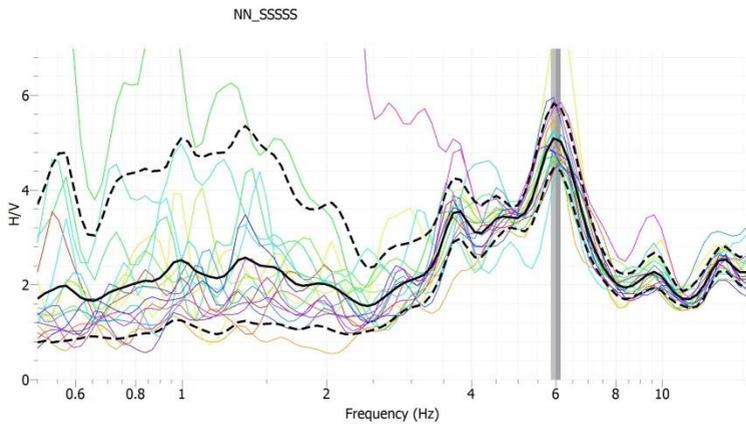
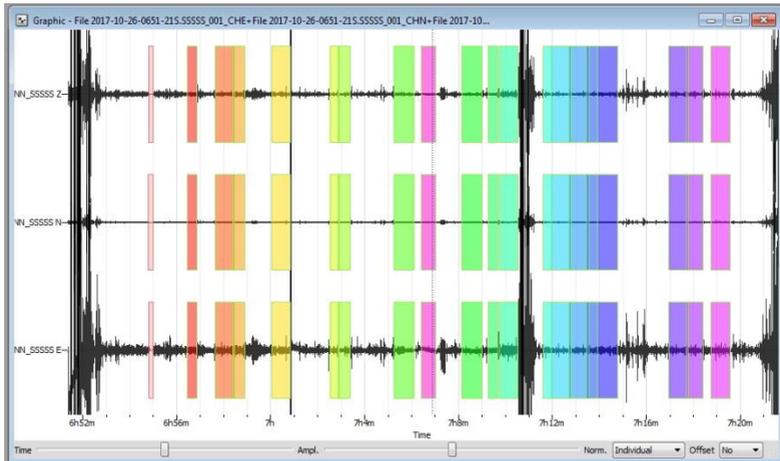
Dilakukan proses windowing sebanyak 16 windows dan didapatkan nilai frekuensi natural sebesar 0,942666 dan amplifikasi sebesar 3,6105.

Hasil analisis HVSR titik 41



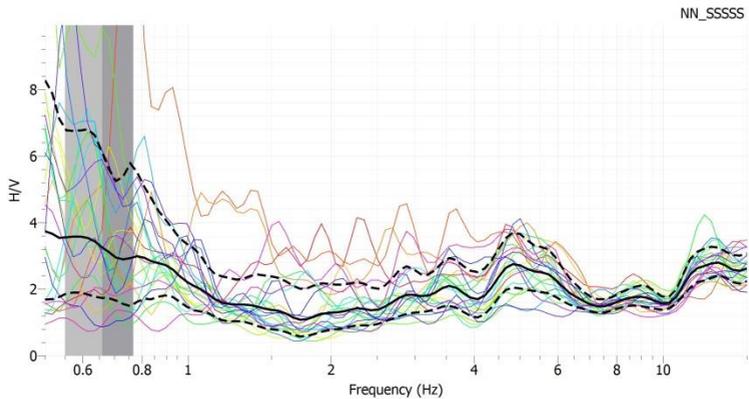
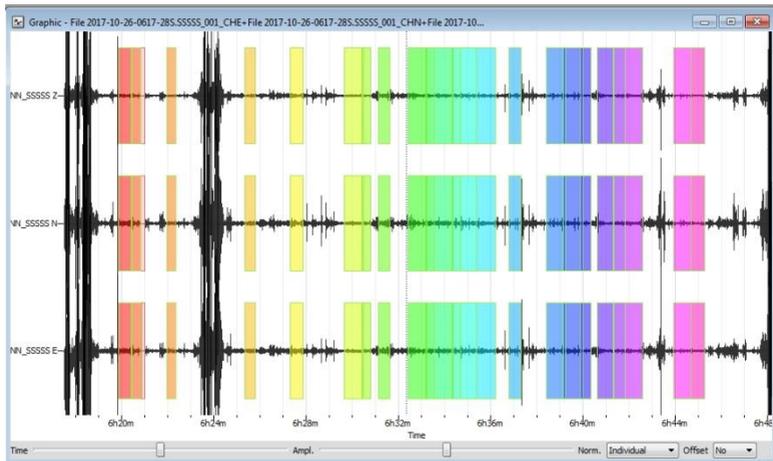
Dilakukan proses windowing sebanyak 19 windows dan didapatkan nilai frekuensi natural sebesar 0,627533 dan amplifikasi sebesar 3,4718.

Hasil analisis HVSR titik 42



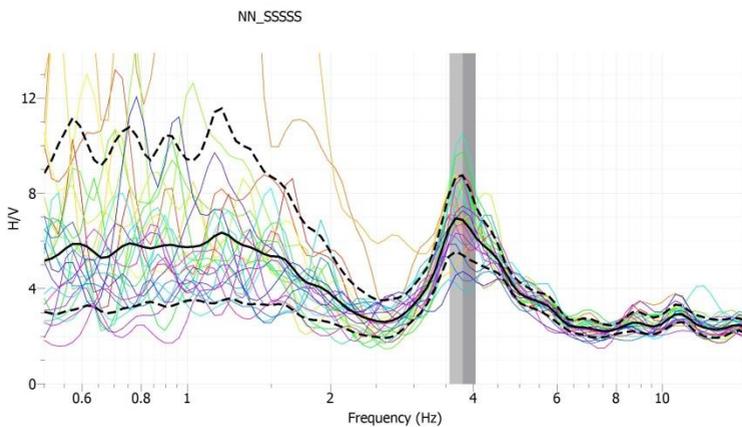
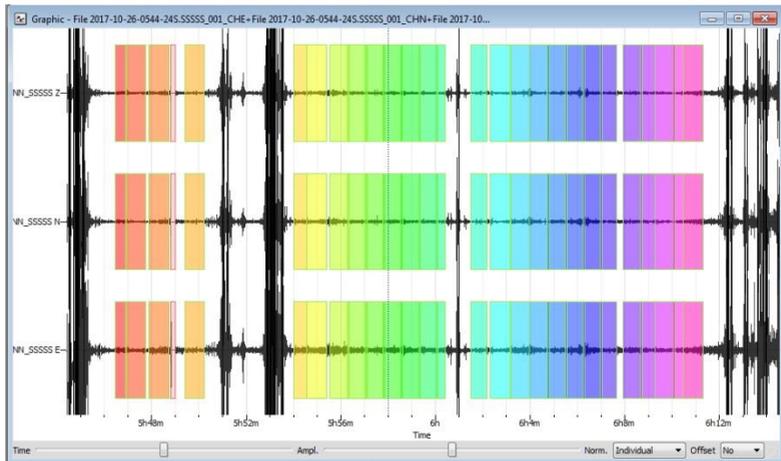
Dilakukan proses windowing sebanyak 19 windows dan didapatkan nilai frekuensi natural sebesar 5,998750 dan amplifikasi sebesar 5,0712.

Hasil analisis HVSR titik 43



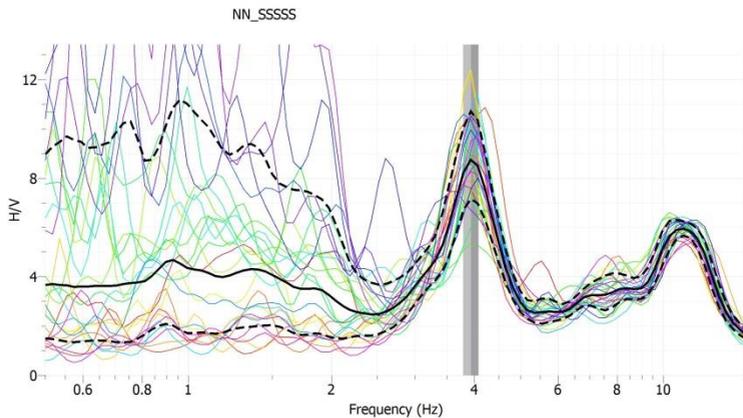
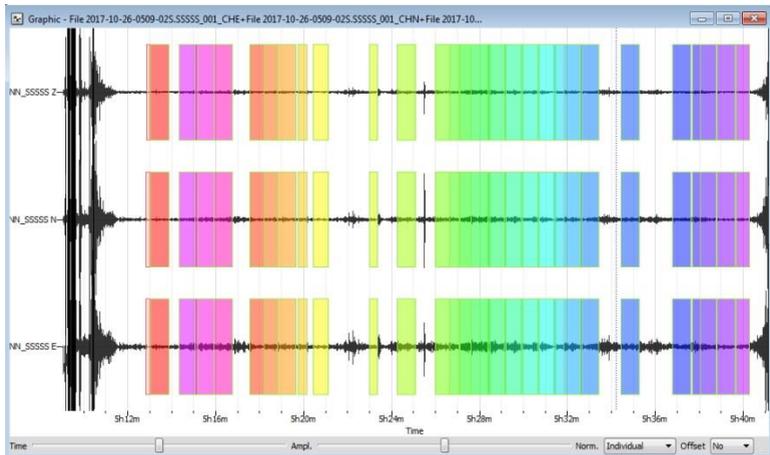
Dilakukan proses windowing sebanyak 23 windows dan didapatkan nilai frekuensi natural sebesar 0,659531 dan amplifikasi sebesar 3,2593.

Hasil analisis HVSR titik 44



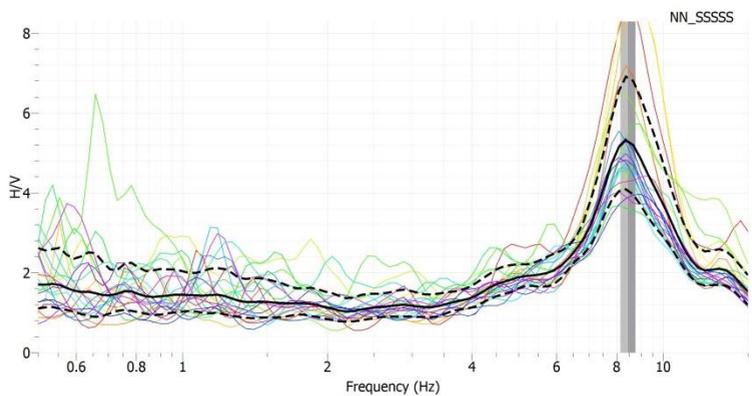
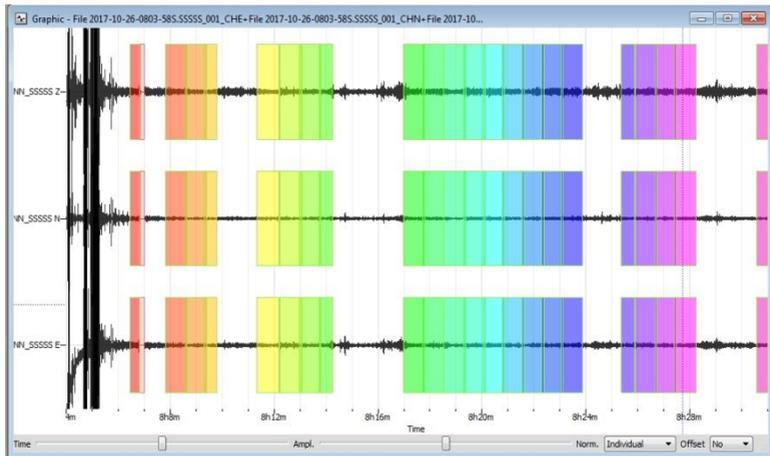
Dilakukan proses windowing sebanyak 26 windows dan didapatkan nilai frekuensi natural sebesar 3,802570 dan amplifikasi sebesar 6,8655.

Hasil analisis HVSR titik 45



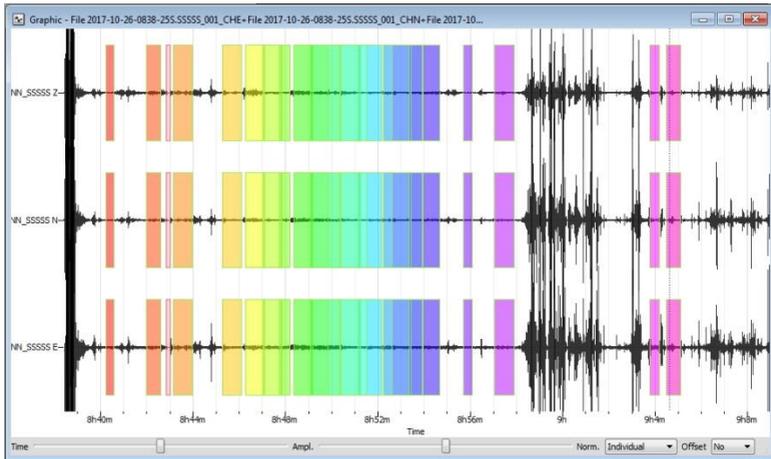
Dilakukan proses windowing sebanyak 28 windows dan didapatkan nilai frekuensi natural sebesar 3,935600 dan amplifikasi sebesar 8,7453.

Hasil analisis HVSR titik 46

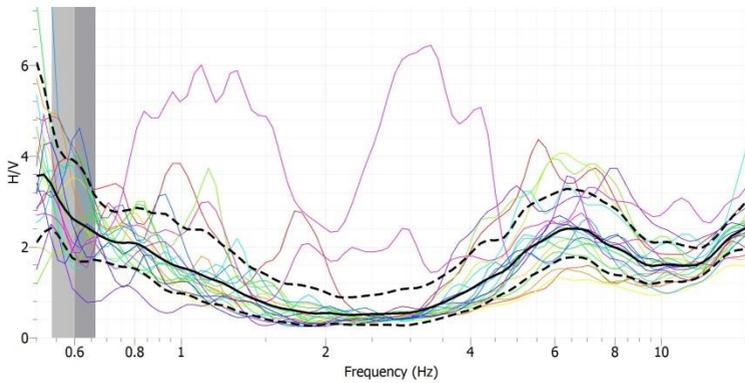


Dilakukan proses windowing sebanyak 22 windows dan didapatkan nilai frekuensi natural sebesar 8,448450 dan amplifikasi sebesar 5,2843

Hasil analisis HVSR titik 47

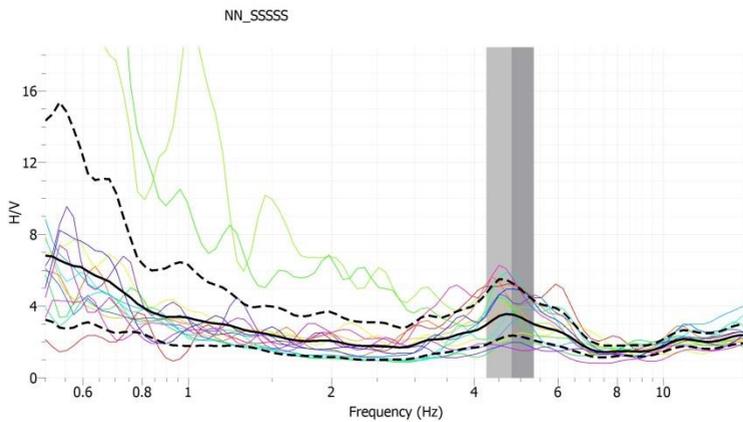
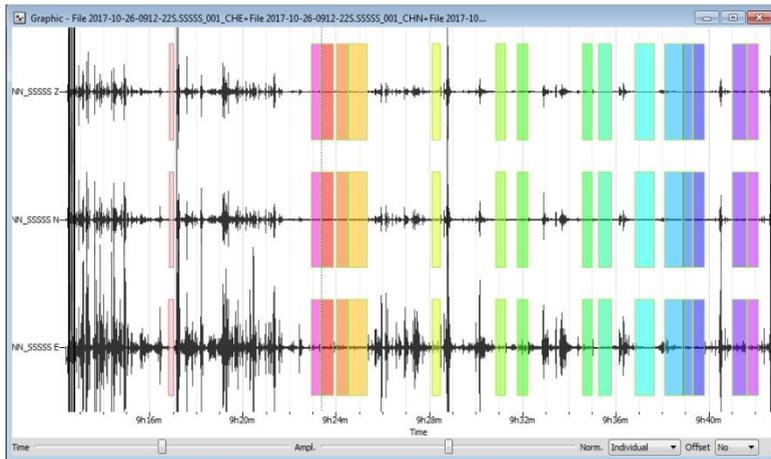


NN_SSSS



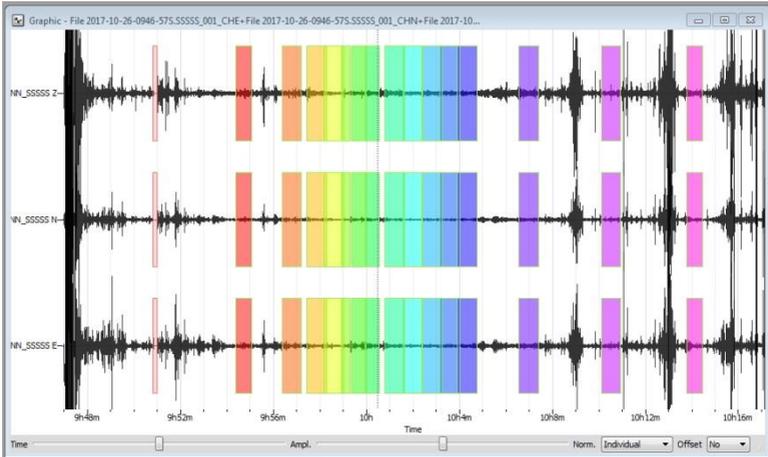
Dilakukan proses windowing sebanyak 21 windows dan didapatkan nilai frekuensi natural sebesar 0,601346 dan amplifikasi sebesar 2,5879.

Hasil analisis HVSR titik 48

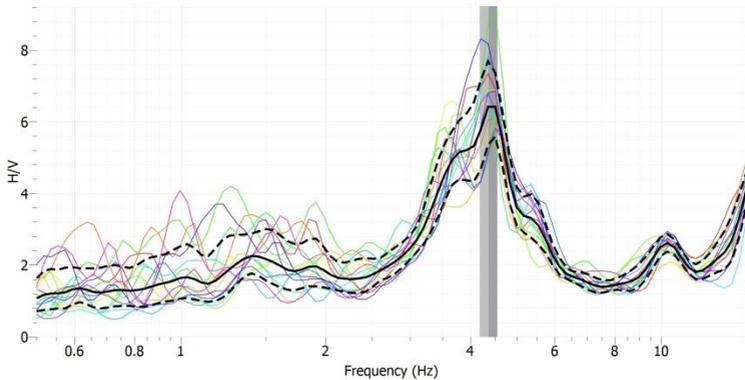


Dilakukan proses windowing sebanyak 15 windows dan didapatkan nilai frekuensi natural sebesar 4,787900 dan amplifikasi sebesar 3,5346.

Hasil analisis HVSr titik 49

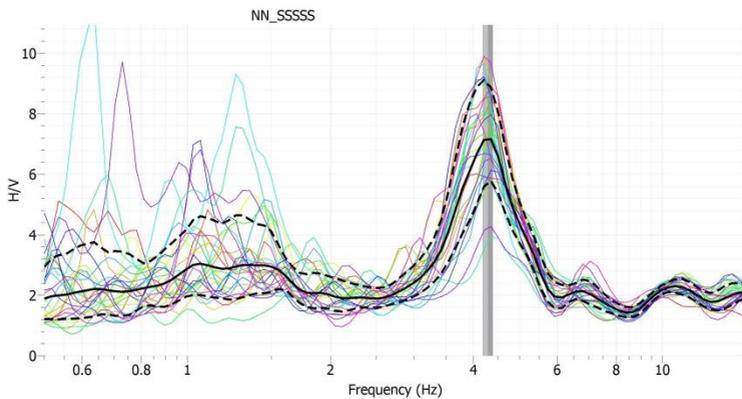
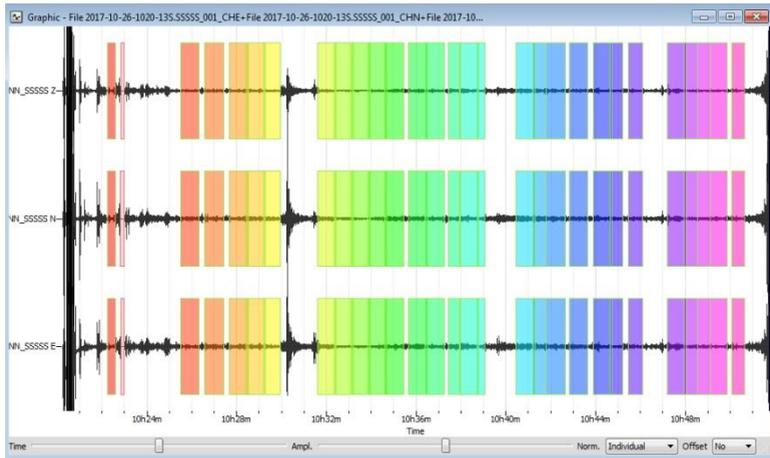


NN_SSSS



Dilakukan proses windowing sebanyak 15 windows dan didapatkan nilai frekuensi natural sebesar 4,368480 dan amplifikasi sebesar 6,2435.

Hasil analisis HVSR titik 50



Dilakukan proses windowing sebanyak 28 windows didapatkan nilai frekuensi natural sebesar 4,292370 dan nilai faktor amplifikasi sebesar 7,1510.

BIODATA PENULIS



Penulis bernama “Aulia’ur Rohman” merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Lahir di Sidoarjo pada tanggal 27 Maret 1994 dari pasangan M. Amrullah dan Noor Farida H. Semasa kecil penulis menempuh pendidikan formal antara lain di TK Bahaudin Ngelom, SD Muhammadiyah 1-2 Bebekan Sidoarjo, SMP Negeri 1 Taman, dan SMA Negeri 4 Sidoarjo. Penulis diterima di jurusan Fisika FIA-ITS pada tahun 2013 melalui jalur SNMPTN undangan dan terdaftar dengan NRP 1113100009.

Selama masa perkuliahan, penulis aktif dalam berbagai kegiatan dan organisasi mahasiswa. Selain itu, Penulis juga menduduki jabatan sebagai Komandan Tingkat Angkatan 2013 jurusan Fisika. Beberapa organisasi yang sempat ditekuni yaitu sebagai staff Departemen Perekonomian (2014-2015), staff kaderisasi Himasika ITS (2014-2015), Kepala PSDM Himasika ITS (2014-2015),.

Semasa kuliah penulis aktif mengikuti Program Kreativitas Mahasiswa, workshop, dan seminar tingkat nasional. Prestasi yang pernah diraih penulis selama duduk di bangku perkuliahan yakni PKM terdananai DIKTI. Akhir kata apabila ada kritik dan saran, pembaca dapat mengirim pesan ke: auliaurrohman@gmail.com.