

**ANALISIS ZONA LEMAH DENGAN METODE HVSR (*HORIZONTAL
TO VERTICAL SPECTRA RATIO*) DI BUKIT PRAU DESA
PENDOWOREJO KECAMATAN GIRIMULYO
KABUPATEN KULON PROGO**

TUGAS AKHIR SKRIPSI

Diajukan kepada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta
untuk Memenuhi Persyaratan guna Memperoleh Gelar Sarjana Sains



Oleh :

Abi Triatmo Yuwono Pamuji

NIM 15306141003

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

2019

LEMBAR PERSETUJUAN

Tugas Akhir Skripsi dengan Judul

**ANALISIS ZONA LEMAH DENGAN METODE HVSR (*HORIZONTAL
TO VERTICAL SPECTRA RATIO*) DI BUKIT PRAU DESA
PENDOWOREJO KECAMATAN GIRIMULYO
KABUPATEN KULON PROGO**

Disusun oleh:

Abi Triatmo Yuwono Pamuji

NIM. 15306141003

Telah memenuhi syarat dan disetujui oleh Dosen Pembimbing untuk
dilaksanakan Ujian Akhir Tugas Akhir Skripsi
bagi yang bersangkutan.

Yogyakarta, November 2019

Menyetujui,

Pembimbing I

Pembimbing II

Laila Katriani, S.Si, M.Si.
NIP.19850415 2012 122001

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

Mengetahui,
Ketua Program Studi Fisika

Drs. Nur Kadarisman, MSi.
NIP.19640205 199101 1 001

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir Skripsi dengan Judul

**ANALISIS ZONA LEMAH DENGAN METODE HVSR (*HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRA RATIO*) DI BUKIT PRAU DESA
PENDOWOREJO KECAMATAN GIRIMULYO
KABUPATEN KULON PROGO**

Disusun oleh:

Abi Triatmo Yuwono Pamuji
NIM. 15306141003

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji Tugas Akhir Skripsi Program Studi
Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta
Pada tanggal Desember 2019

Nama	Jabatan	Tanda Tangan	Tanggal
Laila Katriani, S.Si, M.Si. NIP.198504152012122001	Ketua Penguji		05-12-2019
Sumarna, M.Si, M.Eng NIP.196103081991011001	Penguji Utama		05-12-2019
Nugroho Budi Wibowo, M.Si. NIP.198402232008011011	Sekretaris Penguji		04-12-2019

Yogyakarta, Desember 2019
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta
Dekan,



Prof. Dr. Ariswan, M.Si., DEA
NIP. 195909141988031003

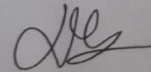
SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Abi Triatmo Yuwono Pamuji
NIM : 15306141003
Program Studi : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengatahuan Alam
Judul Skripsi : Analisi Zona Lemah dengan Metode HVSR (*Horizontal to Vertical Spectra Ratio*) di Bukit Prau Desa Pendoworejo Kecamatan Girimulyo Kabupaten Kulon progo

Menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang telah lazim. Apabila terbukti pernyataan ini tidak benar, sepenuhnya menjadi tanggungjawab saya.

Yogyakarta, 3 Desember 2019
Yang menyatakan,



Abi Triatmo Yuwono Pamuji
NIM. 15306141003

MOTTO

"Kita tidak memiliki waktu untuk mengharapkan hal-hal yang tidak kita miliki, kita hanya bisa mencari jalan terbaik untuk bertarung sesuai dengan kemampuan yang kita miliki"

-Yoichi Hiruma (Eyeshield 21)-

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan Ridho Allah SWT, saya persembahkan karya ini untuk ;

Almarhum papa (Hartoyo) dan mama (Suparmi)

Terimakasih atas kasih sayang yang berlimpah, do'a yang tak berujung, serta segala hal terbaik yang telah kalian berikan

Kakak-kakak ku (Tommy, Annisa, Hesty, Dito)

Terimakasih telah menjadi penasehat selama menjalani perkuliahan

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat melakukan penelitian dan menyelesaikan Tugas Akhir Skripsi dengan judul “Analisis Zona Lemah dengan Metode HVSR (*Horizontal to Vertical Spectra Ratio*) di Bukit Prau Desa Pendoworejo Kecamatan Girimulyo Kabupaten Kulon progo”.

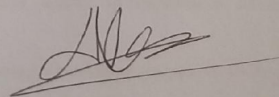
Terselesaikannya Tugas Akhir Skripsi ini tidak terlepas dari dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ariswan, M.Si., DEA selaku Dekan FMIPA UNY yang telah mengesahkan Tugas Akhir Skripsi ini.
2. Bapak Dr. Warsono, M.Si., selaku Ketua Jurusan Pendidikan Fisika yang telah memberikan izin penelitian.
3. Bapak Nur Kadarisman, M.Si., selaku Ketua Program Studi Fisika yang telah memberikan izin penelitian.
4. Ibu Laila Katriani, M.Si. dan Bapak Nugroho Budi Wibowo, M.Si selaku pembimbing yang telah memberikan arahan dan nasihat sehingga Tugas Akhir Skripsi ini dapat terselesaikan.
5. Bapak Denny Darmawan, M.Sc. yang telah memberikan nasihat dan ilmu kepada penulis.
6. Seluruh Dosen, Staff, dan Laboran Jurusan Pendidikan Fisika yang telah memberikan ilmu kepada penulis.
7. Seluruh staff dan karyawan BMKG Yogyakarta yang telah memberi bantuan dan mengizinkan penulis dalam menggunakan sarana dan prasarana dalam melakukan penelitian ini.
8. Keponakan-keponakan tersayang (Alif, Abyan, Azkayra, Aila, Arka, Adwa) yang telah menghibur penulis dikala kesepian.
9. Sahabat-sahabat seperjuangan (Faiz, Endras, Maulana) yang telah menemani penulis dalam suka maupun duka selama perkuliahan.

10. Dua rekan sejawat (Faizal dan Gita) yang telah menjadi rekan dalam menyelesaikan penelitian ini.
11. Fisika B 2015 yang telah memberikan semangat, dukungan, serta menemani penulis selama menjalani masa perkuliahan.
12. Geofisika 2015 yang telah memberikan ilmu dan pengalaman berharga kepada penulis.
13. HIMAFI 2017 yang telah memberikan pengalaman organisasi terhadap penulis.
14. Sesepuh Geofisika (mas Yoga, mas Kholis, mba Novia, mba Ayu, mba Gandes) yang rela meluangkan waktunya untuk menemani dan membimbing penulis selama penelitian dan penyelesaian Tugas Akhir Skripsi.
15. Serta seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah membantu penulis selama masa perkuliahan.

Penulis menyadari bahwa penulisan tugas akhir ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharap kritik dan saran untuk penyempurnaan lebih lanjut. Semoga karya ini dapat memberikan manfaat bagi penulis dan pembaca.

Yogyakarta, 03 Desember 2019
Penulis,



Abi Triatmo Yuwono Pamuji
15306141003

ANALISIS ZONA LEMAH DENGAN METODE HVSR (*HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO*) DI BUKIT PRAU DESA PENDOWOREJO KECAMATAN GIRIMULYO KABUPATEN KULON PROGO

Oleh

Abi Triatmo Yuwono Pamuji

15306141003

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dan persebaran frekuensi dominan (f_0), faktor amplifikasi (A_0), indeks kerentanan seismik (K_g), *peak ground acceleration* (PGA), *ground shear strain* (GSS) dan mengetahui zona lemah di Bukit Prau, Desa Pendoworejo, Kecamatan Girimulyo, Kabupaten Kulon Progo. Pengambilan data dibatasi pada koordinat $7^{\circ}45'40,12''$ - $7^{\circ}44'59,83''$ LS dan $110^{\circ}11'14,28''$ - $110^{\circ}11'41,07''$ BT

Penelitian dilakukan pada 35 titik pengukuran dengan jarak antar titik 200 m. Data yang diperoleh berupa sinyal mikrotremor dan diolah dengan metode HVSR sehingga diperoleh kurva H/V yang menyatakan nilai f_0 dan A_0 . Nilai ini digunakan untuk menghitung nilai K_g dan nilai PGA. Nilai PGA ditentukan menggunakan metode Fukushima - Tanaka, dengan parameter data gempa bumi Bantul 27 Mei 2006. Nilai K_g dan PGA digunakan untuk memperoleh nilai *ground shear strain* (GSS).

Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa nilai f_0 berkisar antara 0,49 Hz - 14,98 Hz, nilai A_0 berkisar antara 2,37 - 12,54, nilai K_g berkisar antara $(0,12 - 12,10) \times 10^{-6}$, nilai PGA berkisar antara $59,72 \text{ cm/s}^2$ - $64,77 \text{ cm/s}^2$, nilai GSS berkisar antara $0,81 \times 10^{-5}$ - $8,48 \times 10^{-4}$. Hasil pemodelan 3D penampang seismik nilai K_g dan A_0 terhadap kedalaman menunjukkan bahwa zona lemah Bukit Prau berada pada jalur rekahan bagian utara Bukit Prau.

Kata kunci : HVSR, zona lemah, Desa Pendoworejo

ANALYSIS OF WEAK ZONE USING HVSR (HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO) METHOD IN PRAU HILL PENDOWOREJO VILLAGE GIRIMULYO SUBDISTRICT KULON PROGO REGENCY

By :

Abi Triatmo Yuwono Pamuji

15306141003

ABSTRACT

This research aimed to determine characteristic and distribution of predominant frequency, amplification factor, seismic vulnerability index, peak ground acceleration, ground shear strain and to determine the weak zone in Prau Hill, Pendoworejo Village, Girimulyo Subdistrict, Kulon Progo Regency. This research confined to coordinates of $7^{\circ}45'40.12''$ - $7^{\circ}44'59.83''$ S and $110^{\circ}11'14.28''$ - $110^{\circ}11'41.07''$ E.

This research was done with 35 research points and 200 m spacing. Data in the form of microtremor signals were then processed by HVSR method to obtain the H/V curve that show the value of f_0 and A_0 . The data were used to find the value of seismic vulnerability index and ground shear strain. Value of ground shear strain was determined with Fukushima - Tanaka method, with parameter of Bantul earthquake 27 May 2006. The value of K_g and PGA were used to find the value of ground shear strain.

The result of this research showed that value of f_0 ranged between 0.49 and 14.98 Hz, value of A_0 ranged between 2.37 and 12.54, value of K_g ranged between $(0.12 - 12.10) \times 10^{-6}$, value of PGA ranged between $59,72 \text{ cm/s}^2$ - $64,77 \text{ cm/s}^2$, value of ground shear strain ranged between $0,81 \times 10^{-5}$ - $8,48 \times 10^{-4}$. 3D modelling of seismic cross section of K_g and A_0 to depth showed that the weak zone of Prau Hill were in fractured path on the north side of Prau Hill.

Keywords: HVSR, weak zone, Pendoworejo Village

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR SKRIPSI.....	i
LEMBAR PERSETUJUAN.....	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
SURAT PERNYATAAN.....	ii
MOTTO.....	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK.....	viii
<i>ABSTRACT</i>	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB I.....	1
A. Latar Belakang Masalah.....	1
B. Identifikasi Masalah.....	7
C. Batasan Masalah.....	7
D. Rumusan Masalah.....	8
E. Tujuan Penelitian.....	8
F. Manfaat Penelitian.....	9
BAB II.....	10
A. Gelombang Seismik.....	10
B. Mikrotremor.....	18
C. HVSr (<i>Horizontal to Vertical Spectra Ratio</i>).....	19
D. Faktor Amplifikasi (A_0).....	22
E. Frekuensi Predominan (f_0).....	23
F. Mikrozonasi.....	24

G. Penampang Seismik.....	24
H. <i>Ellipticity Curve</i>	26
I. Percepatan Getaran Tanah Maksimum.....	29
J. Hubungan Antar Magnitudo.....	30
K. Indeks Kerentanan Seismik (K_g).....	31
L. <i>Ground Shear Strain</i>	31
M. Tanah Longsor.....	33
N. Geologi Daerah Penelitian.....	40
O. Kerangka Berpikir.....	41
BAB III.....	43
A. Waktu dan Tempat Penelitian.....	43
B. Instrumen Penelitian.....	43
C. Teknik Pengambilan Data.....	46
D. Teknik Analisis Data.....	50
E. Diagram Alir Penelitian.....	53
BAB IV.....	55
A. Mikrozonasi Amplitudo Mikrotremor.....	55
B. Mikrozonasi Frekuensi Predominan (f_0).....	60
C. Mikrozonasi Faktor Amplifikasi (A_0).....	65
D. Indeks Kerentanan Seismik (K_g).....	69
E. <i>Peak Ground Acceleration</i> (PGA).....	77
F. <i>Ground Shear Strain</i> (GSS).....	79
BAB V.....	82
A. Kesimpulan.....	82
B. Saran.....	83
DAFTAR PUSTAKA.....	84
LAMPIRAN	89

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 . Peta lempeng tektonik Indonesia.....	2
Gambar 2 . Tren Kejadian Bencana Alam di Indonesia.....	3
Gambar 3 . Peta Administrasi Desa Pendoworejo.....	5
Gambar 4 . Komponen-komponen gaya pada medium kubus	11
Gambar 5 . Ilustrasi Gelombang P.....	16
Gambar 6 . Ilustrasi gelombang S.....	17
Gambar 7 . Ilustrasi Gelombang Rayleigh.....	18
Gambar 8 . Ilustrasi Gelombang Love.....	18
Gambar 9 . Sketsa model geologi bawah permukaan dua lapis.....	26
Gambar 10 . Longsoran Translasi.....	34
Gambar 11 . Longsoran Rotasi.....	34
Gambar 12 . Pergerakan Blok.....	35
Gambar 13 . Runtuhan Batu.....	35
Gambar 14 . Rayapan Tanah.....	35
Gambar 15 . Aliran Bahan Rombakan.....	36
Gambar 16 . (a) Seismometer Taide TDV-23S (b) Kompas (c) <i>Digitizer</i>	44
Gambar 17 . Desain Survei Penelitian di Desa Pendoworejo.....	47
Gambar 18 . Peta Titik Penelitian di Desa Pendoworejo.....	48
Gambar 19 . Proses <i>Windowing</i> dan <i>cutting</i> pada <i>Software Sessaray-Geopsy</i>	50
Gambar 20 . Tampilan Kurva H/V pada program <i>Open HVSR</i>	51
Gambar 21 . (a) <i>Ground profile</i> v_s (b) <i>Misfit</i> Model.....	52
Gambar 22 . Mikrozonasi (a) Frekuensi Predominan (b) Faktor Amplifikasi ..	52
Gambar 23 . Diagram alir penelitian.....	54
Gambar 24 . Sinyal Mikrotremor pada Titik Penelitian RK2.....	56
Gambar 25 . Daerah penelitian pada(a) titik A1 (b) titik A21 (c) titik A17.....	58
Gambar 26 . (a) titik A20 Formasi Kolovium (b) titik A4 Formasi Nanggulan...	58
Gambar 27 . Persebaran nilai amplitudo Bukit Prau.....	59
Gambar 28 . Mikrozonasi nilai frekuensi predominan (f_0) Bukit Prau.....	62

Gambar 29 . (a) Titik Penelitian A25 pada area sawah, (b) Titik Penelitian A23 pada area atas bukit.....	63
Gambar 30 . (a) Titik Penelitian A1 pada Area Lembah (b) Titik Penelitian A17 pada area Lereng.....	65
Gambar 31 . Mikrozonasi Faktor Amplifikasi (A_0) Bukit Prau.....	67
Gambar 32 . Mikrozonasi Indeks Kerentanan Seismik (K_g).....	72
Gambar 33 . Pemodelan 3D penampang seismik nilai indeks kerentanan.....	74
Gambar 34 . Sayatan model 3D penampang seismik nilai indeks kerentanan seismik terhadap kedalaman.....	74
Gambar 35 . Sayatan model 2D penampang seismik nilai indeks kerentanan seismik terhadap kedalaman.....	75
Gambar 36 . Pemodelan 3D faktor amplifikasi terhadap kedalaman.....	75
Gambar 37 . Sayatan model 3D faktor amplifikasi terhadap kedalaman.....	76
Gambar 38 . Sayatan model 2D faktor amplifikasi terhadap kedalaman.....	76
Gambar 39 . Jalur rekahan pada bagian utara Bukit Prau.....	76
Gambar 40 . Grafik Hubungan PGA dengan Jarak Hiposenter.....	77
Gambar 41 . Peta Distribusi <i>Peak Ground Acceleration</i> (PGA).....	78
Gambar 42 . Peta persebaran nilai <i>Ground Shear Strain</i> (GSS).....	81

DAFTAR TABEL

Tabel 1 . Data bencana di Kabupaten Kulon Progo.....	4
Tabel 2 . Klasifikasi nilai faktor amplifikasi.....	22
Tabel 3 . Klasifikasi tanah oleh Kanai.....	23
Tabel 4 . Nilai Poisson <i>Ratio</i>	27
Tabel 5 . Nilai Variasi Densitas Batuan.....	27
Tabel 6 . Klasifikasi Nilai Kecepatan Gelombang Kompresi.....	28
Tabel 7 . Klasifikasi <i>Site</i> berdasarkan Nilai Kecepatan Gelombang Geser.....	29
Tabel 8 . Hubungan antara regangan dengan sifat dinamis tanah.....	31
Tabel 9 . Persyaratan Teknis Survei Mikrotremor di Lapangan.....	49
Tabel 10 . Variasi nilai amplitudo pada setiap formasi.....	60
Tabel 11 . Klasifikasi Nilai Frekuensi Predominan f_0 Bukit Prau.....	63
Tabel 12 . Klasifikasi Nilai Faktor Amplifikasi (A_0) Bukit Prau	68

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 Hasil Kriteria Kurva Reliabel dan Kurva <i>Clear Peak</i>	89
LAMPIRAN 2 Kurva Ellipticity Curve dan Grond Profile v_s	90
LAMPIRAN 3 Hasil Analisis Nilai <i>Shear-wave Velocity</i> (v_s).....	102
LAMPIRAN 4 Data Hasil Penelitian.....	114
LAMPIRAN 5 Langkah - Langkah Pengolahan Sinyal Mikrotremor.....	116

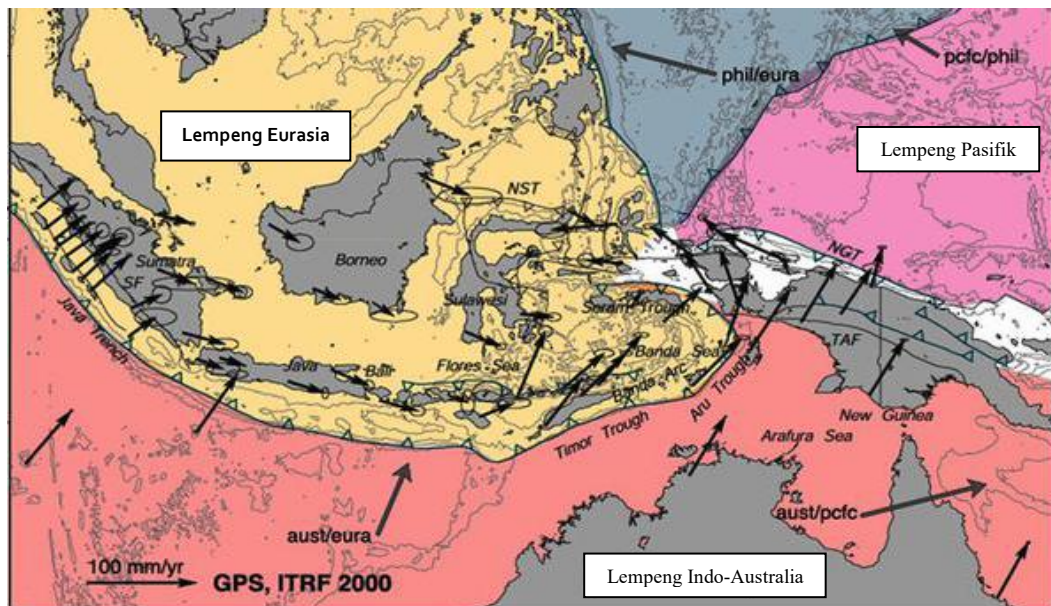
BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Indonesia berada pada pertemuan tiga lempeng besar di dunia, yaitu Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia dan Lempeng Pasifik. Gambar 1 menunjukkan peta lempeng tektonik Indonesia. Pertemuan tiga lempeng ini menimbulkan interaksi antar lempeng. Lempeng - lempeng tersebut akan terus bergerak dengan kecepatan dan arah yang berbeda - beda, dimana Lempeng Eurasia bergerak ke selatan sekitar 0,4 cm/tahun, Lempeng Pasifik bergerak ke barat sekitar 11 cm/tahun, Lempeng Indo Australia bergerak ke utara sekitar 7 cm/tahun (Supartoyo dkk., 2008). Terdapat tiga macam interaksi antar lempeng di Indonesia yaitu konvergen, divergen dan transform. Interaksi antar lempeng ini dapat menyebabkan terbentuknya patahan samudra, palung samudra, dan juga munculnya gunung berapi (Kementrian ESDM, 2007).

Selain berada pada pertemuan tiga lempeng besar di dunia, Indonesia dilewati oleh garis khatulistiwa, sehingga Indonesia beriklim tropis dengan dua musim, yaitu musim hujan dan kemarau dengan ciri-ciri adanya perubahan cuaca, yaitu suhu dan arah angin. Kondisi iklim seperti ini digabungkan dengan kondisi topografi permukaan dan batuan yang relatif beragam, baik secara fisik maupun kimiawi, dapat menyebabkan terjadinya bencana hidrometeorologi yaitu, kebakaran hutan, kekeringan, banjir dan longsor.

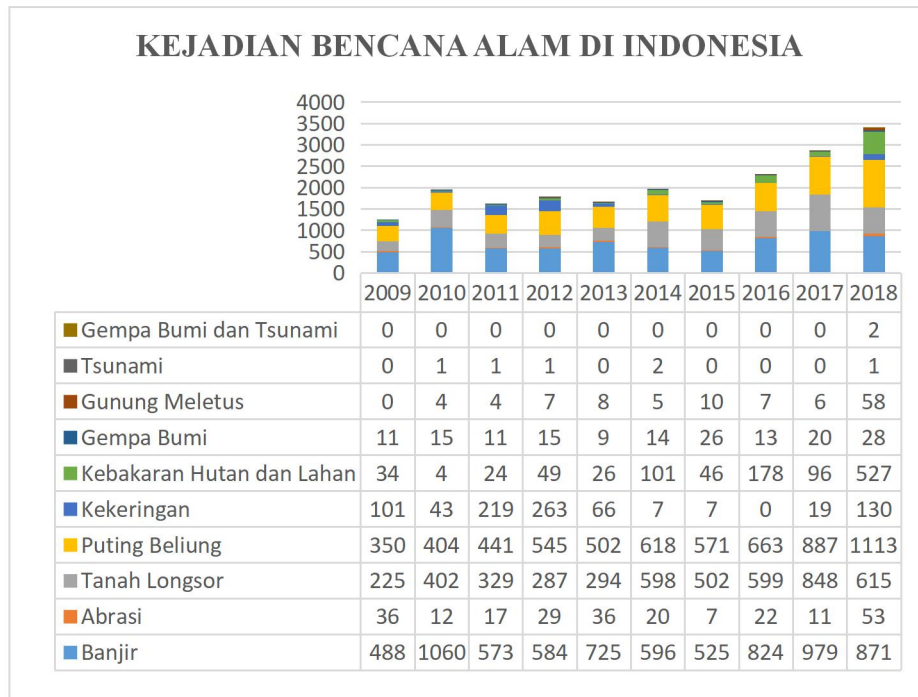


Gambar 1. Peta lempeng tektonik Indonesia (BMKG, 2009)

Bencana longsor merupakan peristiwa geologi yang terjadi karena pergerakan massa batuan dan tanah. Faktor yang mempengaruhi terjadinya bencana longsor adalah meningkatnya intensitas hujan, gempa bumi, gunung meletus, tumpukan sampah dan hutan gundul. Proses terjadinya longsor diawali dengan musim kering panjang yang menyebabkan terjadinya penguapan air di permukaan tanah, akibatnya muncul pori-pori tanah hingga terjadi retakan dan merekahnya tanah pada permukaan. Ketika musim hujan, air akan masuk ke bagian rekahan dan terakumulasi di dasar lereng sehingga menimbulkan gerakan tanah atau longsor pada lereng (Nandi, 2007).

Gambar 2 merupakan data BNPB yang menunjukkan tren kejadian bencana alam 10 tahun terakhir (2009 - 2018) di Indonesia. Tercatat terdapat 10 kejadian bencana alam, yaitu banjir, kebakaran hutan dan lahan, abrasi, kekeringan, gempa bumi, tsunami, gempa bumi dan tsunami, tanah longsor, puting beliung, dan letusan gunung api. Salah satu kejadian bencana alam yang

kerap terjadi di Indonesia adalah bencana longsor. Kejadian bencana longsor terbanyak terjadi pada tahun 2017 dengan jumlah 848 kejadian.



Gambar 2. Tren Kejadian Bencana Alam di Indonesia (BNPB, 2018)

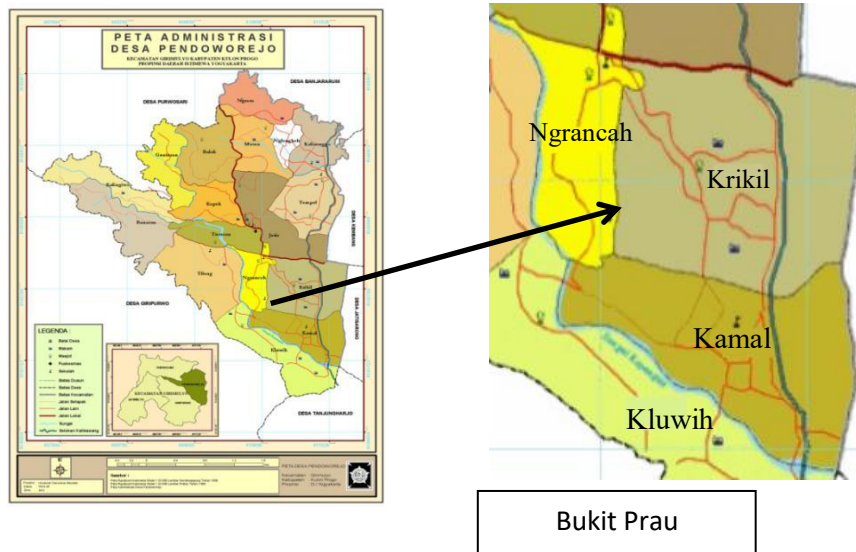
Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kulon Progo mencatat pada Januari - Agustus 2018 terjadi 36 bencana longsor di Kabupaten Kulon Progo. Berdasarkan data bencana di Kabupaten Kulon Progo (Tabel 1), Girimulyo menjadi salah satu kecamatan dengan jumlah bencana longsor yang banyak. Terdapat 9 kejadian bencana longsor pada periode bulan Januari - Agustus 2018 di Kecamatan Girimulyo. Salah satu desa di Kecamatan Girimulyo yang mengalami bencana longsor adalah Desa Pendoworejo. Desa Pendoworejo terletak di sisi timur Kecamatan Girimulyo dan memiliki 17 dusun dengan 5920 penduduk di desa tersebut. Tercatat pada tahun 2017 terdapat 37 titik kerusakan di 13 dusun dan 13 titik kerusakan di 5 dusun pada tahun 2018 (Pemda

Pendoworejo, 2017-2018). Titik kerusakan terbanyak yang diakibatkan kejadian longsor berada di Dusun Kluwih. Terdapat 10 titik kerusakan pada tahun 2017 dan 5 titik kerusakan pada tahun 2018 di dusun tersebut.

Tabel 1. Data bencana di Kabupaten Kulon Progo (BPBD, 2018)

Nama Kecamatan	Jumlah Bencana Longsor	Nama Kecamatan	Jumlah Bencana Longsor
Galur	0	Panjatan	0
Girimulyo	9	Pengasih	3
Kalibawang	6	Samigaluh	15
Kokap	2	Sentolo	0
Lendah	0	Temon	0
Nanggulan	1	Wates	0

Dusun Kluwih berdekatan dengan tiga dusun lain, yaitu Dusun Ngrancah, Dusun Krikil, dan Dusun Kamal yang terdapat pada satu bukit, yaitu Bukit Prau. Pada sisi utara Bukit Prau terdapat rekahan di rumah salah satu warga Dusun Ngrancah dan rekahan sepanjang 50 meter di lereng Bukit Prau. Keempat dusun tersebut merupakan daerah yang memiliki potensi longsor, sehingga perlu adanya penelitian terkait tanah longsor di wilayah keempat dusun tersebut. Gambar 3 merupakan gambaran lokasi keempat dusun yang terletak di Desa Pendoworejo, Kecamatan Girimulyo, Kabupaten Kulonprogo. Berdasarkan kerusakan dan kerugian baik secara material dan non material yang diakibatkan oleh kejadian bencana longsor di Desa Pendoworejo, maka perlu adanya mikrozonasi daerah yang rentan terhadap longsor.



Gambar 3. Peta Administrasi Desa Pendoworejo (Pemda Pendoworejo, 2009)

Mikrozonasi bertujuan untuk memberikan informasi potensi bencana di suatu daerah berdasarkan nilai dari suatu parameter yang diperoleh dari pengukuran mikrotremor. Mikrotremor merupakan getaran tanah di permukaan bumi yang berlangsung terus-menerus akibat adanya sumber getaran seperti gempa bumi, aktivitas manusia, dan lalu lintas (Nakamura, 2000). Hasil yang diperoleh dari metode ini berupa sinyal mikrotremor yang kemudian diolah dengan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr) sehingga diperoleh nilai frekuensi dominan dan faktor amplifikasi dari titik pengukuran. Sinyal mikrotremor kemudian diinversikan menggunakan metode *ellipticity curve* untuk mengetahui *ground profile* (profil bawah permukaan) berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser di daerah penelitian. Parameter - parameter tersebut digunakan untuk menghitung nilai indeks kerentanan seismik, kemudian dapat menentukan nilai *Ground Shear Strain* (GSS) yang dapat menggambarkan kemampuan lapisan tanah untuk meregang dan bergeser saat terjadi gempa bumi. Identifikasi

zona lemah Bukit Prau dilakukan untuk mengetahui daerah yang memiliki potensi mengalami bencana longsor, dengan menganalisis parameter - parameter yang diperoleh dari pengukuran mikrotremor.

Penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya oleh Sujarwo (2016) dengan metode geolistrik konfigurasi dipole-dipole menunjukkan bahwa Desa Pendoworejo tersusun atas formasi andesit tua dan Formasi Nanggulan dengan batuan penyusun berupa batuan lempung, batuan pasir, dan batuan andesit yang mencapai kedalaman 45 meter di bawah permukaan. Penelitian mikroseismik dengan analisis nilai *Ground Shear Strain* (GSS) pernah dilakukan sebelumnya pada jalur Sesar Opak oleh Setiawati (2017), pada penelitiannya nilai GSS dapat menggambarkan kemampuan lapisan tanah untuk terdeformasi saat terjadi gempa bumi. Bakri (2014) meneliti fenomena geologi yang mungkin terjadi berdasarkan nilai *Ground Shear Strain* di Kabupaten Kulonprogo. Manurung (2015) dalam penelitiannya nilai *Ground Shear Strain* digunakan untuk memperkirakan tingkat resiko yang terjadi akibat bencana gempa bumi di Kecamatan Muara Bangkahalu Kota Bengkulu. Penelitian menggunakan metode mikrotremor dengan analisis nilai *Ground Shear Strain* (GSS) di Bukit Prau belum pernah dilakukan sebelumnya di Desa Pendoworejo, sehingga penelitian ini dapat bermanfaat untuk mitigasi bencana atau pembangunan wilayah yang aman dari bencana tanah longsor.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan, maka dapat diidentifikasi beberapa masalah yaitu:

1. Desa Pendoworejo merupakan salah satu desa di Kabupaten Kulon Progo yang memiliki banyak titik kerusakan akibat tanah longsor.
2. Dusun Kluwih merupakan salah satu dusun di Desa Pendoworejo yang memiliki titik kerusakan terbanyak akibat tanah longsor.
3. Belum adanya penelitian dengan analisis *Ground Shear Strain* (GSS) untuk memetakan daerah rawan longsor di Bukit Prau, Desa Pendoworejo, Kecamatan Girimulyo, Kabupaten Kulon Progo.
4. Belum adanya identifikasi zona lemah di Bukit Prau, Desa Pendoworejo, Kecamatan Girimulyo, Kabupaten Kulon Progo.

C. Batasan Masalah

Merujuk pada latar belakang dan identifikasi masalah, maka masalah dapat dibatasi sebagai berikut:

1. Pengambilan data mikrotremor melingkupi Dusun Ngrancah, Dusun Krikil, Dusun Kamal dan Dusun Kluwih di Desa Pendoworejo, Kecamatan Girimulyo, Kabupaten Kulon Progo yang terletak pada koordinat geografis $7^{\circ}45'40,12''$ LS - $7^{\circ}44'59,83''$ LS dan $110^{\circ}11'14,28''$ BT - $110^{\circ}11'41,07''$ BT.
2. Data yang digunakan berupa data primer sinyal mikrotremor yang diambil secara langsung di lokasi penelitian sebanyak 35 titik.

3. Pengambilan data mikrotremor menggunakan seismograf Taide tipe TDV-23S dan mengacu pada aturan yang ditetapkan oleh SESAME *European Research Project* (2004).
4. Zona lemah dalam penelitian ini berdasarkan parameter model indeks kerentanan seismik dan faktor amplifikasi terhadap kedalaman.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah yang telah dijelaskan, maka dapat ditentukan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik berdasarkan persebaran frekuensi dominan dan faktor amplifikasi di Bukit Prau, Desa Pendoworejo, Kecamatan Girimulyo, Kabupaten Kulon Progo?
2. Bagaimana karakteristik berdasarkan persebaran nilai indeks kerentanan seismik dan *peak ground acceleration* di Bukit Prau, Desa Pendoworejo, Kecamatan Girimulyo, Kabupaten Kulon Progo?
3. Bagaimana karakteristik berdasarkan persebaran nilai *Ground Shear Strain* (GSS) di Bukit Prau, Desa Pendoworejo, Kecamatan Girimulyo, Kabupaten Kulon Progo?
4. Bagaimana zona lemah di Bukit Prau, Desa Pendoworejo, Kecamatan Girimulyo, Kabupaten Kulon Progo?

E. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas maka tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui karakteristik berdasarkan persebaran frekuensi dominan dan faktor amplifikasi di Bukit Prau, Desa Pendoworejo, Kecamatan Girimulyo, Kabupaten Kulon Progo.
2. Mengetahui karakteristik berdasarkan persebaran nilai indeks kerentanan seismik dan *peak ground acceleration* di Bukit Prau, Desa Pendoworejo, Kecamatan Girimulyo, Kabupaten Kulon Progo.
3. Mengetahui karakteristik berdasarkan persebaran nilai *Ground Shear Strain* (GSS) di Bukit Prau, Desa Pendoworejo, Kecamatan Girimulyo, Kabupaten Kulon Progo.
4. Mengetahui zona lemah di Bukit Prau, Desa Pendoworejo, Kecamatan Girimulyo, Kabupaten Kulon Progo.

F. Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian yang dilakukan diharapkan dapat memberi manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan informasi tentang zona lemah berdasarkan nilai indeks kerentanan seismik dan faktor amplifikasi terhadap kedalaman di Bukit Prau, Desa Pendoworejo, Kecamatan Girimulyo, Kabupaten Kulon Progo.
2. Dapat dimanfaatkan sebagai literatur pendukung dalam mendesain tata ruang dan dasar pembangunan di Desa Pendoworejo berbasis mitigasi bencana longsor.

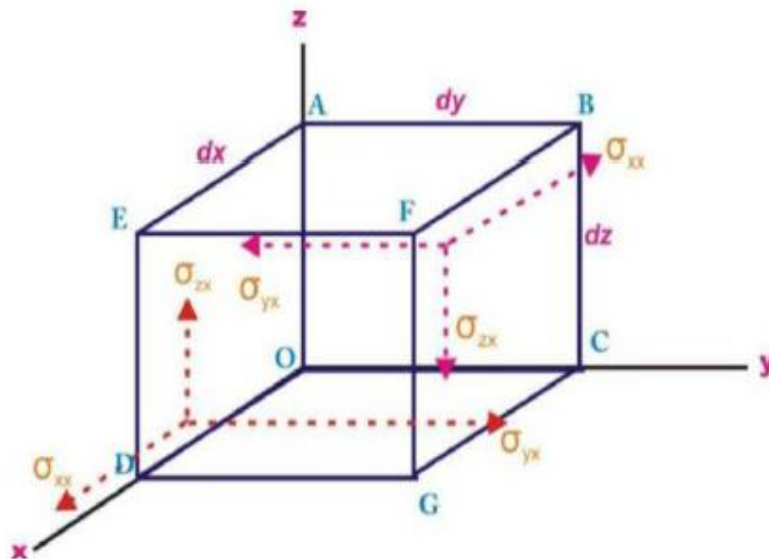
BAB II

DASAR TEORI

A. Gelombang Seismik

Gelombang seismik merupakan gelombang yang merambat melalui bumi. Perambatan gelombang ini bergantung pada sifat elastisitas batuan. Gelombang seismik dapat ditimbulkan dengan dua metode yaitu metode aktif dan metode pasif. Metode aktif adalah metode pembangkitan gelombang seismik secara aktif atau disengaja dengan menggunakan gangguan yang dibuat oleh manusia, biasanya digunakan untuk eksplorasi. Metode pasif adalah pembangkitan gelombang oleh gangguan yang terjadi secara alamiah, contohnya gempa. Gelombang seismik termasuk dalam gelombang elastik karena medium yang dilalui yaitu bumi bersifat elastik. Oleh karena itu sifat penjalaran gelombang seismik bergantung pada elastisitas batuan yang dilewatinya.

Adanya pergerakan dan gaya pada bumi menyebabkan batuan terdeformasi. Peristiwa deformasi ini berkaitan erat dengan konsep tegangan (*stress*), dan regangan (*strain*) (Telford *et al.*, 1990). *Stress* didefinisikan sebagai gaya per satuan luas. Jadi, ketika sebuah benda diberi gaya, maka *stress* adalah perbandingan antara gaya dengan luas area dimana gaya tersebut bekerja. Sedangkan *strain* adalah perubahan bentuk dan ukuran suatu benda elastis akibat adanya *stress* yang bekerja pada benda tersebut. Persamaan gelombang seismik dapat didekati dengan meninjau komponen gaya-gaya tertentu yang bekerja pada sebuah medium homogen berupa kubus seperti yang ditunjukkan Gambar 4.



Gambar 4. Komponen-komponen gaya pada medium kubus (Telford *et al.*, 1990)

Stress yang bekerja pada setiap permukaan medium dipandang berada pada keadaan tidak setimbang. *Stress* yang bekerja pada salah satu permukaan kubus tersebut (misal OABC) mempunyai komponen komponen sebagai berikut:

$$\sigma_{xx} + \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} dx; \sigma_{yx} + \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial x} dx; \sigma_{zx} + \frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial x} dx \quad (1)$$

dengan σ_{xx} adalah *stress* searah sumbu x pada bidang yang tegak lurus sumbu x , σ_{yx} adalah *stress* searah sumbu y pada bidang yang tegak lurus sumbu x , σ_{zx}

adalah *stress* searah sumbu z pada bidang yang tegak lurus sumbu x , $\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} dx$

adalah perubahan *stress* searah sumbu x pada bidang yang tegak lurus sumbu x ,

$\frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial x} dx$ adalah perubahan *stress* searah sumbu y pada bidang yang tegak lurus

sumbu x , $\frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial x} dx$ adalah perubahan *stress* searah sumbu z pada bidang yang

tegak lurus sumbu x .

Stress yang bekerja pada permukaan yang berhadapan (misal OABC dan DEFG) memiliki arah yang saling berlawanan, sehingga *stress* total yang dihasilkan adalah :

$$\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} dx; \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial x} dx; \frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial x} dx \quad (2)$$

Stress tersebut bekerja pada suatu area dengan luas $dydz$ dan volume $dx dy dz$. Maka kita dapat memperoleh gaya per satuan volume pada elemen medium tersebut pada arah sumbu x , y , dan z yang dapat diekspresikan dengan $\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x}$; $\frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial y}$; $\frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial z}$; , sehingga didapatkan total gaya per satuan volume pada arah sumbu x dalam bentuk :

$$\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial z} \quad (3)$$

Pada hukum II Newton, gaya merupakan perkalian antara massa benda (m) dan percepatannya (a). Apabila dikaitkan dengan persamaan densitas benda $\rho = m/V$, maka

$$\rho \left(\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \right) = \left(\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial z} \right) \quad (4)$$

Hubungan pada persamaan (4) disebut sebagai persamaan gerak searah sumbu x . Dengan cara yang sama, dapat diperoleh persamaan gerak pada arah lainnya. Hubungan antara *stress* σ dan regangan ϵ dinyatakan dengan (Telford *et al.*, 1990) :

$$\sigma_{ii} = \lambda' \Delta + 2\mu \epsilon_{ii}, \quad i = x, y, z \quad (5)$$

$$\sigma_{ij} = \mu \epsilon_{ij}, \quad i \neq j \quad (6)$$

dengan

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_{xy} = \varepsilon_{yx} &= \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \\ \varepsilon_{yz} = \varepsilon_{zy} &= \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \\ \varepsilon_{zx} = \varepsilon_{xz} &= \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

u , v , w menunjukkan komponen perpindahan partikel, λ' adalah konstanta Lamé, μ merupakan modulus geser (N/m^2), dan Δ menunjukkan regangan volume atau dilatasi dengan definisi pada persamaan (8)

$$\Delta = \varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy} + \varepsilon_{zz} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \quad (8)$$

Dengan menerapkan persamaan (5), (6), dan (7) maka persamaan (4) dapat diubah menjadi persamaan :

$$\rho \left(\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \right) = (\lambda' + \mu) \frac{\partial \Delta}{\partial x} + \mu \nabla^2 u \quad (9)$$

dengan

$$\nabla^2 u = \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right).$$

Melalui cara yang sama, persamaan (9) dapat diterapkan pada kasus pergerakan partikel searah sumbu y dan z sebagai berikut.

$$\rho \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} = (\lambda' + \mu) \frac{\partial \Delta}{\partial y} + \mu \nabla^2 v \quad (10)$$

$$\rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = (\lambda' + \mu) \frac{\partial \Delta}{\partial z} + \mu \nabla^2 w \quad (11)$$

dengan u , v , w secara berurutan menunjukkan pergeseran partikel pada arah sumbu x , sumbu y , dan sumbu z .

Gelombang merambat pada suatu medium ke segala arah. Secara tiga dimensi arah perambatan gelombang dinyatakan dengan sumbu x , y , dan z . Untuk menentukan persamaan gelombang dilakukan diferensiasi pada persamaan (9), (10), dan (11) masing-masing terhadap x , y , dan z . Berdasarkan persamaan (9) dapat diperoleh persamaan

$$\frac{\rho}{(\lambda'+2\mu)} \frac{\partial^2 \Delta}{\partial t^2} = \nabla^2 \Delta \quad (12)$$

Persamaan (12) merupakan persamaan gelombang longitudinal. Berdasarkan persamaan gelombang tersebut diperoleh kecepatan gelombang seismik longitudinal atau dikenal dengan kecepatan gelombang-P (v_p) sebagai :

$$v_p = \left(\frac{\lambda'+2\mu}{\rho} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (13)$$

Untuk mendapatkan persamaan gelombang transversal atau gelombang seismik S, persamaan (10) didiferensialkan terhadap z dan persamaan (11) di diferensialkan terhadap y . Hasil diferensial persamaan (11) dikurangi dengan hasil pendiferensialan persamaan (10) menghasilkan

$$\rho \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left(\frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z} \right) = \mu \nabla^2 \left(\frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z} \right) \quad (14)$$

Komponen regangan benda yang mengalami perpindahan secara rotasional didefinisikan pada persamaan (15) sebagai

$$\theta_x = \frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z}; \theta_y = \frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x}; \theta_z = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \quad (15)$$

Dengan menerapkan persamaan (15) pada persamaan (14), didapatkan persamaan

$$\frac{\rho}{\mu} \frac{\partial^2 \theta_x}{\partial t^2} = \nabla^2 \theta_x \quad (16)$$

dengan θ_x menyatakan gerakan rotasi tegak lurus terhadap sumbu x , sedangkan arah perambatan gelombangnya searah dengan sumbu x . Untuk kasus arah penjalaran gelombang searah sumbu y dan sumbu z digunakan cara yang sama, sehingga diperoleh persamaan

$$\rho \frac{\partial^2}{\partial t^2} (\theta_y) = \mu \nabla^2 (\theta_y) \quad (17)$$

$$\rho \frac{\partial^2}{\partial t^2} (\theta_z) = \mu \nabla^2 (\theta_z) \quad (18)$$

Persamaan (16), (17), dan (18) menyatakan persamaan gelombang transversal. Dari persamaan (16) dapat diperoleh kecepatan gelombang transversal atau dikenal dengan kecepatan gelombang-S sebagai

$$v_s = \left(\frac{\mu}{\rho} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (19)$$

dengan v_s adalah kecepatan gelombang-S (m/s), μ adalah modulus geser (N/m²) dan ρ adalah densitas (kg/m³).

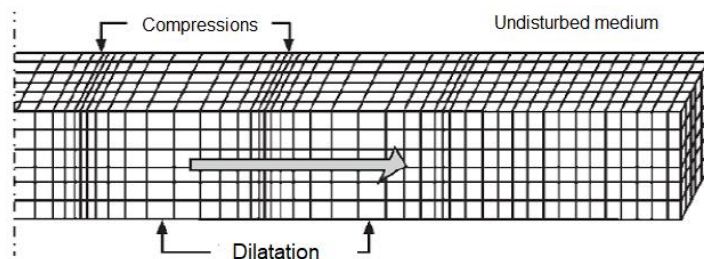
Menurut Telford *et al.* (1990), gelombang seismik terdiri dari dua tipe, yaitu gelombang badan (*body wave*) dan gelombang permukaan (*surface wave*).

1. Gelombang Badan (*Body Wave*)

Gelombang badan merupakan gelombang yang menjalar melalui bagian dalam permukaan bumi dan biasa disebut *free wave* karena dapat menjalar ke segala arah di dalam bumi. Berdasarkan gerak partikel, media dan arah penjalarannya, gelombang badan dibedakan menjadi dua yaitu :

a. Gelombang P (Primer/*Pressure*)

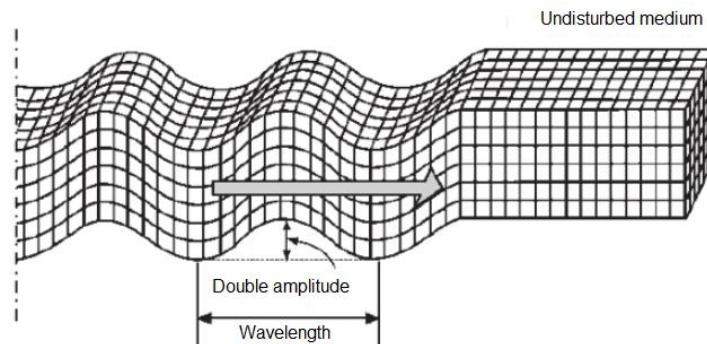
Gelombang P disebut dengan gelombang kompresi atau gelombang longitudinal. Gelombang ini memiliki kecepatan perambatan paling besar dibandingkan dengan gelombang seismik yang lain, sehingga menjadi gelombang yang pertama kali terdeteksi oleh seismograf. Gelombang P dapat merambat melalui medium padat, cair dan gas. Ketika gelombang kompresi melalui suatu medium, partikel seolah-olah bergerak maju mundur searah dengan arah penjalaran gelombangnya (Gambar 5).



Gambar 5. Ilustrasi Gelombang P (Elnashai dan Sarno, 2008).

b. Gelombang-S (Sekunder/*Shear*)

Gelombang sekunder merupakan gelombang transversal atau *shear wave*, gerakan partikelnya tegak lurus dengan arah gerak perambatannya (Gambar 6). Gelombang ini hanya dapat menjalar melalui medium padat karena medium cair dan gas tidak punya daya elastisitas untuk kembali ke bentuk asal. Gelombang sekunder (S) memiliki kecepatan yang lebih rendah dibandingkan dengan gelombang primer, sehingga terdeteksi oleh seismograf setelah gelombang primer (Elnashai dan Sarno, 2008).



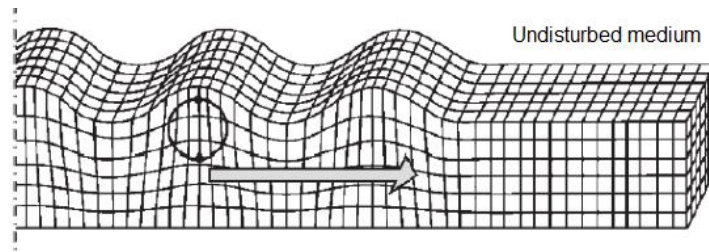
Gambar 6. Ilustrasi gelombang S (Elnashai dan Sarno, 2008)

2. Gelombang Permukaan

Gelombang permukaan merupakan salah satu gelombang seismik selain gelombang badan. Gelombang ini menjalar pada batas permukaan medium di permukaan lapisan bumi. Berdasarkan sifat gerakan partikel pada media elastik, gelombang permukaan merupakan gelombang kompleks yang memiliki frekuensi rendah dan amplitudo yang besar. Gelombang ini menjalar akibat adanya efek *free surface* dimana terdapat perbedaan sifat elastik medium (Susilawati, 2008). Terdapat dua jenis gelombang permukaan, yaitu gelombang Rayleigh dan gelombang Love.

a. Gelombang Rayleigh

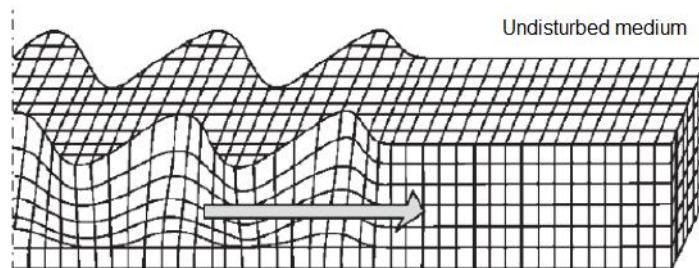
Gelombang Rayleigh adalah gelombang yang menjalar di permukaan bumi dengan pergerakan partikelnya menyerupai elips. Karena menjalar di permukaan, amplitudo gelombang Rayleigh akan berkurang dengan bertambahnya kedalaman. Di dalam rekaman seismik, gelombang Rayleigh dicirikan dengan amplitudo besar dan frekuensi rendah. Arah rambatnya tegak lurus terhadap getaran dan searah bidang datar. Ilustrasi gelombang ini ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Ilustrasi Gelombang Rayleigh (Elnashai dan Sarno, 2008)

b. Gelombang Love

Gelombang Love merupakan gelombang permukaan yang menjalar dalam bentuk gelombang transversal dan merupakan gelombang S horizontal yang arah penjarannya paralel dengan permukaannya. Gelombang Love lebih cepat daripada gelombang *Rayleigh* dan lebih dulu sampai pada seismograf (Gadallah and Fisher, 2009). Gambar 8 menunjukkan ilustrasi penjaran gelombang Love.



Gambar 8. Ilustrasi Gelombang Love (Elnashai dan Sarno, 2008).

B. Mikrotremor

Mikrotremor merupakan getaran tanah selain gempa bumi, bisa berupa getaran akibat aktivitas manusia maupun aktivitas alam. Mikrotremor bisa terjadi karena getaran akibat orang yang sedang berjalan, getaran mobil, getaran mesin-mesin pabrik, gerakan angin, gelombang laut atau getaran alamiah dari tanah (Ibrahim dan Subardjo, 2005). 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 amplitudo pergeserannya berkisar 0,1 - 1,0 mikron dan amplitudo kecepataannya 0,001 - 0,01 cm/s (Mirzaoglu, 2003).

Sinyal mikrotremor terdiri dari tiga komponen yaitu dua komponen horizontal yaitu spektrum E (Barat-Timur), dan spektrum N (Utara-Selatan) juga satu komponen vertikal yaitu spektrum Z. Observasi mikrotremor dapat digunakan untuk mengetahui karakteristik lapisan tanah berdasarkan frekuensi predominannya dan faktor penguatan gelombangnya (amplifikasi).

Kegunaan dari survei mikrotremor di antaranya untuk mengklasifikasikan jenis tanah berdasarkan frekuensi dominan yang nilainya spesifik untuk tiap jenis tanah. Mikrotremor tidak hanya digunakan sebagai alat untuk mengantisipasi sifat gerakan gempa bumi tetapi juga untuk membuktikan koefisien gaya yang telah ditetapkan dalam perencanaan bangunan tahan gempa. Mikrotremor juga menjelaskan struktur bawah permukaan tanah di tempat survei mikrotremor dilakukan (Putri, 2016).

C. HVSR (*Horizontal to Vertical Spectra Ratio*)

Teknik HVSR merupakan teknik sederhana yang dapat menggambarkan karakteristik dinamis tanah maupun struktur. Rasio spektral dari H/V merupakan estimasi rasio antara spektrum amplitudo komponen horizontal dan vertikal dari suatu getaran. Spektrum H/V akan menunjukkan frekuensi dominan (f_0)

dan nilai puncak HVSR. Teknik pengolahan gelombang mikrotremor ini dipopulerkan oleh Nakamura (1989).

Nakamura (1989) mengembangkan konsep bahwa amplitudo dan frekuensi puncak HVSR merepresentasikan amplifikasi dan frekuensi lokasi (*site*) setempat. *Site effect* terjadi akibat keberadaan lapisan tanah lunak yang menempati setengah cekungan dari batuan dasar. Dalam kondisi ini terdapat empat komponen gerakan yang terlibat, yaitu komponen gerak horizontal dan vertikal di batuan dasar dan komponen gerak horizontal dan vertikal di permukaan. Faktor amplifikasi dari gerakan horizontal dan vertikal di permukaan tanah sedimen berdasarkan pada gerakan seismik di permukaan tanah yang bersentuhan langsung dengan batuan dasar di area cekungan dilambangkan dengan T_H dan T_V (Nakamura, 2000). *Site effect* (T_{SITE}) pada permukaan lapisan sedimen, biasanya digambarkan dengan cara membandingkan faktor amplifikasi dari gerakan horizontal dan vertikal pada permukaan tanah sedimen (Daryono *et. al.*, 2009).

$$T_{SITE} = \frac{T_H}{T_V} \quad (20)$$

Besarnya faktor amplifikasi horizontal T_H adalah:

$$T_H = \frac{S_{HS}}{S_{HB}} \quad (21)$$

dengan S_{HS} adalah spektrum sinyal dari komponen horizontal di permukaan tanah, dan S_{HB} adalah spektrum dari komponen horizontal pada dasar lapisan tanah.

Besarnya faktor amplifikasi vertikal T_V adalah:

$$T_V = \frac{S_{VS}}{S_{VB}} \quad (22)$$

dengan S_{VS} adalah spektrum dari komponen gerak vertikal di permukaan tanah, dan S_{VB} adalah spektrum dari komponen gerak vertikal pada dasar lapisan tanah.

Gelombang Rayleigh mendominasi data mikrotremor dibanding beberapa jenis gelombang yang lain. Pengaruh gelombang Rayleigh pada rekaman mikrotremor memiliki besar yang sama untuk komponen vertikal dan horizontal saat rentang frekuensi 0,2 – 20,0 Hz, sehingga rasio spektrum antara komponen horizontal dan vertikal di batuan dasar mendekati satu.

$$\frac{S_{HB}}{S_{VB}} \approx 1 \quad (23)$$

apabila dibulatkan menjadi:

$$\frac{S_{HB}}{S_{VB}} = 1 \quad \text{atau} \quad \frac{S_{VB}}{S_{HB}} = 1 \quad (24)$$

karena rasio spektrum antara komponen horizontal dan vertikal di batuan dasar mendekati nilai satu, maka persamaan tersebut menjadi dasar perhitungan rasio spektrum mikrotremor komponen horizontal terhadap komponen vertikalnya, sehingga dapat dinyatakan dengan persamaan (25).

$$HVSR = \frac{\sqrt{(A_{(U-S)}(f))^2 + (A_{(B-T)}(f))^2}}{A_{(V)}(f)} \quad (25)$$

dengan $A_{(U-S)}(f)$ adalah nilai amplitudo spektrum frekuensi komponen utara selatan, $A_{(B-T)}(f)$ adalah nilai amplitudo spektrum frekuensi komponen barat

timur, dan $A_{(v)}(f)$ adalah amplitudo spektrum frekuensi komponen vertikal.

Hasil pengolahan HVSR berupa kurva HVSR.

D. Faktor Amplifikasi (A_0)

Faktor amplifikasi adalah pembesaran percepatan gempa yang terjadi pada permukaan tanah diakibatkan oleh jenis tanah tertentu. Ketika gelombang gempa menjalar dari batuan dasar ke permukaan tanah maka gelombang ini akan mengalami amplifikasi. Besaran amplifikasi dapat diestimasi dari kontras parameter perambatan gelombang yaitu densitas, kecepatan pada *bedrock* dan sedimen permukaan. Semakin besar perbedaan parameter tersebut, semakin besar pula nilai amplifikasi perambatan gelombangnya (Gosar, 2007).

Nilai amplifikasi dipengaruhi oleh variasi formasi geologi, ketebalan dan sifat-sifat fisik lapisan tanah atau batuan. Hal yang menyebabkan perubahan pada sifat fisik batuan yaitu seperti batuan mengalami deformasi (pelapukan, pelipatan, dan pergeseran). Nilai faktor amplifikasi pada batuan yang sama dapat bervariasi sesuai dengan tingkat deformasi dan pelapukan pada tubuh batuan tersebut. Klasifikasi faktor amplifikasi menurut Ratdomopurbo (Setiawan, 2009) dibagi ke dalam 4 zona yaitu rendah, sedang, tinggi dan sangat tinggi yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Klasifikasi nilai faktor amplifikasi (Setiawan, 2009)

Zona	Klasifikasi	Nilai Faktor Amplifikasi
1	Rendah	$A < 3$
2	Sedang	$3 \leq A < 6$
3	Tinggi	$6 \leq A < 9$
4	Sangat tinggi	$A \geq 9$

E. Frekuensi Predominan (f_0)

Nilai frekuensi dominan berkaitan dengan kedalaman bidang pantul gelombang di bawah permukaan, dimana bidang pantul tersebut merupakan batas antara sedimen lunak dengan batuan keras, sehingga semakin kecil frekuensi yang terbentuk dari pantulan gelombang tersebut menunjukkan bahwa semakin tebal sedimennya atau semakin dalam bidang pantul gelombang tersebut. Frekuensi dominan merupakan nilai frekuensi yang sering muncul sehingga diakui sebagai nilai frekuensi dari lapisan batuan. Nilai frekuensi dominan dapat menunjukkan jenis dan karakteristik batuan di wilayah tersebut. Nilai frekuensi yang sangat rendah meningkatkan kerentanan terhadap guncangan gempa bumi dengan periode yang panjang (Putri, 2016). Kanai mengklasifikasikan jenis tanah berdasarkan nilai frekuensi dominan yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Klasifikasi tanah berdasarkan nilai frekuensi dominan mikrotremor oleh Kanai (Arifin *et al.*, 2013)

Klasifikasi Tanah		Frekuensi Predominan (Hz)	Klasifikasi Kanai	Deskripsi
Tipe	Jenis			
Tipe IV	Jenis I	6,67 – 20	Batuan tersier tua atau lebih tua, terdiri dari batuan <i>hard sandy</i> , dan <i>gravel</i>	Ketebalan sedimen permukaannya sangat tipis, didominasi oleh batuan keras
	Jenis II	4 – 6,67	Batuan alluvial, dengan ketebalan 5 meter, terdiri dari <i>sandy-gravel</i> , <i>sandy hard clay</i> , dan <i>loam</i>	Ketebalan sedimen permukaannya masuk dalam kategori menengah 5 – 10 meter
Tipe III	Jenis III	2,5 – 4	Batuan alluvial, dengan ketebalan >5m, terdiri dari <i>sandy-gravel</i> , <i>sandy hard clay</i> , dan <i>loam</i>	Ketebalan sedimen permukaan masuk dalam kategori tebal, sekitar 10 – 30 meter
Tipe II	Jenis IV	< 2,5	Batuan alluvial, yang terbentuk dari sedimentasi delta, <i>top soil</i> , dan lumpur, dengan kedalaman 30m atau lebih	Ketebalan sedimen permukaannya sangatlah tebal

F. Mikrozonasi

Mikrozonasi merupakan upaya untuk mengevaluasi dan memetakan potensi bencana oleh guncangan tanah yang kuat saat terjadi bencana pada suatu daerah, khususnya daerah perkotaan. Bencana yang terjadi meliputi, tanah longsor, gempa bumi, likuifaksi, amplifikasi gerakan tanah. Peta mikrozonasi dapat digabungkan dengan informasi data mikrotremor suatu daerah yang akan bermanfaat dalam pengembangan strategi mitigasi bencana seperti pengkajian resiko gempa bumi, relokasi daerah rawan longsor, perencanaan tata guna lahan suatu daerah, tanggap darurat dan kesiagaan.

Parameter yang terdapat pada peta mikrozonasi meliputi frekuensi dominan, faktor amplifikasi, indeks kerentanan seismik, dan lain-lain, parameter tersebut akan menunjukkan potensi terjadinya bencana di suatu daerah dengan kerusakan parah apabila daerah tersebut memiliki nilai parameter yang tinggi.

G. Penampang Seismik

Kurva H/V merupakan kurva yang merepresentasikan kondisi geologi setempat berdasarkan respon dinamis getaran alami di permukaan dan bawah permukaan (Wibowo *et al.*, 2018). Parameter-parameter yang dihasilkan dari kurva H/V yaitu frekuensi dominan dan faktor amplifikasi yang dapat merepresentasikan kondisi geologi daerah penelitian. Kurva H/V juga dapat dimanfaatkan sebagai input utama pembuatan penampang seismik. Dengan

mengacu pada persamaan metode HVSR, maka spektrum dalam domain perioda dapat diubah ke domain kedalaman.

Gelombang mikrotremor berasal dari fenomena pantulan ganda (*multiple reflection*) gelombang geser, yaitu gelombang seismik yang arah pergerakan partikel mediumnya tegak lurus dengan arah pergerakan gelombang. Jika batuan pada daerah penelitian dimodelkan dengan media dua lapis sederhana dengan litologi permukaan berupa sedimen (tanah lunak) yang mempunyai ketebalan tertentu dan kecepatan gelombang geser (v_s) maka frekuensi dominan (f_0) dapat ditulis dengan persamaan berikut (Wibowo *et al.*, 2018).

$$f_0 = \frac{v_s}{4h} \quad (26)$$

dengan f_0 adalah frekuensi dominan, h adalah kedalaman dan v_s adalah kecepatan gelombang geser. Bila f_0 dinyatakan dalam perioda dominan (T_0) :

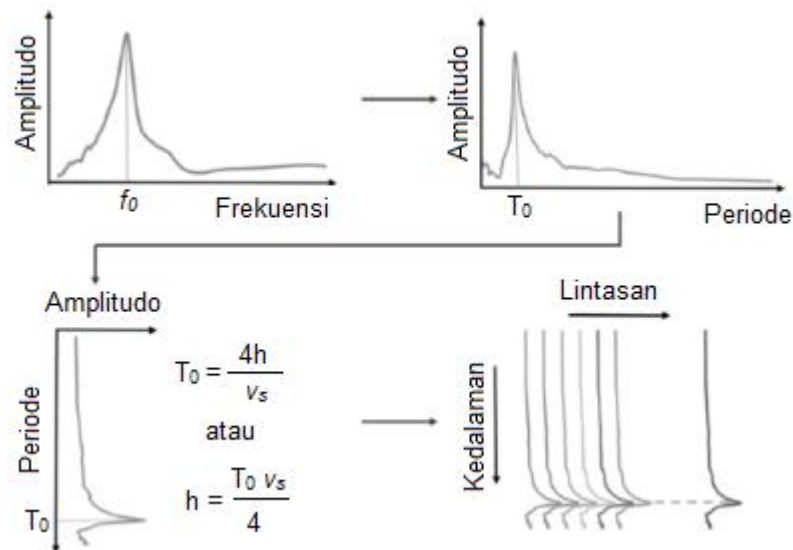
$$T_0 = \frac{4h}{v_s} \quad (27)$$

maka kedalaman sedimen dapat dirumuskan dengan persamaan :

$$h = \frac{T_0 v_s}{4} \quad (28)$$

Berdasarkan persamaan (28), ketebalan dari sedimen lunak di permukaan berkaitan langsung dengan nilai perioda, sehingga spektrum frekuensi harus diubah dalam domain perioda. *Picking* periode dominan (T_0) dilakukan pada puncak spektrum HVSR. Dengan mengetahui nilai v_s pada lokasi penelitian maka dapat diketahui kedalaman lapisan sedimen. Bila setiap spektrum dalam satu lintasan pengamatan disejajarkan secara vertikal maka akan terbentuk

penampang menyerupai penampang seismik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Sketsa model geologi bawah permukaan dua lapis dan respon spektralnya (Wibowo *et al.*, 2018)

H. *Ellipticity Curve*

Metode *ellipticity curve* merupakan salah satu metode *inverse modeling*, yaitu suatu metode yang digunakan untuk memperkirakan nilai numerik parameter model berdasarkan hasil observasi menggunakan model tertentu. Dengan metode ini, dapat juga dilakukan pencocokan data (*data fitting*) untuk mencari parameter model yang cocok dengan data pengamatan.

Metode *ellipticity curve* mengekstrak sifat-sifat fisis bawah permukaan yang tidak dapat ditentukan oleh metode HVSR, yang kemudian digunakan untuk mendapatkan parameter kecepatan gelombang geser permukaan (v_s) di titik pengukuran mikrotremor. Parameter bawah permukaan yang dimasukkan dalam

metode *ellipticity curve* antara lain kecepatan gelombang geser v_s kecepatan gelombang kompresi v_p , densitas batuan ρ , dan Poisson *ratio* σ (Patimah, 2017). Poisson *ratio* adalah ukuran perubahan geometri, yaitu perbandingan antara perubahan bentuk regangan horizontal (*lateral strain*) dan regangan vertikal (*axial strain*) yang disebabkan oleh penekanan axial tertentu yang dapat mengubah bentuk yang tidak terbatas. Dengan kata lain, Poisson *ratio* adalah sifat elastisitas yang dimiliki batuan yang mengindikasikan tingkat rekahan (*fracturing*) yang mana nilainya akan lebih tinggi dari kondisi normal pada batuan yang terisi cairan. Secara umum, nilai Poisson *ratio* berkisar antara 0,1 hingga 0,5. Nilai Poisson *ratio* untuk material berbeda ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai Poisson *Ratio* (Subramanian, 2008)

Jenis Batuan	Poisson <i>Ratio</i> (σ)
Lempung (Tersaturasi)	0,4-0,5
Lempung (Tidak Tersaturasi)	0,1-0,3
Lempung-pasir	0,2-0,3
Lumpur	0,3-0,35
Pasir	0,2-0,4
Batuan	0,1-0,4
<i>Loess</i>	0,1-0,3
Es	0,36
Beton	0,15

Tabel 5. Nilai Variasi Densitas Batuan (Telford, *et al.*, 1990)

Jenis Batuan	Densitas (g/cm ³)	Jenis Batuan	Densitas (g/cm ³)	Jenis Batuan	Densitas (g/cm ³)
<i>Aluvium</i>	1,96-2,00	<i>Schist</i>	2,39-2,90	<i>Riolit</i>	2,35-2,70
<i>Clay</i>	1,63-2,60	<i>Gneiss</i>	2,59-3,00	<i>Granit</i>	2,50-2,81
<i>Gravel</i>	1,70-2,40	<i>Phyllite</i>	2,68-2,80	<i>Andesit</i>	2,40-2,80
<i>Silt</i>	1,40-1,93	<i>Slate</i>	2,70-2,90	<i>Synite</i>	2,60-2,95
<i>Soil</i>	1,83-2,20	<i>Granulite</i>	2,52-2,70	<i>Basalt</i>	2,70-3,30
<i>Sand</i>	1,20-2,40	<i>Amphiboli</i>	2,90-3,04	<i>Gabro</i>	2,70-3,30
<i>Sandstone</i>	1,61-2,76	<i>Eclogite</i>	3,20-3,54		
<i>Shale</i>	1,77-3,20	<i>Limestone</i>	1,93-2,90		

Densitas atau kerapatan batuan adalah besarnya kompresi yang dialami suatu batuan, umumnya semakin bertambah kedalaman lapisan semakin besar pula kompresi yang dialami, sehingga memiliki densitas yang lebih besar. Nilai variasi densitas setiap batuan ditunjukkan pada Tabel 5.

Salah satu faktor yang mempengaruhi perbedaan kecepatan gelombang seismik adalah litologi atau jenis batuan yang berada di bawah permukaan. Setiap jenis batuan memiliki kekerasan dan elastisitas yang berbeda-beda, sehingga menyebabkan gelombang yang merambat di suatu lapisan batuan juga memiliki kecepatan yang berbeda-beda pula. Klasifikasi nilai v_s dan v_p ditunjukkan pada Tabel 6 dan Tabel 7.

Tabel 6. Klasifikasi Nilai Kecepatan Gelombang Kompresi menurut Kohnen (1974) dalam Samsudin (2018)

Material	v_p (m/s)	Material	v_p (m/s)
<i>Loess</i>	300-600	<i>Gypsum</i>	2000-3500
<i>Soil</i>	100-500	<i>Shales</i>	2000-4100
<i>Sand (loose)</i>	200-2000	<i>Granites</i>	4600-6200
<i>Sand (dry, loose)</i>	200-1000	<i>Basalts</i>	5500-6500
<i>Sand (saturated)</i>	1500-2000	<i>Gabbro</i>	6400-7000
<i>Glacial moraine</i>	1500-2700	<i>Peridotite</i>	7800-8400
<i>Sand-gravel</i>	400-2300	<i>Serpentinite</i>	5500-6500
<i>Clay</i>	1000-2500	<i>Gneiss</i>	3500-7600
<i>Alluvium</i>	1800-2200	<i>Marbles</i>	3780-7000
<i>Sandstone</i>	1400-4500	<i>Sulphide ores</i>	3950-6700
<i>Limestone (soft)</i>	1700-4200	<i>Concrete</i>	3000-3500
<i>Limestone (hard)</i>	2800-7000	<i>Disturbed soil</i>	180-335
<i>Dolomite</i>	2500-6500		

Tabel 7. Klasifikasi *Site* berdasarkan Nilai Kecepatan Gelombang Geser Hasil Penyelidikan Tanah dan Laboratorium (Badan Standarisasi Nasional, 2012)

Klasifikasi <i>Site</i>	Kecepatan Gelombang Geser v_s (m/s)
Batuan keras	$v_s \geq 1500$
Batuan	$750 < v_s \leq 1500$
Tanah keras dan batuan lunak	$350 < v_s \leq 750$
Tanah sedang	$175 < v_s \leq 350$
Tanah lunak	$v_s \leq 175$

I. Percepatan Getaran Tanah Maksimum

Gempa bumi dengan kekuatan yang cukup besar akan sangat berdampak pada kerusakan bangunan. Salah satu faktor yang dapat menentukan besar kecilnya kerusakan tersebut adalah percepatan getaran tanah maksimum atau *Peak Ground Acceleration* (PGA) (Edwiza, 2008). PGA adalah nilai percepatan getaran tanah terbesar yang pernah terjadi di suatu tempat yang diakibatkan oleh gelombang gempa bumi. Percepatan getaran tanah maksimum yang terjadi pada suatu titik tertentu dalam suatu kawasan dihitung dari semua gempa bumi yang terjadi pada kurun waktu tertentu dengan memperhatikan koordinat gempa, besar magnitudo dan jarak hiposenter dimana titik tersebut berada (Kirbani, 2012).

Nilai PGA dapat diketahui dengan pendekatan secara empiris untuk mendapatkan gambaran secara umum mengenai percepatan tanah maksimum sesuai dengan titik penelitian. Dalam penelitian ini pendekatan empiris yang digunakan untuk menghitung nilai percepatan tanah di batuan dasar adalah pendekatan Fukushima-Tanaka. Rumusan Fukushima-Tanaka diperoleh menggunakan 1372 komponen percepatan tanah maksimum horizontal dari 28 gempa di Jepang dan 15 gempa yang terjadi di Amerika. Rumusan ini

memperhitungkan input parameter gempa bumi seperti episenter, kedalaman dan magnitudo. Rumusan Fukushima-Tanaka (Fukushima-Tanaka, 2015) dapat dilihat pada persamaan 29.

$$^{10}\log a = 0,41M -^{10}\log(R + 0,032 \times 10^{0,41M}) - 0,0034R + 1,30 \quad (29)$$

dimana a merupakan nilai percepatan getaran tanah maksimum di titik penelitian (gal), R adalah jarak hiposenter ke titik pengukuran (Km) dan M adalah magnitudo gempa bumi (M_s). Data yang digunakan adalah data gempa bumi Yogyakarta pada tanggal 27 Mei 2006. Gempa bumi tersebut berepisenter di $8,03^\circ$ LS dan $110,32^\circ$ BT pada kedalaman 12 km dengan kekuatan 5,9 SR (M_b)

J. Hubungan Antar Magnitudo

Dalam perumusan percepatan getaan tanah, magnitudo yang dibutuhkan adalah magnitudo gelombang permukaan (M_s), berikut adalah hubungan antara beberapa magnitudo (Priyanto, 2016) :

Hubungan antara magnitudo permukaan (M_s) dengan magnitudo gelombang badan (M_b) :

$$M_b = 1,59 M_s - 3,97 \quad (30)$$

Hubungan antara magnitudo permukaan (M_s) dengan momen seismik (M_0) :

$$\log M_0 = 1,5 M_s + 16,1 \quad (31)$$

Hubungan antara magnitudo momen (M_w) dengan magnitudo permukaan (M_s) :

$$M_w = ((1,5 M_s + 16,1) / 1,5) - 10,73 \quad (32)$$

K. Indeks Kerentanan Seismik (K_g)

Indeks kerentanan seismik merupakan indeks yang menggambarkan tingkat kerentanan lapisan tanah terhadap deformasi. Beberapa faktor yang mempengaruhi indeks kerentanan seismik di antaranya adalah sedimen yang memiliki soliditas rendah, sehingga mempengaruhi faktor amplifikasi atau perbesaran gelombang seismik yang terjadi akibat adanya perbedaan yang signifikan antar lapisan (Fah dalam Pertiwi, 2018).

$$K_g = (A_0^2 / f_0) / (\pi^2 v_b) \quad (33)$$

dimana K_g merupakan indeks kerentanan seismik (s^2/cm), A_0 adalah faktor amplifikasi, f_0 merupakan frekuensi dominan (Hz) dan v_b adalah kecepatan gelombang di bawah permukaan tanah (*bedrock*).

L. *Ground Shear Strain*

Tabel 8. Hubungan antara regangan dengan sifat dinamis tanah (Nakamura, 1997)

Nilai regangan (γ)	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}
Fenomena	Gelombang, getaran		Retak, penurunan tanah	Longsor, penurunan tanah, likuifaksi	
Sifat dinamis	Elastis		Plastik Elastis	Keruntuhan	

Nilai *Ground Shear Strain* (GSS) pada lapisan tanah menggambarkan kemampuan material lapisan tanah untuk bergeser saat terjadi gempa bumi. Tabel 8 menunjukkan hubungan GSS terhadap bencana yang diakibatkan oleh tanah. Dari data tersebut diketahui bahwa saat GSS bernilai 1000×10^{-6} , tanah mulai menunjukkan karakter yang tidak linier dan saat GSS bernilai lebih dari $10.000 \times$

10^{-6} , tanah akan mengalami deformasi dan keruntuhan (Nakamura, 1997).

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

$$\gamma = (A_0 d) / H \quad (34)$$

dengan A_0 adalah faktor amplifikasi, H adalah ketebalan lapisan tanah, dan d adalah pergeseran gelombang seismik di bawah permukaan tanah. Kecepatan pergeseran gelombang di bawah permukaan tanah dan pada permukaan tanah masing-masing dilambangkan sebagai v_b dan v_s . Besarnya kecepatan gelombang di bawah permukaan tanah (v_b) dirumuskan sebagai :

$$v_b = 4A_0 H f_0 \quad (35)$$

sehingga besarnya ketebalan lapisan dapat ditentukan dengan persamaan

$$H = v_b / 4A_0 f_0 \quad (36)$$

Nilai ketebalan lapisan dapat pula dituliskan sebagai

$$H = v_s / 4f_0 \quad (37)$$

dengan $v_s = v_b / A_0$.

Percepatan di bawah permukaan tanah (a_g) dinyatakan sebagai :

$$a_g = (2\pi f_0)^2 d \quad (38)$$

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

$$d = a_g / (2\pi f_0)^2 \quad (39)$$

Jika persamaan (37) dan (38) dimasukkan ke persamaan (34), maka diperoleh :

$$\gamma = (A_0 a_g / (2\pi f_0)^2) / (v_s / 4f_0) \quad (40)$$

$$\gamma = (A_g a_g) / (\pi^2 v_s f_0) \quad (41)$$

sehingga persamaan *Ground Shear Strain* (γ) adalah :

$$\gamma = (K_g a_g) \quad (42)$$

dengan K_g adalah indeks kerentanan seismik tanah.

M. Tanah Longsor

1. Pengertian Tanah Longsor

Menurut Badan Koordinasi Nasional Penanganan Bencana (BAKORNAS PB, 2007) tanah longsor merupakan salah satu jenis pergerakan massa tanah atau batuan menuruni lereng akibat terganggunya kestabilan tanah atau batuan penyusun lereng tersebut. Pada prinsipnya, tanah longsor terjadi ketika gaya dorong pada lereng lebih besar daripada gaya penahan. Gaya penahan umumnya dipengaruhi dari kekuatan batuan dan kepadatan tanah, sedangkan besarnya gaya dorong dipengaruhi oleh besarnya kemiringan lereng, beban, serta jenis tanah dan batuan. Gejala umum tanah longsor ditandai dengan munculnya retakan-retakan di sekitar lereng yang sejajar dengan arah tebing serta munculnya air secara tiba-tiba setelah terjadi hujan kemudian tebing rapuh atau kerikil berjatuhan (Nandi, 2007).

Terdapat 6 jenis tanah longsor, yaitu : longsoran translasi, longsoran rotasi, pergerakan blok, runtuh batu, rayapan tanah, dan aliran bahan rombakan. Jenis translasi dan rotasi merupakan jenis yang paling sering terjadi di Indonesia,

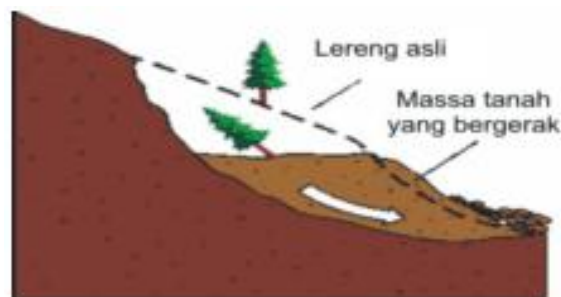
sedangkan jenis yang paling banyak memakan korban jiwa adalah jenis aliran bahan rombakan (BAKORNAS PB, 2007).

- a. Longsoran Translasi (Gambar 10) adalah Bergeraknya massa tanah dan batuan pada bidang gelincir yang berbentuk rata atau menggelombang landai.



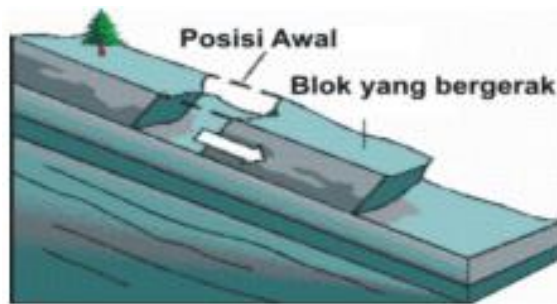
Gambar 10. Longsoran Translasi (BAKORNAS PB, 2007)

- b. Longsoran rotasi (Gambar 11) adalah Bergeraknya massa tanah dan batuan pada bidang gelincir berbentuk cekung.



Gambar 11. Longsoran Rotasi (BAKORNAS PB, 2007)

- c. Pergerakan blok (Gambar 12) adalah perpindahan batuan pada bidang gelincir berbentuk rata. Longsoran ini disebut juga longsoran translasi blok batu.



Gambar 12. Pergerakan Blok (BAKORNAS PB, 2007)

- d. Runtuhan batu (Gambar 13) terjadi ketika sejumlah besar batuan atau material lain bergerak ke bawah dengan cara jatuh bebas. Umumnya terjadi pada lereng yang terjal di pinggir pantai. Batu-batu besar yang jatuh dapat menyebabkan kerusakan yang parah.



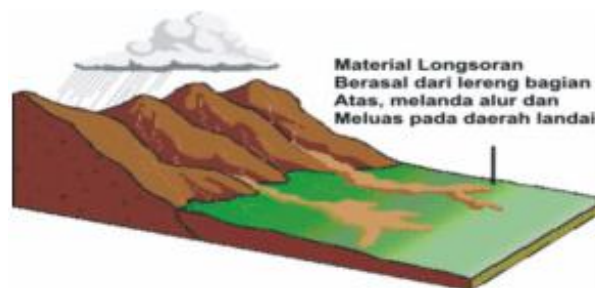
Gambar 13. Runtuhan Batu (BAKORNAS PB, 2007)

- e. Rayapan tanah (Gambar 14) adalah jenis tanah longsor yang bergerak lambat. Jenis tanahnya berupa butiran halus dan kasar. Jenis longsor ini tidak dapat dikenali. Setelah waktu yang cukup lama, longsor ini dapat menyebabkan tiang-tiang telepon, pohon, atau rumah miring ke bawah.



Gambar 14. Rayapan Tanah (BAKORNAS PB, 2007)

- f. Aliran bahan rombakan (Gambar 15) terjadi ketika massa tanah bergerak karena didorong oleh air. Kecepatan aliran dipengaruhi oleh kemiringan lereng, volume dan tekanan air, dan jenis materialnya. Gerakannya terjadi di sepanjang lembah dan mampu mencapai ratusan meter. Di beberapa tempat bisa sampai ribuan meter seperti di daerah aliran sungai di sekitar gunungapi. Aliran tanah ini dapat menelan korban cukup banyak.



Gambar 15. Aliran Bahan Rombakan (BAKORNAS PB, 2007)

2. Penyebab Terjadinya Tanah Longsor

Pada prinsipnya tanah longsor terjadi bila gaya pendorong pada lereng lebih besar daripada gaya penahan. Gaya penahan umumnya dipengaruhi oleh kekuatan batuan dan kepadatan tanah. Sedangkan gaya pendorong dipengaruhi oleh besarnya sudut lereng, air, beban serta berat jenis tanah batuan (ESDM, 2007). Berikut adalah faktor-faktor penyebab tanah longsor:

a. Hujan

Ancaman tanah longsor biasanya dimulai pada bulan November karena meningkatnya intensitas curah hujan. Musim kering yang panjang akan menyebabkan terjadinya penguapan air di permukaan tanah dalam jumlah besar. Hal itu mengakibatkan munculnya pori-pori atau rongga tanah hingga terjadi retakan dan merekahnya permukaan tanah.

Ketika hujan, air akan menyusup ke bagian yang retak sehingga tanah dengan cepat mengembang kembali. Pada awal musim hujan, intensitas hujan yang tinggi biasanya sering terjadi, sehingga kandungan air pada tanah menjadi jenuh dalam waktu singkat. Hujan lebat pada awal musim dapat menimbulkan longsor, karena melalui tanah yang merekah air akan masuk dan terakumulasi di bagian dasar lereng, sehingga menimbulkan gerakan lateral. Bila ada pepohonan di permukaannya tanah longsor dapat dicegah karena air akan diserap oleh tumbuhan. Akar tumbuhan juga akan berfungsi mengikat tanah.

b. Lereng Terjal

Lereng atau tebing yang terjal akan memperbesar gaya pendorong. Lereng yang terjal terbentuk karena pengikisan air sungai, mata air, air laut, dan angin. Kebanyakan sudut lereng yang menyebabkan longsor adalah 45° apabila ujung lerengnya terjal dan bidang longsorannya mendatar.

c. Tanah yang Kurang Padat dan Tebal

Jenis tanah yang kurang padat adalah tanah lempung atau tanah liat dengan ketebalan lebih dari 2,5 m dan sudut lereng lebih dari 40° . Tanah jenis ini memiliki potensi untuk mengalami longsor terutama bila terjadi hujan. Selain itu tanah ini sangat rentan terhadap pergerakan tanah karena menjadi lembek terkena air dan pecah ketika hawa terlalu panas.

d. Batuan yang Kurang Kuat

Batuan endapan gunung api dan batuan sedimen berukuran pasir dan campuran antara kerikil, pasir, dan lempung umumnya kurang kuat. Batuan

tersebut akan mudah menjadi tanah bila mengalami proses pelapukan dan umumnya rentan terhadap tanah longsor bila terdapat pada lereng yang terjal.

e. Jenis Tata Lahan

Tanah longsor banyak terjadi di daerah tata lahan persawahan, perladangan, dan adanya genangan air di lereng yang terjal. Pada lahan persawahan akarnya kurang kuat untuk mengikat butir tanah dan membuat tanah menjadi lembek dan jenuh dengan air sehingga mudah terjadi longsor. Sedangkan untuk daerah perladangan penyebabnya adalah karena akar pohonnya tidak dapat menembus bidang longsor yang dalam dan umumnya terjadi di daerah longsor lama.

f. Getaran

Getaran yang terjadi biasanya diakibatkan oleh gempa bumi, ledakan, getaran mesin, dan getaran lalu lintas kendaraan. Akibat yang ditimbulkannya adalah tanah, badan jalan, lantai, dan dinding rumah menjadi retak.

g. Susut Muka Air Danau atau Bendungan

Akibat susutnya muka air yang cepat di waduk maka gaya penahan lereng menjadi hilang. Dengan sudut kemiringan dinding waduk 40° maka mudah terjadi longsor dan penurunan tanah yang biasanya diikuti oleh retakan.

h. Adanya Beban Tambahan

Adanya beban tambahan seperti beban bangunan pada lereng dan kendaraan akan memperbesar gaya pendorong terjadinya longsor, terutama di sekitar tikungan jalan pada daerah lembah. Akibatnya adalah sering terjadinya penurunan tanah dan retakan yang arahnya ke arah lembah.

i. Pengikisan atau Erosi

Pengikisan banyak dilakukan oleh air sungai ke arah tebing. Selain itu akibat penggundulan hutan di sekitar tikungan sungai, tebing akan menjadi terjal.

j. Adanya Material Timbunan pada Lereng

Untuk mengembangkan dan memperluas lahan pemukiman umumnya dilakukan pemotongan tebing dan penimbunan lembah. Tanah timbunan pada lembah tersebut belum terpadatkan sempurna seperti tanah asli yang berada di bawahnya, sehingga apabila hujan akan terjadi penurunan tanah yang kemudian diikuti dengan retakan tanah.

k. Bekas Longsoran Lama

Longsoran lama umumnya terjadi selama dan setelah terjadi pengendapan material gunung api pada lereng yang relatif terjal atau pada saat atau sesudah terjadi patahan kulit bumi. Bekas longsoran lama memiliki ciri:

- 1) Adanya tebing terjal yang panjang melengkung membentuk tapal kuda.
- 2) Umumnya dijumpai mata air, pepohonan yang relatif tebal karena tanahnya gembur dan subur.
- 3) Daerah badan longsor bagian atas umumnya relatif landai.
- 4) Dijumpai longsoran kecil terutama pada tebing lembah.
- 5) Dijumpai tebing-tebing relatif terjal yang merupakan bekas longsoran kecil pada longsoran lama.
- 6) Dijumpai alur lembah dan pada tebingnya dijumpai retakan dan longsoran kecil.
- 7) Longsoran lama ini cukup luas.

1. Adanya Bidang Diskontinuitas (Bidang Tidak Sinambung). Bidang tidak sinambung ini memiliki ciri:

- 1) Bidang perlapisan batuan
- 2) Bidang kontak antara tanah penutup dengan batuan dasar
- 3) Bidang kontak antara batuan yang retak-retak dengan batuan yang kuat.
- 4) Bidang kontak antara batuan yang dapat melewatkan air dengan batuan yang tidak melewatkan air (kedap air)
- 5) Bidang kontak antara tanah yang lembek dengan tanah yang padat
- 6) Bidang bidang tersebut merupakan bidang lemah dan dapat berfungsi sebagai bidang luncuran tanah longsor

m. Penggundulan Hutan

Tanah longsor umumnya terjadi di daerah yang relatif gundul dimana pengikatan air sangat kurang

n. Daerah Pembuangan Sampah

Penggunaan lapisan tanah yang rendah untuk pembuangan sampah dalam jumlah banyak dapat mengakibatkan tanah longsor apalagi ditambah dengan guyuran hujan.

N. Geologi Daerah Penelitian

Berdasarkan peta geologi Yogyakarta, Desa Pendoworejo terdiri atas tiga formasi batuan, yaitu Formasi Nanggulan, Formasi Kebo Butak, dan Formasi Kolovium.

1. Formasi Nanggulan

Formasi Nanggulan merupakan formasi tertua di Kulonprogo. Litologi penyusun formasi ini terdiri dari batupasir dengan sisipan lignit, napal pasiran, batu lempung dengan konkresi limonit, sisipan napal dan batugamping, batupasir dan tuf serta kaya akan fosil foraminifera dan moluska, dengan ketebalan sekitar 30 meter.

2. Formasi Kebo Butak

Formasi Kebo Butak merupakan formasi batuan yang diperkirakan berumur oligosen akhir hingga miosen awal. Susunan dari formasi ini terdiri dari breksi andesit, tuf, tuf lapili, aglomerat, dan sisipan aliran lava andesit. Formasi ini memiliki ketebalan sekitar 500 meter (Rahardjo *et al.*, 1995).

3. Formasi Kolovium

Formasi Kolovium terbentuk dari material longsoran yang tertransportasi tanpa medium air, satuan endapan ini terbentuk pada beberapa lembah dan menunjukkan ciri material berbutir kasar, berbentuk menyudut dan endapan campuran batuan.

O. Kerangka Berpikir

Data yang diperoleh dari penelitian ini merupakan data mentah sinyal mikrotremor dengan dua komponen yaitu komponen vertikal dan horizontal, sedangkan komponen horizontal terdiri dari horizontal utara - selatan dan barat - timur. Data sinyal mikrotremor kemudian diolah dengan melakukan proses pemilihan sinyal tanpa *noise (windowing)* dan *cutting* gelombang dengan menggunakan *Software Sessary Geopsy*. Selanjutnya data dianalisis dengan

metode HVSR menggunakan program *Open HVSR* pada *Software Matlab 15*. Dari analisis HVSR akan diperoleh kurva HVSR yang menunjukkan nilai frekuensi dominan (f_0) dan faktor amplifikasi (A_0). Kurva tersebut kemudian diolah dalam metode *ellipticity curve* dengan memasukkan parameter kecepatan gelombang P, kecepatan gelombang S, *Poisson ratio* dan kerapatan batuan dari wilayah penelitian untuk diperoleh *ground profile* yang menampilkan lapisan-lapisan bawah permukaan beserta nilai kecepatan gelombang geser dan nilai kedalamannya.

Untuk mengetahui nilai *Ground Shear Strain* (GSS) dari hasil penelitian digunakan persamaan (39). Sebelum menentukan GSS maka ditentukan terlebih dahulu nilai indeks kerentanan seismik (K_g) dengan Persamaan (30) dan percepatan getaran tanah maksimum (PGA) dengan Persamaan (29). Dalam menentukan nilai percepatan tanah maksimum digunakan pendekatan Fukushima-Tanaka dengan menggunakan persamaan (29) untuk *event* gempa Yogyakarta 27 Mei 2006 yang berkekuatan 5,9 skala Richter. Pada pendekatan Fukushima-Tanaka diperlukan data episenter, kedalaman dan magnitudo. Untuk menentukan fenomena yang terjadi, data GSS harus di-*overlay* dengan data topografi yang dipetakan dengan *software Surfer 13*.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Pengambilan data mikrotremor dilaksanakan pada tanggal 7 – 10 November 2018. Sebelum dilakukan pengambilan data, telah dilakukan studi literatur, diskusi, dan survei lokasi penelitian yang dimulai pada bulan Agustus - Oktober 2018. Pengambilan data mikrotremor dilakukan di Bukit Prau, Desa Pendoworejo, Kecamatan Girimulyo, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta. Secara geografis, lokasi penelitian berada pada $7^{\circ}45'40,12''$ LS - $7^{\circ}44'59,83''$ LS dan $110^{\circ}11'14,28''$ BT - $110^{\circ}11'41,07''$ BT dengan jumlah titik penelitian sebanyak 35 titik penelitian dengan jarak antar titik 200 m.

B. Instrumen Penelitian

Instrumen penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah perangkat keras dan perangkat lunak.

1. Perangkat Keras

Perangkat keras yang digunakan pada penelitian ini adalah:

- a. *Digital Portable Seismograph* Taide TDL-303S yang digunakan untuk merekam sinyal getaran tanah pada titik penelitian. *Digital Portable Seismograph* terdiri dari 4 instrumen, yaitu seismometer, *digitizer*, antena GPS, dan kabel penghubung.

- 1) Seismometer Taide TDV-23S (Gambar 16(a)) merupakan sensor yang digunakan untuk mengukur getaran tanah pada titik penelitian.

- 2) *Digitizer* (Gambar 16(c)) yang dihubungkan dengan seismometer berfungsi mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital.
- 3) Antena GPS (Gambar 16(d)) yang terhubung ke *digitizer* berfungsi untuk menerima data lokasi dan waktu pengambilan data dari satelit.
- 4) Kabel penghubung digunakan untuk menghubungkan seismometer, *digitizer* dan laptop.



Gambar 16. (a) Seismometer Taide TDV-23S (b) Kompas (c) *Digitizer* (d) Antena GPS (e) *Global Positioning System* (GPS)

- b. *Global Positioning System* (GPS) Garmin 78S (Gambar 16(e)) untuk menentukan posisi titik penelitian, serta untuk menandai koordinat lokasi.
- c. Kompas (Gambar 16(b)) untuk menentukan arah mata angin pada saat pemasangan seismometer.
- d. Laptop untuk akuisisi data dan analisis data mikrotremor.
- e. Kamera *handphone* untuk mendokumentasikan lokasi setiap titik penelitian.

- f. Lembar pengukuran untuk mencatat kondisi di lokasi penelitian selama proses pengambilan data.
- g. Cangkul untuk meratakan tanah sebelum meletakkan seismometer saat pengambilan data.

2. Perangkat Lunak

Perangkat lunak (*software*) yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

- a. *Software Google Earth* untuk menentukan lokasi penelitian serta membuat desain survei.
- b. *Software Surfer 13* untuk membuat desain survei dan membuat mikrozonasi.
- c. *Software Global Mapper 13* untuk *register* peta, memasukkan titik koordinat penelitian ke GPS, mengubah format JPEG atau PNG menjadi TIFF atau KMZ.
- d. *Software Sesarray Geopsy* untuk memilih sinyal tanpa *noise* dari data mikrotremor.
- e. *Software Matlab 2015* untuk mengolah data berupa sinyal mikrotremor sehingga memperoleh kurva H/V sebagai fungsi frekuensi dominan (f_0) dan faktor amplifikasi (A_0).
- f. *Software Rockwork 15* untuk pemodelan 3D penampang seismik.
- g. Program Dinver dengan metode *ellipticity curve* untuk mengetahui *ground profile* pada lokasi penelitian.
- h. *Microsoft Office Excel* untuk mengolah dan menganalisa data.

- i. *Command Prompt* untuk menggabungkan hasil *cutting* sinyal mikrotremor yang sudah difilter dari *noise*.

C. Teknik Pengambilan Data

Proses pengambilan data terbagi dalam tiga tahap, yaitu tahapan prasurevei, desain survei, dan yang terakhir pengambilan data.

1. Tahap Prasurevei

Tahap prasurevei merupakan tahapan untuk memilih lokasi yang akan menjadi lokasi penelitian. Penentuan lokasi berdasarkan pada beberapa faktor, yaitu riwayat terjadinya bencana longsor dan kemungkinan akan terjadinya longsor dengan adanya fenomena retakan atau rekahan di wilayah tersebut. Pada tahapan ini, dilakukan pengamatan secara langsung terkait kondisi geografis, sarana, dan prasarana serta mencari informasi langsung kepada pemerintah daerah dan warga setempat terkait tingkat kerawanan, potensi kerusakan, dan dampak yang sudah dialami secara langsung oleh warga sekitar akibat tanah longsor.

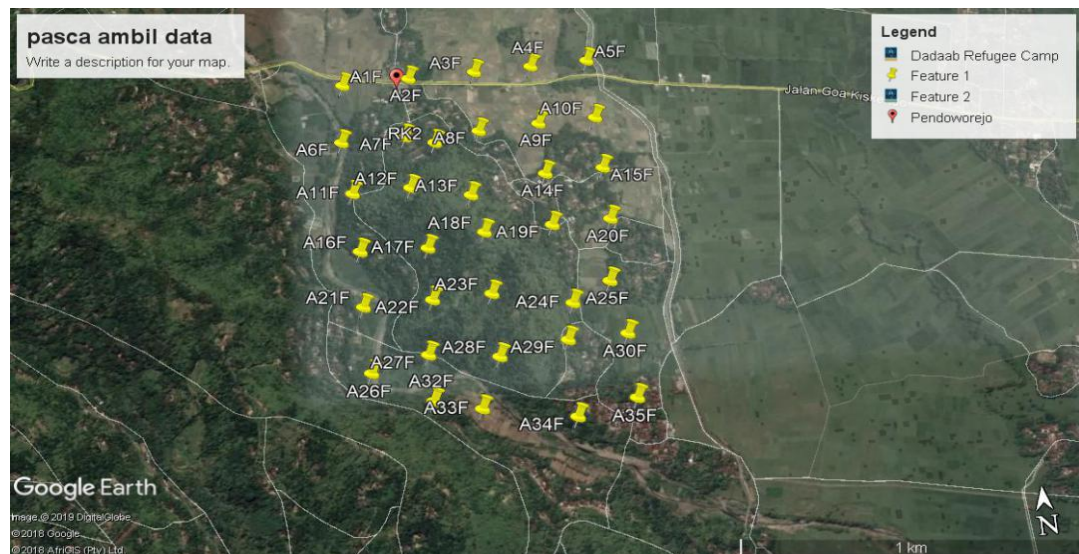
2. Tahap Desain Survei

Tahapan desain survei bertujuan untuk menentukan titik lokasi penelitian, dan memastikan titik penelitian berada dalam lokasi penelitian. Desain survei dibuat dengan menggunakan *software Surfer 13* yang terdiri atas 35 titik dengan jarak antar titik 200 meter seperti yang ditunjukkan pada Gambar 17. Kemudian desain survei ditampilkan pada *software Google Earth* untuk mengetahui kondisi titik lokasi penelitian sebelum survei lokasi.



Gambar 17. Desain Survei Penelitian di Desa Pendoworejo

Survei lokasi penelitian dilakukan untuk mengetahui medan yang akan dilalui dan kondisi secara langsung lokasi yang akan dijadikan titik pengukuran penelitian. Selain mengacu pada desain survei, penentuan lokasi dan pengukuran juga mempertimbangkan beberapa persyaratan teknis yang ditunjukkan pada Tabel 9. Berdasarkan hasil survei titik lokasi secara langsung dan dengan mengacu pada Tabel 9, didapatkan total 35 titik dengan jarak antar titik 200 m yang dapat dijadikan lokasi penelitian. Adapun rinciannya adalah 35 titik dari desain survei dan 1 titik tambahan, sedangkan 1 titik dihilangkan karena lokasinya berada di luar daerah penelitian. Titik penelitian mengalami sedikit pergeseran dari titik lokasi pada desain survei yang sudah ditentukan. Hal ini dikarenakan lokasi yang berada di perbukitan yang susah dijangkau. Peta lokasi untuk pengambilan data yang merupakan hasil survei lapangan ditunjukkan pada Gambar 18.



Gambar 18. Peta Titik Penelitian di Desa Pendoworejo

3. Tahap Pengambilan Data

Penelitian dilakukan dengan melakukan pengukuran sinyal mikrotremor dengan frekuensi *sampling* 100 Hz selama ± 30 menit sesuai dengan durasi yang disarankan oleh SESAME (2004). Hasil dari pengukuran tersebut berupa data mentah sinyal mikrotremor dalam fungsi waktu yang dapat ditampilkan pada laptop menggunakan *software Monost*. Sinyal getaran ini terdiri dari tiga komponen, yaitu dua komponen horizontal dan satu komponen vertikal. Komponen horizontal berupa sinyal *North-South* dan *East-West*, sedangkan komponen vertikal berupa sinyal *Up and Down*.

Tabel 9. Persyaratan Teknis Survei Mikrotremor di Lapangan (SESAME, 2004)

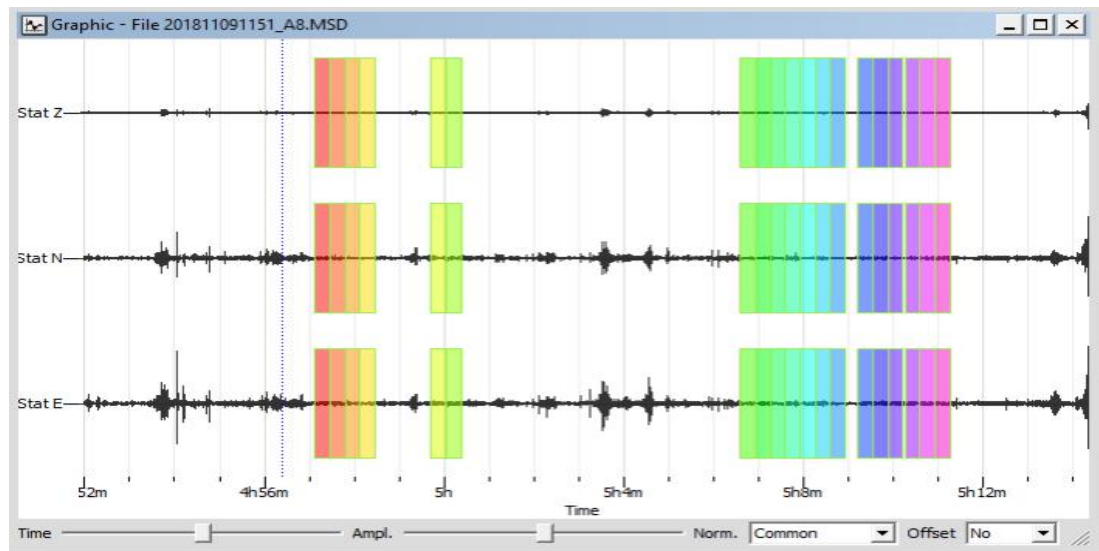
Jenis	Saran yang dianjurkan	
Durasi Penelitian	f_0 minimum yang diharapkan (Hz)	Durasi pencatatan minimum yang disarankan (menit)
	0,2	30
	0,5	20
	1	10
	2	5
	5	3
	10	2
<i>Coupling soil-sensor</i> alami (insitu)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tempatkan sensor langsung pada permukaan tanah. 2. Hindari menempatkan sensor seismograf pada permukaan tanah lunak (lumpur, semak-semak) atau tanah lunak setelah hujan. 	
<i>Coupling soil-sensor</i> buatan atau artifisial	<ol style="list-style-type: none"> 1. Hindari lempengan yang terbuat dari material lunak seperti karet atau busa. 2. Pada kemiringan yang curam di mana sulit mendapatkan kedataran sensor yang baik, pasang sensor dalam timbunan pasir atau wadah yang diisi pasir. 	
Keberadaan bangunan atau pohon	<ol style="list-style-type: none"> 1. Hindari pengukuran dekat dengan bangunan, gedung bertingkat, dan pohon yang tinggi, jika tiupan angin di atas 5 m/detik. Kondisi ini sangat mempengaruhi hasil analisis HVSR yang ditunjukkan dengan kemunculan frekuensi rendah pada kurva. 2. Hindari pengukuran di lokasi tempat parkir, pipa air, dan gorong-gorong. 	
Kondisi Cuaca	<ol style="list-style-type: none"> 1. Angin: Lindungi sensor dari angin (lebih cepat dari 5 m/s) 2. Hujan: Hindari pengukuran pada saat hujan lebat. Hujan ringan tidak memberikan gangguan berarti. 3. Suhu: Mengecek kondisi sensor dan mengikuti instruksi pabrik. 	
Gangguan	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sumber monokromatik: hindari pengukuran mikrotremor dekat dengan mesin, industri, pompa air, generator yang sedang beroperasi. 2. Sumber sementara: jika terdapat sumber getar <i>transient</i> (jejak langkah kaki, mobil lewat, motor lewat) tingkatkan durasi pengukuran untuk memberikan jendela yang cukup untuk analisis. 	

D. Teknik Analisis Data

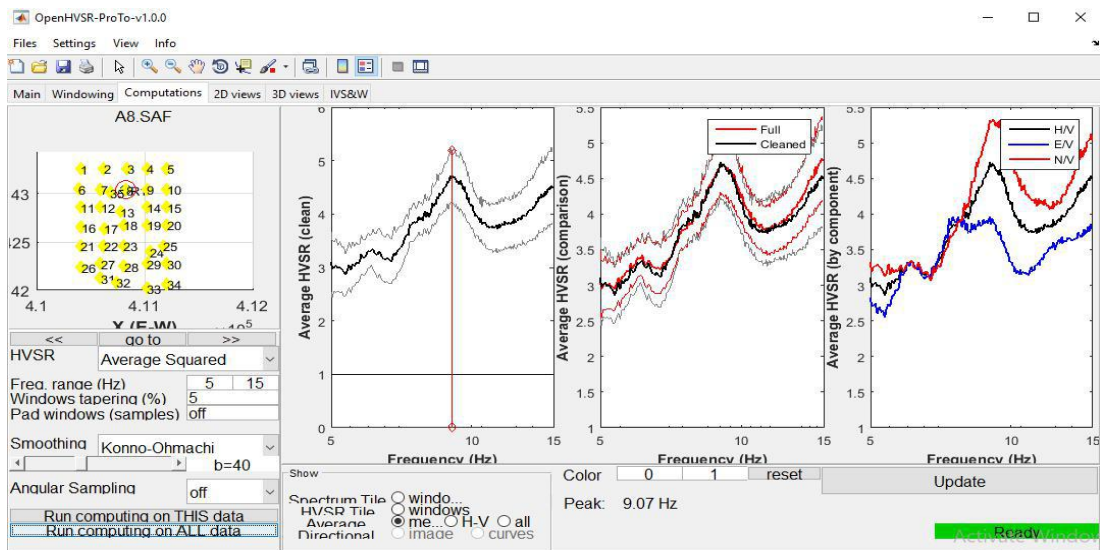
Teknik analisis data dilakukan dalam beberapa tahap yaitu :

1. Menganalisis Sinyal Mikrotremor

Sinyal mikrotremor yang didapat dari hasil pengukuran dianalisis dengan melakukan proses pemilihan sinyal tanpa *noise* (*windowing*) dan proses pemotongan sinyal (*cutting*) dengan menggunakan *software Sessaray Geopsy* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 19. Kemudian sinyal hasil proses *windowing* dan *cutting* diolah dengan menggunakan program *Open HVSR* pada *software Matlab 2015* sehingga didapatkan kurva H/V seperti pada Gambar 20. Dari kurva H/V didapatkan nilai frekuensi dominan (f_0) dan nilai faktor amplifikasi (A_0).



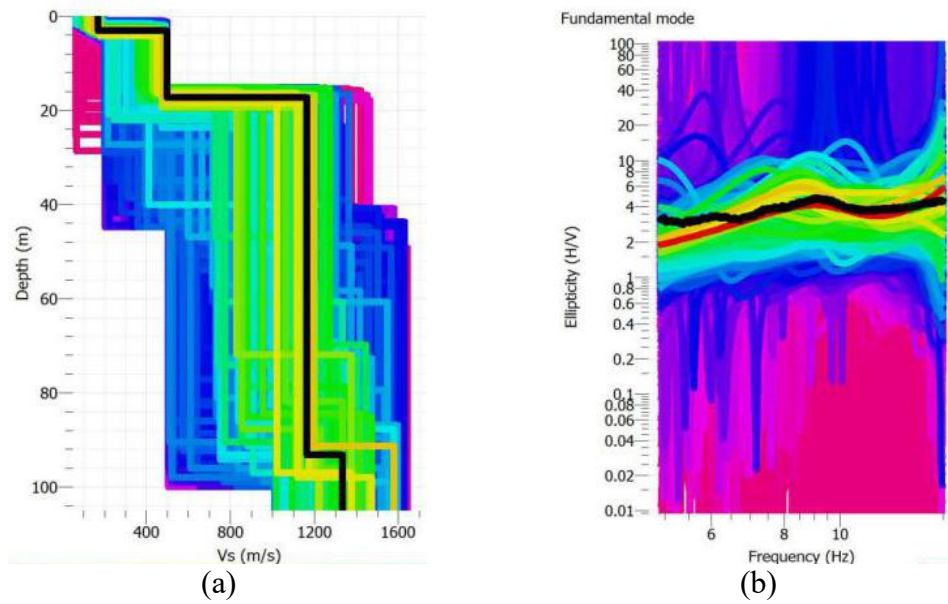
Gambar 19. Proses *Windowing* dan *cutting* pada *Software Sessaray-Geopsy*



Gambar 20. Tampilan Kurva H/V pada program *Open HVSR*

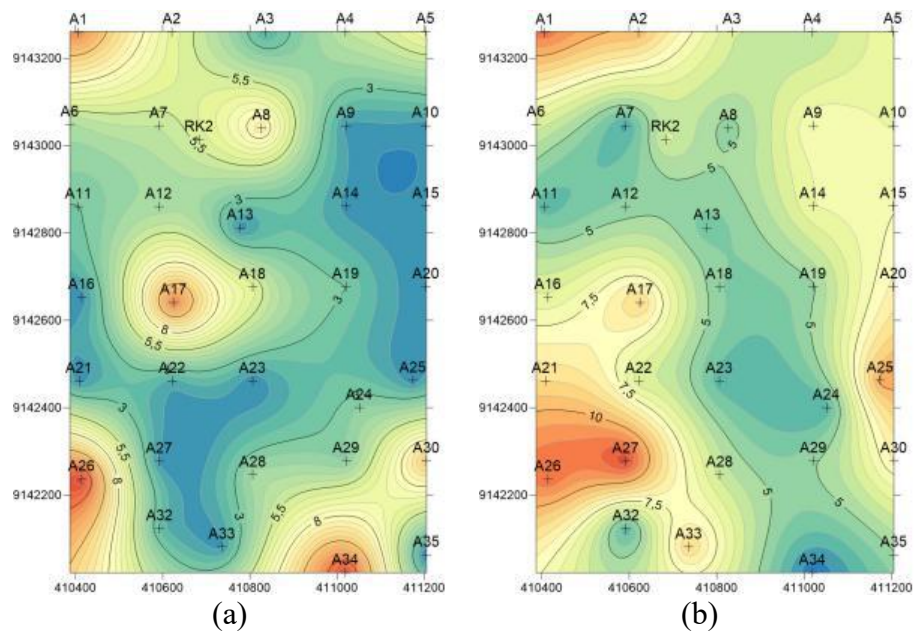
2. Menganalisis Kurva H/V Menggunakan Metode *Ellipticity Curve*

Sinyal mikrotremor selanjutnya dianalisis dengan program *Dinver* pada software *Sessaray Geopsy* yang menggunakan metode *ellipticity curve*. Parameter awal model yang menjadi masukan (*input*) pada metode ini meliputi nilai kecepatan gelombang P (v_p), kecepatan gelombang S (v_s), *Poisson ratio*, dan massa jenis (densitas) batuan yang ditentukan berdasarkan informasi geologi daerah penelitian. Hasil yang diperoleh dari metode *ellipticity curve* berupa *ground profiles* kecepatan gelombang geser (v_s) dengan variasi model yang mempunyai nilai *misfit* (ketidakcocokan) yang berbeda-beda. Model dengan nilai *misfit* terendah akan digunakan sebagai model terbaik. Hasil analisis menggunakan program *Dinver* ditunjukkan pada Gambar 21.



Gambar 21. (a) *Ground profile* v_s (b) *Misfit Model*

3. Mikrozonasi



Gambar 22. Mikrozonasi (a) *Frekuensi Predominan* (b) *Faktor Amplifikasi*

Mikrozonasi dilakukan menggunakan *software Surfer 13* dengan metode *gridding*. Parameter-parameter yang dimasukkan diinterpolasi dan ditampilkan

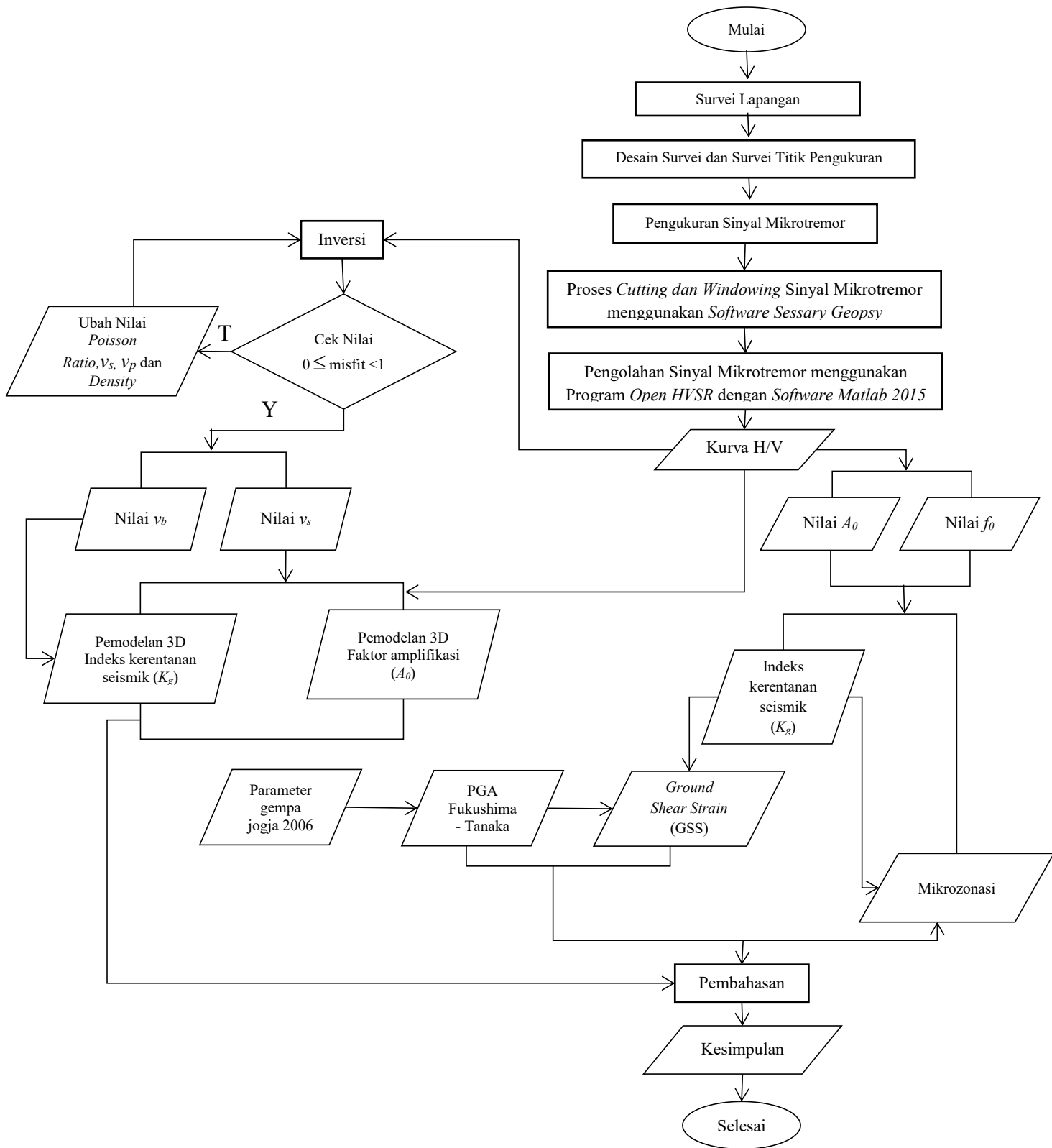
dalam peta kontur seperti yang ditunjukkan pada Gambar 22. Parameter yang dimikrozonasi antara lain frekuensi dominan (f_0), faktor amplifikasi (A_0), indeks kerentanan seismik (K_g), *peak ground acceleration* (PGA) dan *Ground Shear Strain* (GSS). Melalui hasil mikrozonasi tersebut kemudian dianalisis persebaran nilai kelima parameter tersebut.

4. Analisis Penampang Seismik Kurva H/V

Penampang seismik didapat dari hasil analisis menggunakan kurva H/V sebagai *input* utama. Data f_0 dan A_0 yang didapat dari kurva H/V dan nilai v_s yang diperoleh dari hasil analisis menggunakan metode *ellipticity curve* menjadi data *input*. Data f_0 diubah menjadi T_0 dan selanjutnya dianalisis dengan mengacu pada persamaan (28). Domain periode dapat diubah menjadi domain kedalaman. Hasil dari analisis masing-masing titik penelitian kemudian dibuat pemodelan 3D menggunakan *software Rockworks 15*.

E. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 23.



Gambar 23. Diagram alir penelitian

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

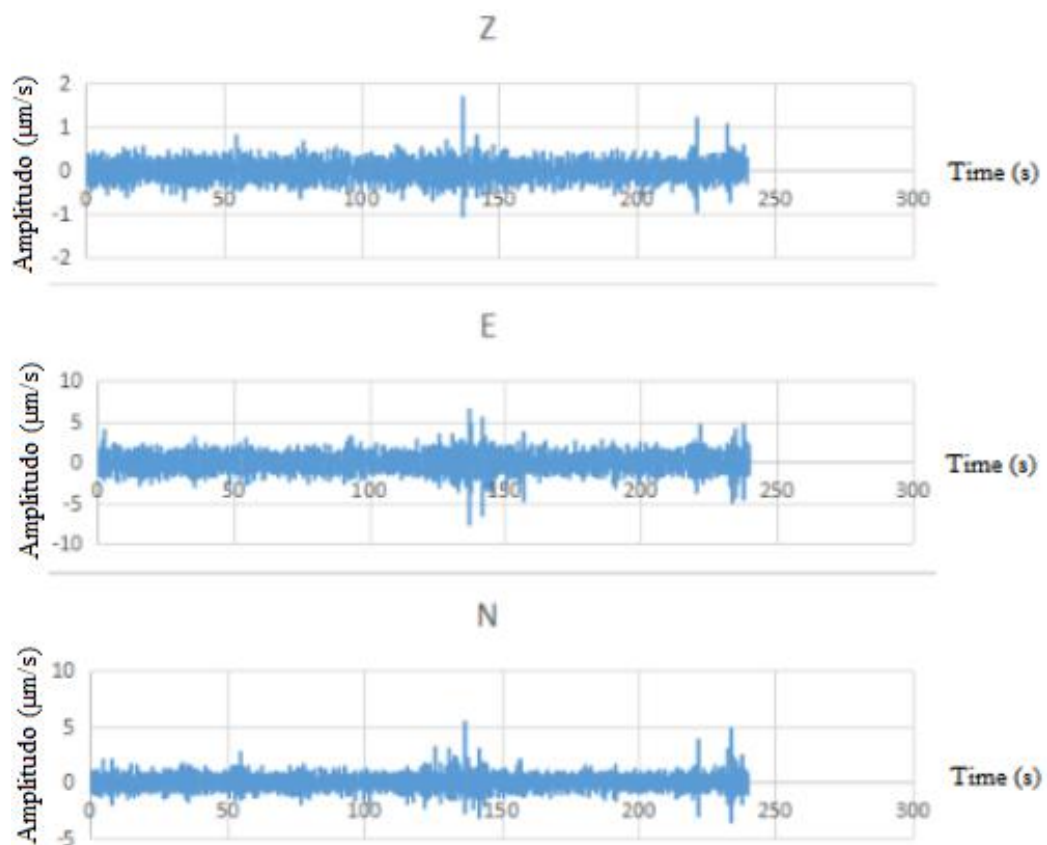
A. Mikrozonasi Amplitudo Mikrotremor

Sinyal mikrotremor merambat melalui lapisan batuan di bawah permukaan tanah dalam bentuk gelombang elastis dengan mentransfer energi menjadi pergerakan partikel batuan, sehingga karakteristik mikrotremor bervariasi tergantung pada jenis formasi yang tersusun dari berbagai macam batuan yang terdapat di sekitar lokasi penelitian. Sinyal mikrotremor tersusun dari beberapa jenis gelombang, tetapi yang utama adalah gelombang Rayleigh yang merambat pada lapisan sedimen di atas batuan dasar. Amplitudo pada gelombang Rayleigh akan berkurang dengan bertambahnya kedalaman.

Litologi yang lebih lunak mempunyai resiko yang lebih tinggi bila diguncang gempa bumi, karena penguatan gelombang yang lebih besar dibandingkan dengan batuan yang lebih kompak. Hal tersebut menunjukkan bahwa material dengan densitas yang rendah atau material lunak memberikan respon amplitudo yang besar dengan cepat rambat gelombangnya rendah. Sinyal mikrotremor di daerah penelitian ditunjukkan pada Gambar 24.

Gambar 24 menunjukkan bahwa sinyal mikrotremor merupakan sinyal yang terdiri dari dua komponen horizontal yang ditunjukkan oleh E yaitu spektrum E-W (Barat-Timur), dan N yaitu spektrum N-S (Utara-Selatan) serta satu komponen vertikal yang ditunjukkan oleh spektrum Z. Hasil pengukuran mikrotremor di lapangan berupa data getaran tanah dalam fungsi waktu, dengan komponen horizontal pada sinyal mikrotremor merupakan komponen waktu

(sekon) dan komponen vertikal pada sinyal mikrotremor merupakan komponen amplitudo kecepatan ($\mu\text{m/s}$). Sinyal mikrotremor dengan amplitudo maksimum ditunjukkan dengan puncak dan lembah sinyal yang lebih panjang dibandingkan dengan sinyal mikrotremor dengan amplitudo minimum.

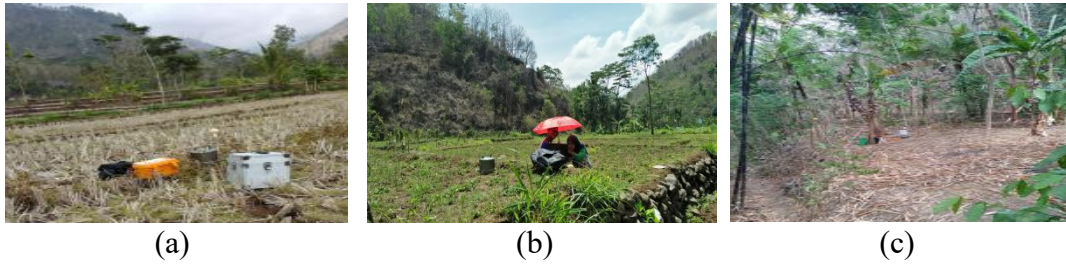


Gambar 24. Sinyal Mikrotremor pada Titik Penelitian RK2

Persebaran nilai amplitudo di Bukit Prau dapat dilihat pada Gambar 27. Gambar tersebut menunjukkan bahwa lokasi penelitian dengan Formasi Kebo Butak memiliki respon amplitudo yang bervariasi. Hal ini dipengaruhi oleh material batuan di lokasi penelitian tersebut. Perbedaan material pada formasi yang sama disebabkan karena adanya deformasi batuan atau pelapukan pada batuan, sehingga pada formasi yang sama terdapat variasi nilai amplitudo. Variasi

nilai amplitudo tiap formasi dapat dilihat pada Tabel 10. Pada Formasi Kebo Butak, respon amplitudo maksimum berkisar antara 2,37 - 12,54 $\mu\text{m/s}$ dan respon amplitudo minimum 1,18 - 3,19 $\mu\text{m/s}$. Karakteristik amplitudo mikrotremor di lokasi penelitian, yaitu berupa sedimentasi lava andesit dengan material pasir dan lempung. Amplitudo dengan kategori tinggi ditunjukkan dengan *range* data amplitudo maksimum dan minimum yang lebar, sedangkan amplitudo dengan kategori rendah ditunjukkan dengan *range* data amplitudo maksimum dan minimum yang lebih sempit, untuk menentukan kategori tersebut digunakan metode jarak interval kelas.

Amplitudo tinggi ditunjukkan dengan spektrum warna kuning hingga merah, dimana area tersebut memiliki jenis batuan yang lebih lunak, sedangkan amplitudo rendah ditunjukkan dengan spektrum warna biru hingga hijau muda yang menunjukkan jenis batuan yang lebih keras. Respon amplitudo yang tinggi berada pada lereng bagian utara, barat, timur dan lembah bagian utara, barat, timur dan selatan Bukit Prau. Hal tersebut bersesuaian dengan area lembah yang terdapat persawahan yang diduga memiliki sedimen tebal, sedangkan pada lereng terdapat batuan yang mengalami pelapukan sehingga batuan pada area tersebut menjadi lunak. Gambar 25 menunjukkan kesesuaian respon amplitudo dengan kondisi di lapangan, dimana terdapat lempung yang merupakan jenis material lunak.

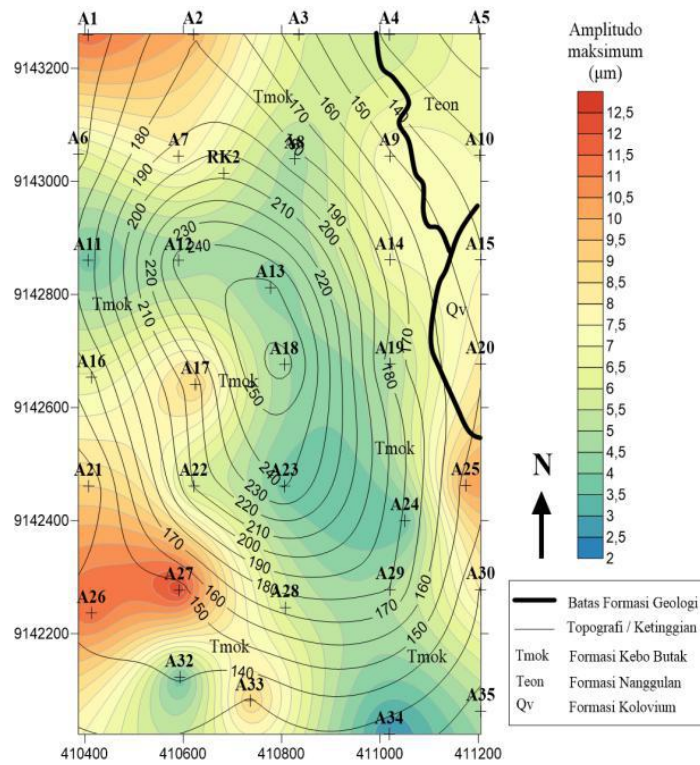


Gambar 25. Daerah penelitian pada (a) titik A1 (b) titik A21 (c) titik A17

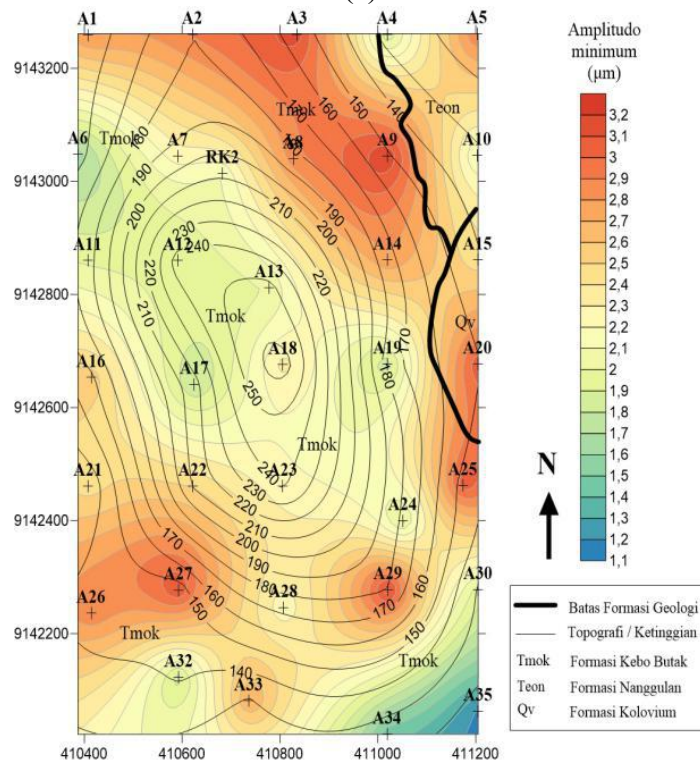
Pada Formasi Koluvium, respon amplitudo maksimum berkisar antara 7,45 - 8,15 $\mu\text{m/s}$ dan amplitudo minimum berkisar antara 2,44 - 3,07 $\mu\text{m/s}$ yang menunjukkan respon amplitudo tinggi dengan material yang sama dengan Formasi Kebo Butak yaitu pasir dan lempung. Hal tersebut sesuai dengan kondisi di lapangan dimana Formasi Koluvium berada di area lembah Bukit Prau. Sedangkan pada Formasi Nanggulan *range* amplitudo maksimum 5,49 - 6,96 $\mu\text{m/s}$ dan amplitudo minimum 1,9 - 2,9 $\mu\text{m/s}$ yang menunjukkan respon amplitudo tinggi dengan material napal pasiran dan lempung.



Gambar 26. (a) titik A20 pada Formasi Kolovium (b) titik A4 pada Formasi Nanggulan



(a)



(a)

Gambar 27. Persebaran nilai amplitudo Bukit Prau (a) Amplitudo maksimum (b) Amplitudo minimum

Tabel 10. Variasi nilai amplitudo pada setiap formasi

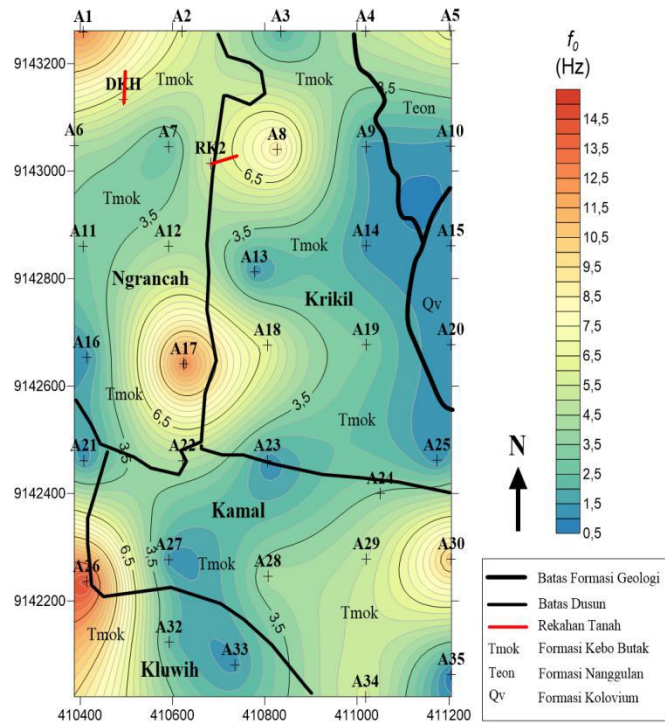
Formasi	Titik	Amplitudo maksimum	Amplitudo minimum	Kategori		
Kebo Butak	A1	11,42	2,81	Tinggi		
	A2	9,93	2,91			
	A6	6,26	1,65			
	A7	7,84	2,25			
	A9	7,53	3,19			
	A14	6,98	2,78			
	A16	6,58	2,56			
	A17	9,19	1,79			
	A21	8,99	2,44			
	A25	10,31	3,06			
	A26	11,5	2,87			
	A27	12,54	3,1			
	A28	5,83	2,22			
	A30	8,08	1,95			
	A33	9,15	2,71			
	A35	4,89	1,18			
	RK2	6,21	2,1			
	Kebo Butak	A3	6,08		3,15	Rendah
		A8	4,72		2,85	
		A11	3,7		1,98	
A12		4,66	1,97			
A13		6,08	3,15			
A18		4,55	2,33			
A19		4,88	1,84			
A22		5,73	2,49			
A23		3,67	2,24			
A24		3,49	1,95			
A29		5,02	3,17			
A32		3,48	1,84			
A34		2,37	1,44			
Koluvium		A15	7,45	2,44	Tinggi	
	A20	8,15	3,07			
Nanggulan	A4	5,49	1,9	Tinggi		
	A10	6,96	2,08			
	A5	6,83	2,9			

B. Mikrozonasi Frekuensi Predominan (f_0)

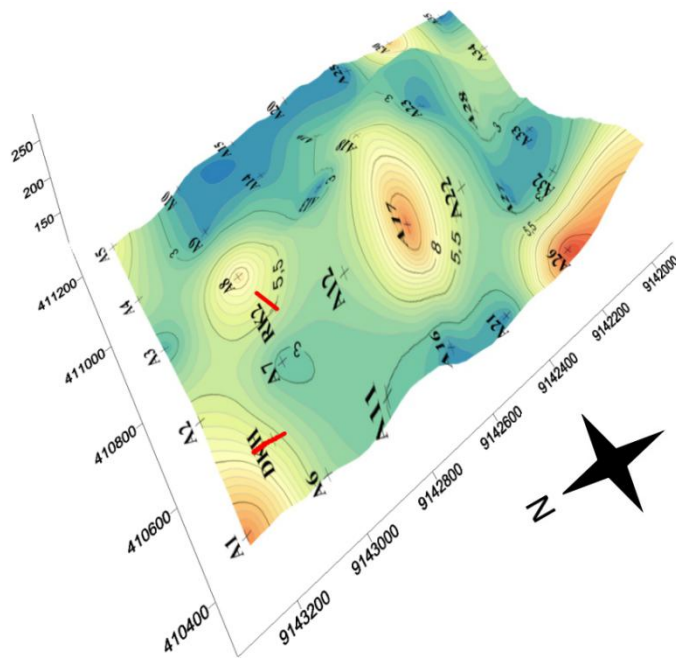
Frekuensi predominan merupakan parameter yang menggambarkan kondisi fisik tanah. Nilai frekuensi predominan berhubungan dengan kedalaman bidang pantul suatu gelombang di bawah permukaan. Bidang pantul tersebut

merupakan batas lapisan antara lapisan sedimen dengan batuan keras. Wilayah dengan lapisan sedimen yang dalam cenderung memberikan respon getaran panjang, sehingga menimbulkan frekuensi dominan rendah, sedangkan wilayah yang memiliki lapisan sedimen lebih tipis cenderung memberikan respon getaran yang lebih pendek, sehingga menunjukkan nilai frekuensi dominan yang tinggi. Mikrozonasi frekuensi dominan dapat dilihat pada Gambar 28.

Nilai frekuensi dominan pada daerah penelitian bervariasi dengan *range* nilai 0,49 Hz - 14,98 Hz. Berdasarkan klasifikasi Kanai pada Tabel 3, klasifikasi nilai frekuensi dominan daerah penelitian dapat dilihat pada Tabel 11. Nilai frekuensi dominan yang diwakili dengan warna biru pada peta mikrozonasi tergolong pada tanah jenis IV, yang merepresentasikan kondisi geologi tanah lunak. Jenis tanah ini didukung oleh kondisi di lapangan dimana daerah dengan frekuensi dominan rendah terdapat di persawahan dan area lembah dengan kondisi lapisan sedimen yang tebal dikarenakan adanya penumpukan lapisan sedimen dari puncak bukit. Sisi utara dan selatan Bukit Prau memiliki nilai f_0 yang menggambarkan tanah lunak jenis IV, dimana seharusnya daerah tersebut merupakan daerah dengan batuan keras hasil ekstrusi magma, dikarenakan berada di atas bukit yang berupa dataran tinggi. Diduga telah terjadi pelapukan pada batuan di daerah tersebut dan menyebabkan lapisan sedimen menjadi tebal, sehingga memiliki nilai frekuensi dominan yang rendah. Gambar 29 merupakan daerah penelitian dengan tanah jenis IV.



(a)



(b)

Gambar 28. Nilai frekuensi dominan (f_0) Bukit Prau (a) Mikrozonasi 2D (b) Mikrozonasi 3D



Gambar 29. (a) Titik Penelitian A25 pada area sawah, (b) Titik Penelitian A23 pada area atas bukit

Tabel 11. Klasifikasi Nilai Frekuensi Predominan f_0 Bukit Prau.

Jenis Tanah	Nilai Frekuensi Predominan (Hz)	Titik Penelitian
I	6,98 - 14,98	A1, A5, A8, A17, A26, A30
II	4,24 - 6,29	A2, A4, A6, A12, A18, A22, A28, A29, A34, RK2
III	2,98 - 3,56	A11, A19, A24
IV	0,49 - 2,34	A3, A7, A9, A10, A13, A14, A15, A16, A20, A21, A23, A25, A27, A32, A33, A35

Nilai frekuensi dominan yang tergolong pada tanah jenis III memiliki ketebalan sedimen permukaan yang masuk ke dalam kategori tebal, yaitu sekitar 10 - 30 meter. Area ini berada pada Formasi Kebo Butak yang terdiri dari pasir berkerikil, tanah liat keras dan lempung. Daerah penelitian yang tergolong tanah jenis III terdapat pada sisi timur dan barat Bukit Prau. Berdasarkan kondisi geologinya, daerah tersebut berada di lereng Bukit Prau yang ditanami banyak tumbuhan sehingga dapat mempercepat proses pelapukan.

Nilai frekuensi dominan dengan tanah jenis II memiliki ketebalan sedimen permukaan yang masuk ke dalam kategori menengah, yaitu sekitar 5 - 10 meter dan diwakili dengan warna kuning. Area tersebut berada pada lereng

dan lembah yang masuk ke dalam Formasi Kebo Butak dan Nanggulan yang tersusun atas batuan keras, pasir berkerikil, tanah liat keras dan lempung keras. Daerah penelitian pada sisi utara, barat dan selatan yang terletak di lembah memiliki nilai f_0 yang menunjukkan jenis tanah cukup keras dengan ketebalan sedimen yang cukup tipis. Seharusnya daerah lembah memiliki jenis tanah IV dengan karakteristik tanah lunak, namun pada daerah lembah tersebut terdapat batuan alluvial berupa pasir berkerikil dan lempung keras berpasir dengan ketebalan yang cukup tipis yang menyebabkan daerah tersebut memiliki jenis tanah yang cukup keras.

Nilai frekuensi dominan dengan tanah jenis I memiliki ketebalan sedimen permukaan yang masuk ke dalam kategori sangat tipis, kurang dari 5 meter dan diwakili dengan warna merah. Hal tersebut sesuai dengan persamaan 26, dimana nilai frekuensi dominan berbanding lurus dengan kecepatan gelombang geser v_s dan berbanding terbalik dengan kedalaman. Kecepatan gelombang geser akan semakin besar dengan bertambahnya kedalaman. Batuan atau material yang bersifat keras akan mempunyai nilai v_s yang relatif lebih besar, karena nilai kecepatan gelombang gesernya berbanding lurus dengan densitas batuan. Nilai frekuensi dominan tinggi berada pada lereng dan lembah yang masuk ke dalam Formasi Kebo Butak dan Nanggulan yang terdiri dari batuan keras, pasir keras dan kerikil. Titik penelitian A1, A5, A26 dan A30 yang terletak di lembah menunjukkan jenis tanah yang keras, dimana seharusnya daerah lembah memiliki jenis tanah yang lunak dikarenakan adanya endapan sedimen yang berasal dari puncak bukit, sehingga dapat diketahui bahwa lapisan lunak

pada daerah tersebut sangat tipis atau memiliki kedalaman yang rendah. Gambar 30 merupakan daerah penelitian dengan tanah jenis I.



Gambar 30. (a) Titik Penelitian A1 pada Area Lembah (b) Titik Penelitian A17 pada Area Lereng

Persebaran nilai frekuensi dominan di Bukit Prau, Desa Pendoworejo, Kecamatan Girimulyo, Kabupaten Kulonprogo menunjukkan perbedaan yang signifikan. Perbedaan nilai frekuensi dominan ini menunjukkan adanya perbedaan jenis tanah dan kedalaman lapisan atau ketebalan sedimen di daerah tersebut.

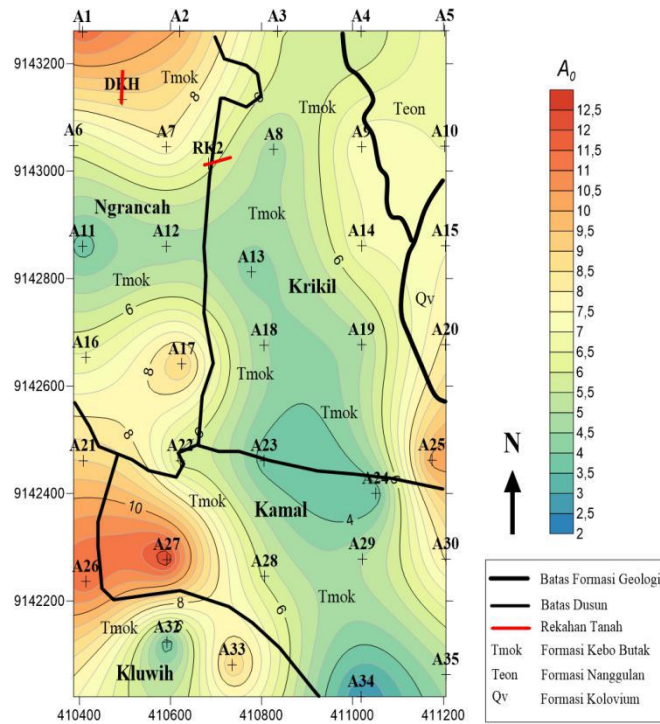
C. Mikrozonasi Faktor Amplifikasi (A_0)

Faktor amplifikasi (A_0) diperoleh dari pengolahan sinyal mikrotremor dengan metode HVSR yang dapat diketahui dari amplitudo tinggi di lokasi penelitian. Amplitudo gelombang gempa bumi yang menjalar dari batuan dasar (*bedrock*) ke permukaan akan berubah saat melewati endapan tanah atau sedimen lunak. Batuan sedimen yang berada di atas *bedrock* akan mengalami perbesaran amplitudo (amplifikasi). Amplifikasi terjadi ketika frekuensi gelombang seismik yang terjebak di lapisan lunak memiliki nilai yang sama dengan frekuensi dominan di daerah penelitian. Pada frekuensi resonansi, gelombang seismik

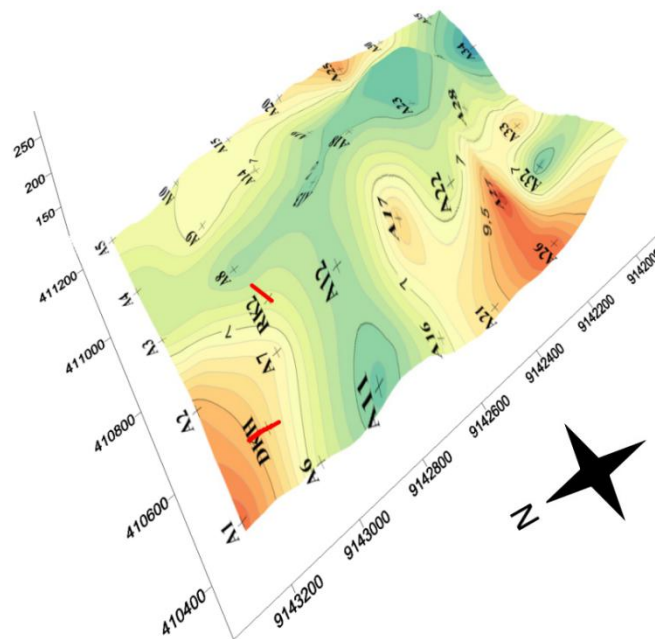
yang berasal dari lapisan keras (*bedrock*) akan diperbesar beberapa kali sehingga amplitudo gelombang seismik di lapisan sedimen akan semakin besar. Jadi dapat diketahui bahwa material dengan densitas rendah (sedimen lunak) memiliki respon amplitudo yang besar, begitupun sebaliknya.

Nilai faktor amplifikasi berkorelasi dengan kerusakan struktur bangunan akibat gempa dan intensitas guncangan tanah selama gempa yang secara signifikan dipengaruhi oleh kondisi geologi dan kondisi tanah setempat. Besaran amplifikasi dapat diestimasi dari perbandingan nilai kontras impedansi yaitu densitas dan kecepatan gelombang pada *bedrock* dan sedimen permukaan, dimana semakin besar perbandingan kontras impedansi tersebut maka semakin besar nilai faktor amplifikasi. Faktor amplifikasi bisa bertambah jika batuan telah mengalami deformasi yang mengubah sifat batuan. Pada batuan yang sama, faktor amplifikasi dapat bervariasi sesuai dengan tingkat deformasi pada batuan. Mikrozonasi faktor amplifikasi dapat dilihat pada Gambar 31.

Nilai faktor amplifikasi di Bukit Prau, Desa Pendoworejo, Kecamatan Girimulyo, Kabupaten Kulonprogo berkisar 2,37 - 12,54. Berdasarkan klasifikasi nilai faktor amplifikasi pada Tabel 2, persebaran nilai faktor amplifikasi Bukit Prau termasuk ke dalam klasifikasi sangat tinggi ($A_0 \geq 9$) yang sangat rentan jika terjadi gempa bumi, dimana gelombang yang merambat dari sumber gempa akan diperbesar saat mencapai permukaan. Tabel 12 merupakan nilai faktor amplifikasi yang diklasifikasikan berdasarkan tinggi rendahnya nilai faktor amplifikasi yang didapatkan di setiap titik penelitian.



(a)



(b)

Gambar 31. Faktor Amplifikasi (A_0) Bukit Prau (a) Mikrozonasi 2D (b) Mikrozonasi 3D

Tabel 12. Klasifikasi Nilai Faktor Amplifikasi (A_0) Bukit Prau

Klasifikasi	Nilai Faktor Amplifikasi	Titik Pengukuran
Sangat tinggi	9,01 – 12,54	A1, A2, A17, A25, A26, A27, A33
Tinggi	6,08 – 8,99	A3, A5, A6, A7, A9, A10, A14, A15, A16, A20, A21, A30, RK2
Sedang	3,49 – 5,84	A4, A8, A11, A12, A13, A18, A19, A22, A23, A24, A28, A29, A32, A35
Rendah	2,37	A34

Nilai A_0 dengan klasifikasi rendah berada pada lembah bagian selatan Bukit Prau yang memiliki nilai 2,37. Daerah tersebut termasuk ke dalam tanah jenis II, dimana tanah jenis ini merupakan jenis tanah yang cukup keras dengan ketebalan sedimen yang cukup tipis, sehingga nilai A_0 pada titik penelitian ini berkorelasi dengan nilai frekuensi predomannya. Nilai f_0 menunjukkan bahwa daerah tersebut tersusun oleh jenis tanah yang cukup keras, sehingga nilai A_0 yang diperoleh menunjukkan nilai yang rendah.

Nilai A_0 dengan klasifikasi sedang berkisar antara 3,49 - 5,84. Bukit bagian utara, selatan dan lembah bagian selatan merupakan daerah penelitian dengan tanah jenis IV, yaitu berupa tanah lunak dan dimungkinkan mempunyai ketebalan lapisan sedimen yang cukup tipis atau kerapatan lapisan sedimennya cukup padat, sehingga nilai faktor amplifikasi yang diperoleh pada titik penelitian tersebut termasuk ke dalam klasifikasi sedang. Daerah penelitian yang berada pada area atas bukit bagian utara dan selatan dengan tanah jenis IV mempunyai nilai faktor amplifikasi sedang, sehingga dimungkinkan ketebalan lapisan sedimennya cukup tipis, begitupun pada area lembah bagian selatan Bukit Prau.

Nilai A_0 dengan klasifikasi tinggi berkisar antara 6,08 - 8,99. Daerah penelitian pada area lembah bagian utara, barat, timur dan lereng bagian utara merupakan daerah penelitian dengan tanah jenis I dan II, yaitu berupa tanah keras. Dimungkinkan batuan pada lereng bagian utara sudah mengalami pelapukan atau terdeformasi sehingga gelombang dapat mengalami amplifikasi lebih besar karena melalui medium yang jauh lebih lunak dibandingkan medium awal yang dilaluinya. Sedangkan, pada area lembah dimungkinkan memiliki ketebalan sedimen yang cukup tipis, sehingga area tersebut memiliki jenis tanah I dan II.

Nilai A_0 dengan klasifikasi sangat tinggi memiliki nilai berkisar antara 9,16 - 12,54. Daerah penelitian yang terdapat di lembah bagian utara, barat dan lereng bagian barat merupakan daerah penelitian dengan tanah jenis I dan II, yaitu berupa tanah keras. Pada lokasi penelitian yang berada di area lereng bagian barat dengan tanah jenis I, terdapat banyak pepohonan dan tanaman yang dapat mempercepat proses pelapukan. Dimungkinkan batuan di daerah tersebut telah terdeformasi atau mengalami pelapukan, sehingga nilai faktor amplifikasi di daerah tersebut menunjukkan klasifikasi yang sangat tinggi. Pada lokasi penelitian yang berada di area lembah bagian utara dan barat dengan tanah jenis I dan II, dimungkinkan terdapat lapisan sedimen dengan kedalaman hingga 10 meter, sehingga memiliki nilai A_0 yang sangat tinggi.

D. Indeks Kerentanan Seismik (K_g)

Indeks kerentanan seismik (K_g) merupakan indeks yang menggambarkan tingkat kerentanan lapisan permukaan tanah terhadap deformasi saat terjadi

gempabumi. Semakin tinggi nilai indeks kerentanan seismik maka tingkat kestabilan struktur tanah semakin kecil, sedangkan semakin rendah nilai indeks kerentanan seismik maka struktur tanah semakin stabil. Nilai indeks kerentanan seismik dipengaruhi oleh beberapa parameter, seperti faktor amplifikasi (A_0), cepat rambat gelombang seismik pada batuan dasar (v_b), dan frekuensi dominan (f_0) seperti yang ditunjukkan pada persamaan 32.

Nilai indeks kerentanan seismik berbanding lurus dengan nilai faktor amplifikasi dan berbanding terbalik dengan nilai frekuensi dominan. Semakin tinggi nilai faktor amplifikasi atau semakin rendah nilai frekuensi dominan, maka semakin tinggi nilai indeks kerentanan seismik. Hubungan parameter - parameter tersebut menjelaskan bahwa material penyusun tanah mempengaruhi tingkat kerentanan seismik suatu daerah, dimana daerah dengan nilai indeks kerentanan seismik tinggi adalah daerah dengan lapisan sedimen lunak yang sangat tebal, sehingga saat terjadi gempabumi daerah tersebut akan mengalami penguatan amplifikasi.

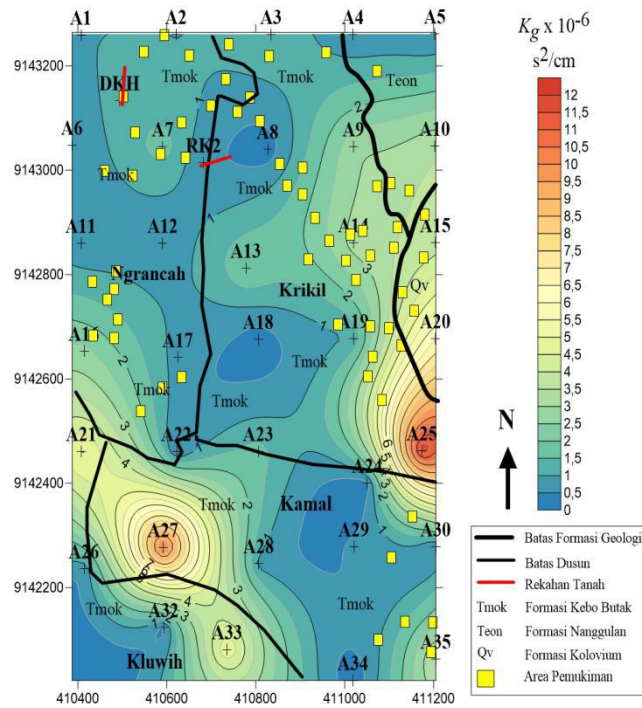
Nilai indeks kerentanan seismik di Bukit Prau, Desa Pendoworejo berkisar antara $(0,12 - 12,10) \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$, dimana hasil tersebut ditunjukkan pada Gambar 32. Klasifikasi persebaran nilai indeks kerentanan seismik dikategorikan menjadi tiga kategori berdasarkan metode interval kelas yaitu rendah, sedang dan tinggi. Nilai indeks kerentanan seismik tinggi pada Gambar 32 ditunjukkan dengan warna merah, bernilai antara $(10,30 - 12,10) \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$ yang berada di timur dan selatan bukit, dimana pada daerah tersebut tidak terdapat pemukiman warga. Tingginya nilai indeks kerentanan seismik menggambarkan rendahnya

kestabilan struktur tanah pada daerah penelitian. Hal tersebut sesuai dengan kondisi daerah yang berada di area lembah, dimana pada wilayah tersebut tersusun atas Formasi Kebo Butak dengan nilai frekuensi dominan rendah yang menunjukkan bahwa daerah tersebut terdiri dari material lunak dengan endapan sedimen yang tebal, serta memiliki nilai faktor amplifikasi tinggi yang mengakibatkan daerah lembah bagian timur dan selatan berpotensi merasakan guncangan kuat saat terjadi gempa bumi.

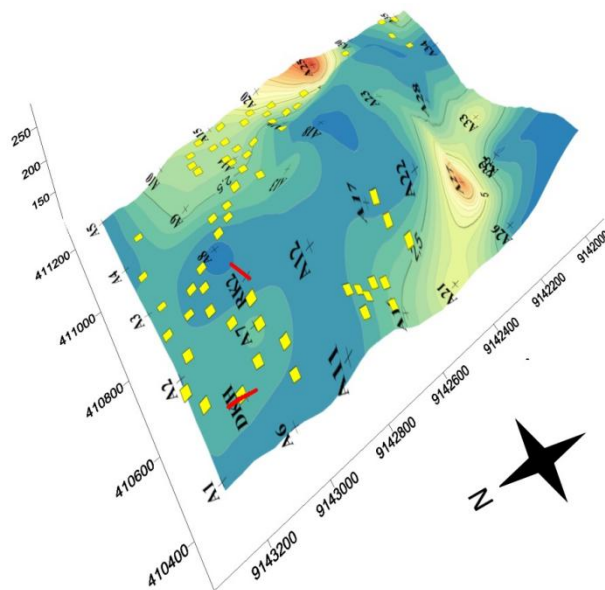
Nilai indeks kerentanan seismik rendah diwakili dengan warna biru, bernilai antara $(0,12 - 3,71) \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$ yang tersebar di bagian timur, selatan, barat dan utara bukit, meliputi 96,44% pemukiman warga. Daerah pemukiman dengan nilai K_g rendah tersebut memiliki potensi kerusakan yang rendah. Rendahnya nilai indeks kerentanan seismik disebabkan karena kondisi geologi di daerah ini pada lapisan permukaannya terdapat material keras seperti batuan breksi andesit, batu pasir kasar atau kerikil yang memiliki sifat batuan lebih kompak. Nilai indeks kerentanan seismik rendah pada area lereng dan atas bukit menggambarkan tingkat kestabilan struktur tanah yang cukup tinggi dan menunjukkan material lunak pada area tersebut memiliki ketebalan lapisan sedimen yang lebih tipis.

Nilai indeks kerentanan seismik sedang berkisar $(4,97 - 6,49) \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$, dimana pada Gambar 32 ditunjukkan dengan warna kuning yang tersebar di bagian timur, selatan dan barat bukit pada area lembah, meliputi 3,56% pemukiman warga. Nilai ini menunjukkan bahwa daerah tersebut tersusun atas material lunak dengan endapan sedimen yang cukup tebal, serta memiliki nilai

faktor amplifikasi sedang hingga tinggi yang mengakibatkan daerah tersebut memiliki kestabilan struktur tanah yang cukup rendah dan berpotensi merasakan guncangan saat terjadi gempa bumi.



(a)



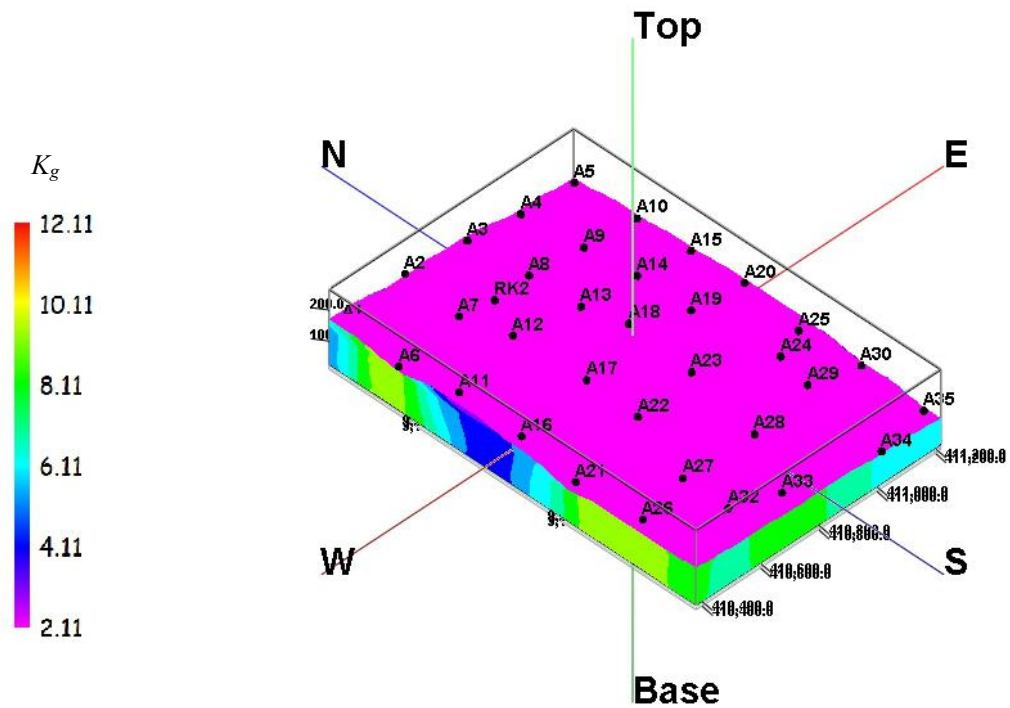
(b)

Gambar 32. Mikrozonasi Indeks Kerentanan Seismik (K_g)

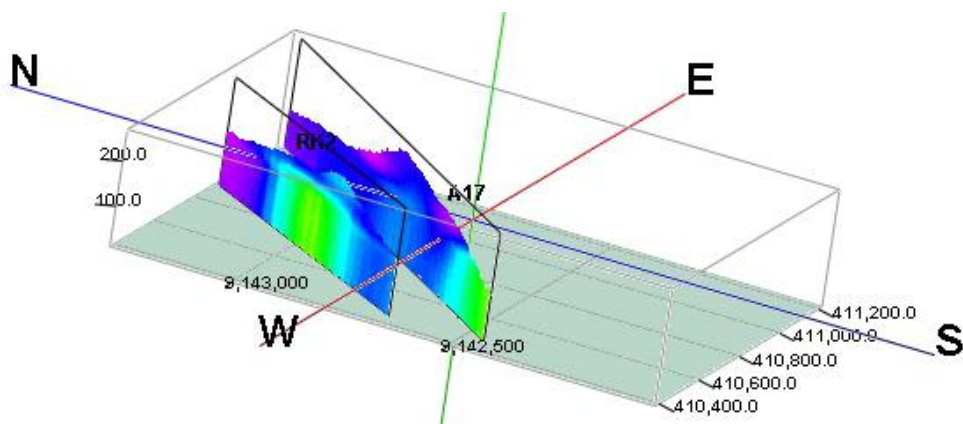
Selanjutnya dilakukan analisis zona lemah untuk mengetahui daerah yang memiliki potensi mengalami bencana longsor menggunakan model 3D penampang seismik dengan parameter input berupa nilai indeks kerentanan seismik (K_g) terhadap kedalaman seperti pada Gambar 33 dan nilai faktor amplifikasi (A_0) terhadap kedalaman seperti Gambar 36. Pada model tersebut dilakukan penyayatan model 3D penampang seismik K_g dan A_0 terhadap jalur rekahan pada bagian utara Bukit Prau seperti Gambar 34 dan Gambar 37, serta sayatan model 2D pada Gambar 35 dan Gambar 38. Berdasarkan model 3D penampang seismik A_0 dan K_g tersebut, dapat diketahui bahwa bagian utara Bukit Prau memiliki pola sebaran nilai faktor amplifikasi pada jalur rekahan yang masuk dalam klasifikasi tinggi. Nilai indeks kerentanan seismik pada area tersebut berada pada batas pertemuan antara dua nilai K_g dan area tersebut berdekatan dengan nilai indeks kerentanan seismik yang tinggi.

Berdasarkan nilai v_s di lapisan permukaan, jalur rekahan didominasi oleh tanah lunak hingga batuan lunak, yang ditunjukkan dengan nilai v_s 123,97 – 647,63 m/s, sedangkan pada kedalaman lebih dari 40 meter terdapat batuan keras dengan nilai v_s 1244,72 m/s. Pada pemodelan ditunjukkan adanya penguatan amplifikasi pada jalur rekahan dan nilai K_g yang cukup tinggi. Hal tersebut disebabkan karena berdasarkan kondisi di lapangan ditemukan adanya batuan besar pada permukaan yang berasal dari atas bukit, yang memiliki sifat batuan yang lebih kompak dengan tingkat kestabilan tanah yang cukup tinggi, sedangkan pada lapisan di bawahnya batuan keras di area tersebut sudah menjadi material yang lebih lunak, sehingga nilai indeks kerentanan seismik pada jalur rekahan di

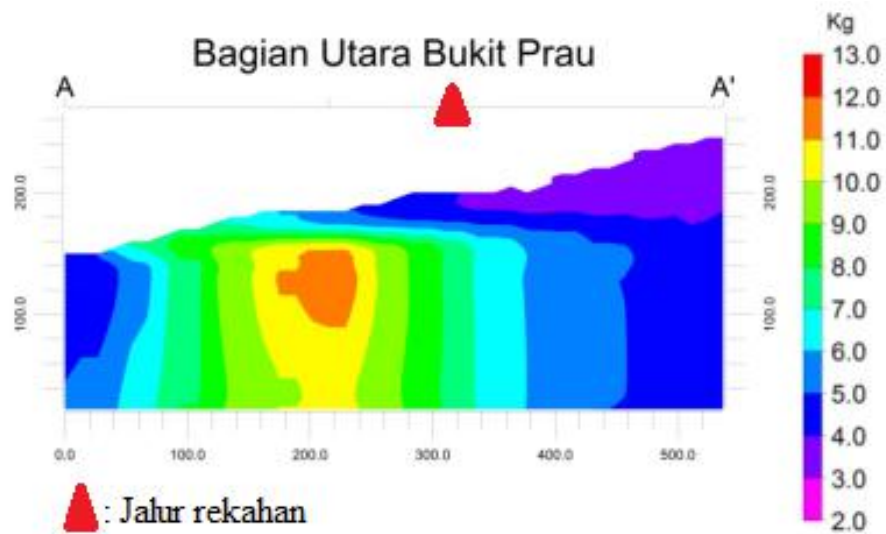
permukaannya lebih rendah dibandingkan dengan lapisan di bawahnya. Pada bagian timur, barat dan selatan tidak ditemukan model pola sebaran yang sama dengan model pola sebaran pada bagian utara Bukit Prau. Gambar 39 merupakan kondisi lapangan di daerah penelitian pada jalur rekahan bagian utara Bukit Prau.



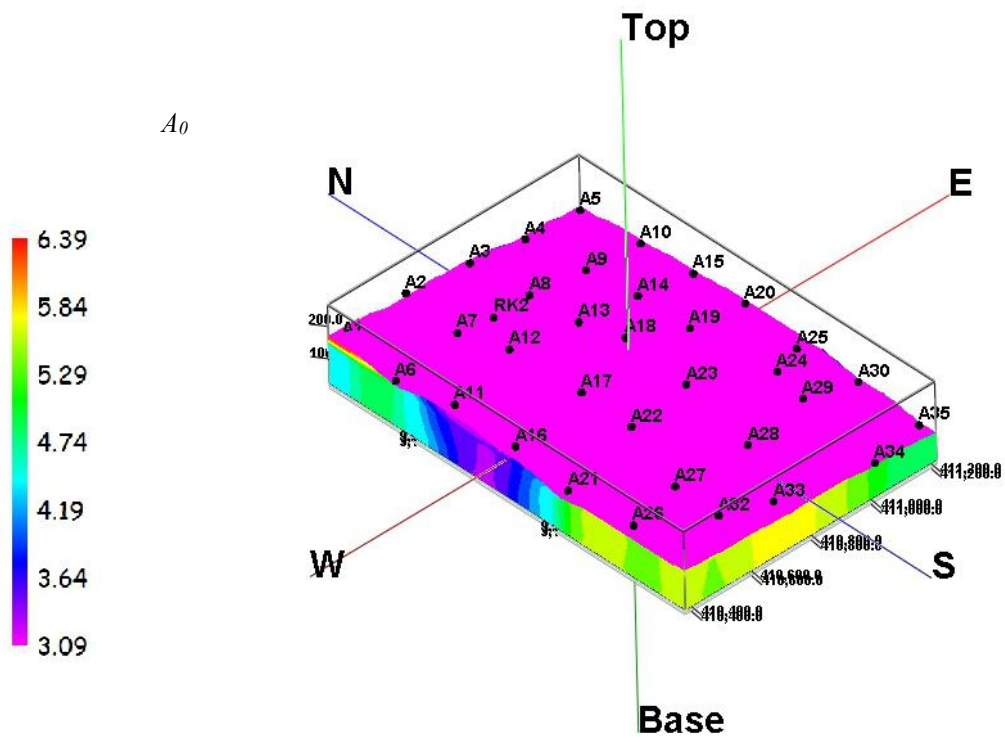
Gambar 33. Pemodelan 3D penampang seismik nilai indeks kerentanan seismik terhadap kedalaman



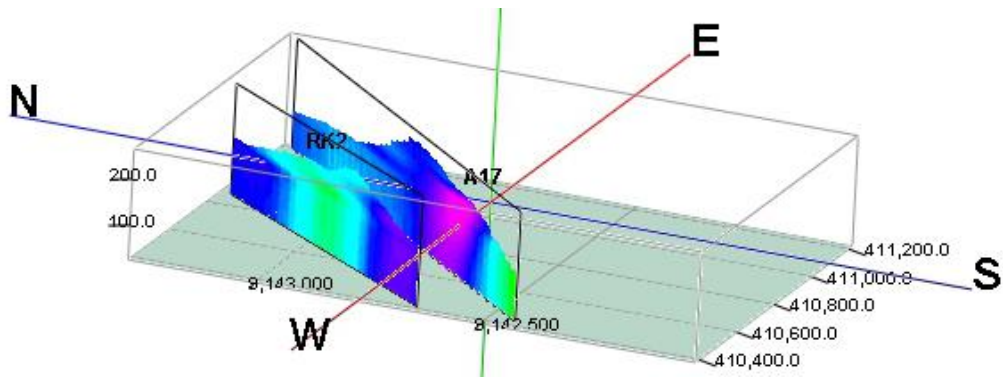
Gambar 34. Sayatan model 3D penampang seismik nilai indeks kerentanan seismik terhadap kedalaman



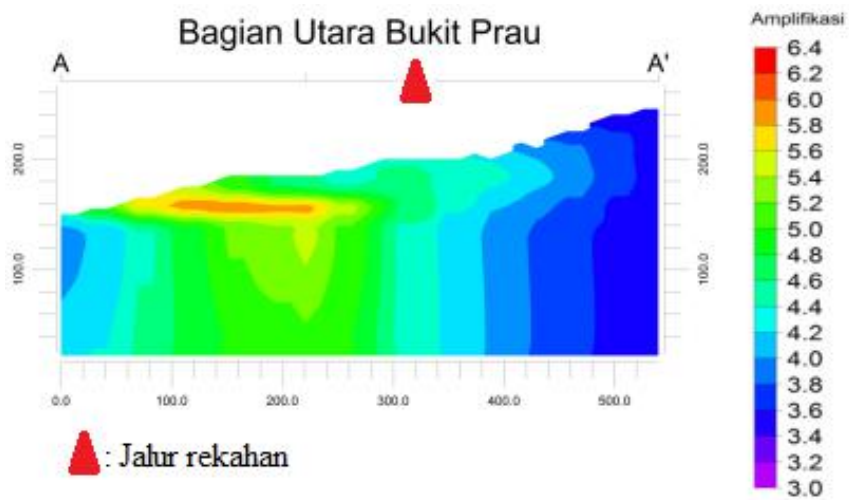
Gambar 35. Sayatan model 2D penampang seismik nilai indeks kerentanan seismik terhadap kedalaman



Gambar 36. Pemodelan 3D faktor amplifikasi terhadap kedalaman



Gambar 37. Sayatan model 3D faktor amplifikasi terhadap kedalaman



Gambar 38. Sayatan model 2D faktor amplifikasi terhadap kedalaman

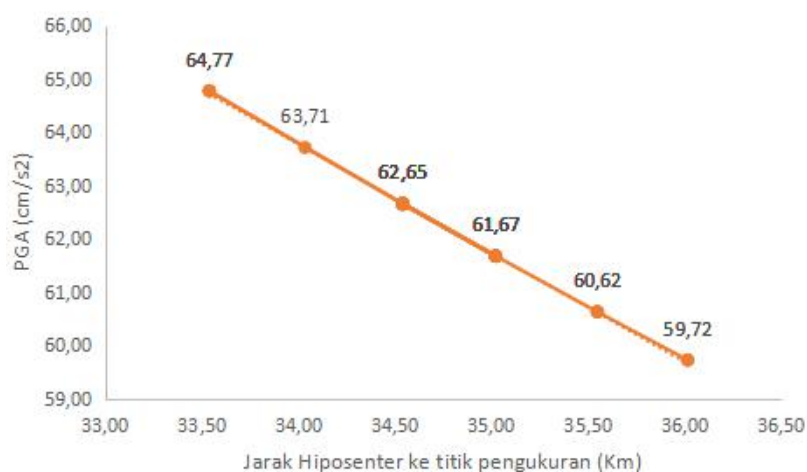


Gambar 39. Jalur rekahan pada bagian utara Bukit Prau

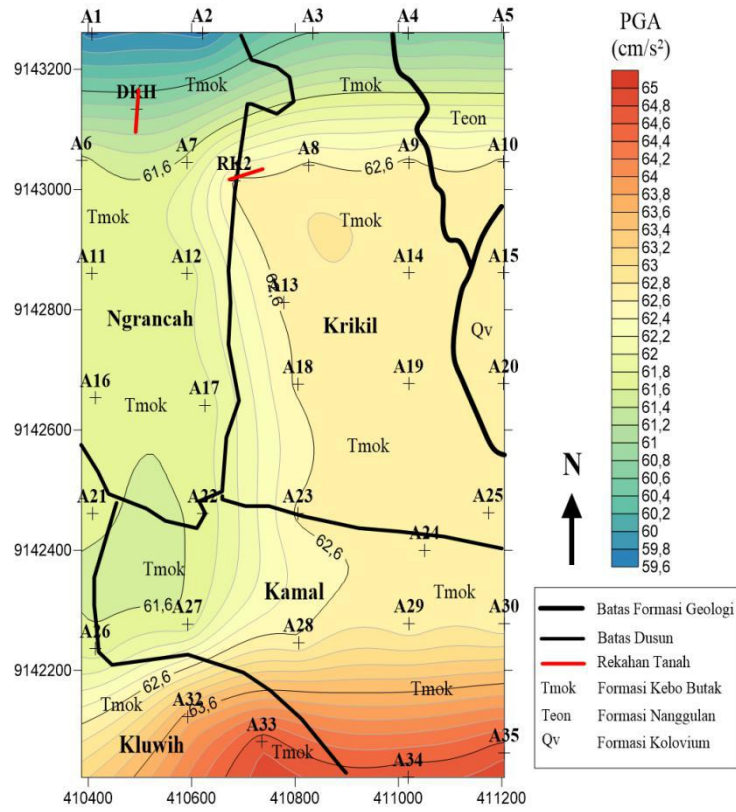
E. *Peak Ground Acceleration (PGA)*

Penentuan nilai *Peak Ground Acceleration (PGA)* pada penelitian ini menggunakan pendekatan Fukushima-Tanaka untuk mengetahui nilai PGA di batuan dasar seperti pada persamaan 29. Hasil perhitungan PGA di batuan dasar yang dihitung menggunakan persamaan tersebut menunjukkan bahwa pada saat gempa bumi Bantul 27 Mei 2006 (M 5,9) Bukit Prau memiliki PGA di batuan dasar berkisar antara $59,72 \text{ cm/s}^2$ - $64,77 \text{ cm/s}^2$. Peta distribusi *Peak Ground Acceleration (PGA)* Bukit Prau ditunjukkan pada Gambar 41.

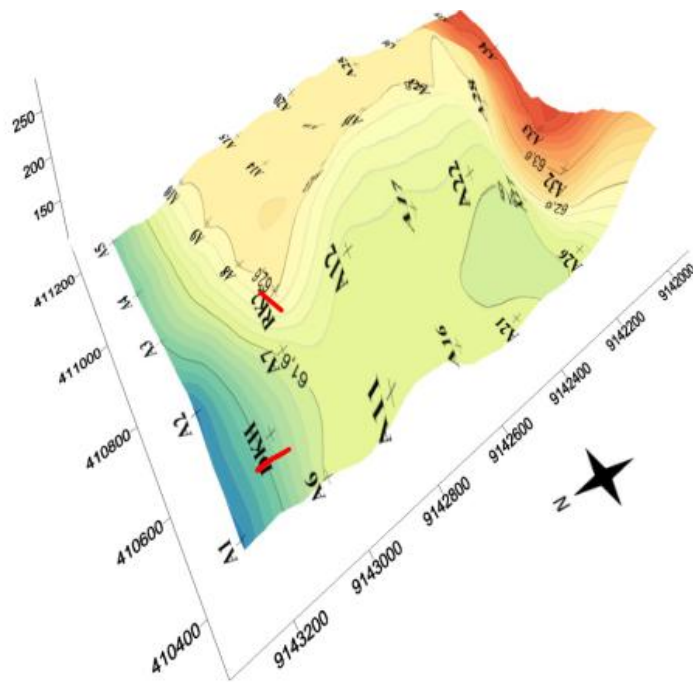
Berdasarkan persebaran nilai PGA di batuan dasar ini terlihat bahwa nilai PGA tertinggi terdapat pada daerah yang lebih dekat dengan sumber gempa, karena metode ini hanya menggunakan nilai episenter, hiposenter dan magnitudo, sehingga daerah yang lebih dekat dengan sumber gempa akan memiliki nilai PGA yang lebih besar daripada daerah yang berada lebih jauh dari sumber gempa. Gambar 40 merupakan grafik hubungan PGA dengan jarak hiposenter dari sumber gempa, grafik tersebut menunjukkan bahwa semakin besar jarak hiposenternya, maka nilai PGA semakin kecil dan begitupun sebaliknya.



Gambar 40. Grafik Hubungan PGA dengan Jarak Hiposenter



(a)



(b)

Gambar 41. Peak Ground Acceleration (PGA) (a) Peta Distribusi 2D (b) Peta Distribusi 3D

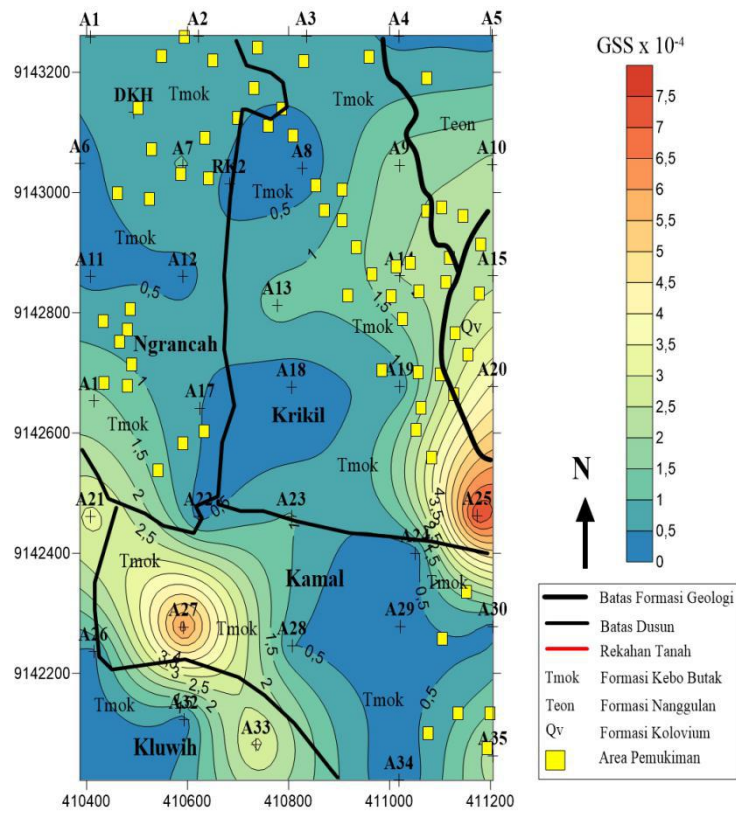
Variasi nilai PGA memiliki pola sebaran atau kontur yang teratur sesuai jarak. Daerah dengan nilai PGA tinggi yang ditunjukkan dengan warna merah berada di sisi selatan dan timur Bukit Prau. Nilai PGA yang tinggi dapat menunjukkan besarnya kerusakan bangunan yang diakibatkan oleh gempa bumi, sehingga pada daerah bagian timur dan selatan Bukit Prau yang berada lebih dekat dengan sumber gempa dibandingkan dengan bagian lainnya memiliki potensi kerusakan bangunan lebih besar. Berdasarkan kondisi di lapangan, nilai PGA di batuan dasar tersebut tidak terlalu berpengaruh terhadap potensi kejadian longsor di Bukit Prau, disebabkan pada bagian utara yang terdapat riwayat rekahan memiliki nilai PGA yang rendah. Potensi kejadian longsor di Bukit Prau lebih dipengaruhi oleh faktor iklim dengan kondisi topografi yang berupa lereng.

F. *Ground Shear Strain (GSS)*

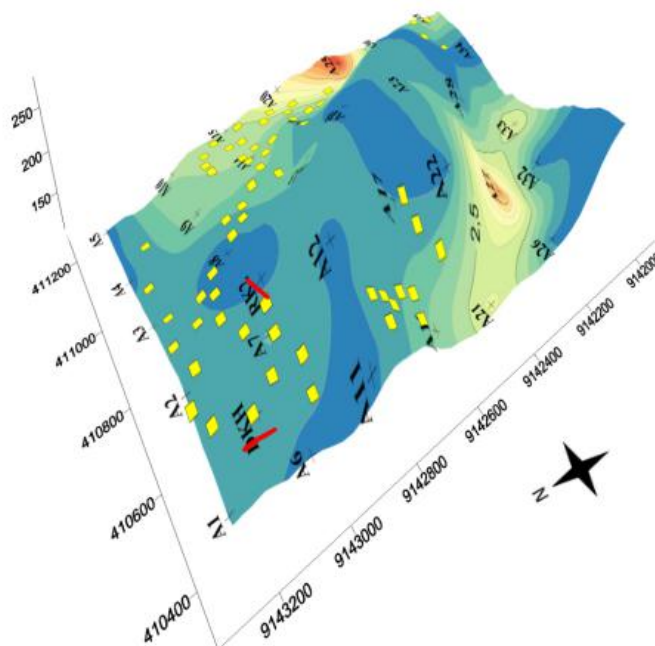
Nilai *Ground Shear Strain (GSS)* di wilayah penelitian menunjukkan besarnya tingkat regangan pada material penyusun saat terjadi gempa bumi. Semakin besar nilai GSS maka lapisan tanah akan mengalami deformasi seperti likuifaksi, rekahan tanah dan longsor. Nakamura *et al.* (2000) menghitung besarnya regangan geser di suatu tempat dengan cara melakukan perkalian antara indeks kerentanan seismik (K_g) berdasarkan mikrotremor dengan besarnya PGA di batuan dasar. Nilai indeks kerentanan seismik dan PGA menjadi parameter penting yang mempengaruhi nilai regangan tanah di suatu tempat. Namun dalam kajian mikrozonasi di daerah penelitian, nilai PGA tidak berpengaruh secara signifikan karena wilayahnya yang sempit, sehingga nilai indeks kerentanan

seismik mempunyai pengaruh yang lebih besar. Hal ini dapat dilihat dari persebaran nilai regangan geser yang memiliki kesesuaian dengan nilai indeks kerentanan seismik. Peta persebaran nilai *Ground Shear Strain* (GSS) Bukit Prau dapat dilihat pada Gambar 42.

Pada penelitian ini nilai regangan geser yang diperoleh adalah sebesar $0,81 \times 10^{-5}$ - $8,48 \times 10^{-4}$. Hubungan antara regangan geser dengan fenomena yang terjadi akibat gempa bumi dengan magnitudo 5,9 (M_b) dapat dilihat pada Tabel 8, dimana nilai GSS yang tersebar di Bukit Prau berada di bawah 10^{-3} dengan fenomena yang terjadi adalah retakan dan penurunan tanah. Berdasarkan hasil pengukuran, nilai regangan geser yang tinggi berada di bagian timur dan selatan Bukit Prau tepatnya berada di area lembah, dimana pada area tersebut tidak terdapat pemukiman. Nilai regangan geser tinggi tersebut berkaitan dengan nilai indeks kerentanan seismik yang relatif lebih besar dan menunjukkan material penyusun yang relatif lebih tidak kompak dari bagian yang lain. Nilai regangan geser rendah berada di bagian timur, selatan, barat dan utara bukit, meliputi 96,44% pemukiman warga, sedangkan nilai regangan geser sedang berada di bagian timur, selatan dan barat bukit pada area lembah, meliputi 3,56% pemukiman warga. Berdasarkan hubungan antara nilai GSS dengan fenomena berupa rekahan tanah yang terdapat di lereng Bukit Prau bagian utara, nilai GSS saat terjadi gempa bumi dengan magnitudo 5,9 tidak berpengaruh terhadap potensi kejadian tanah longsor di Bukit Prau, dikarenakan area tersebut memiliki nilai GSS yang rendah.



(a)



(b)

Gambar 42. *Ground Shear Strain (GSS)* (a) Peta persebaran 2D (b) Peta persebaran 3D

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Bukit Prau memiliki nilai frekuensi dominan dan faktor amplifikasi yang persebarannya bervariasi. Nilai frekuensi dominan 0,49 Hz - 14,98 Hz merepresentasikan kategori jenis tanah I - IV dan nilai faktor amplifikasi 2,37 - 12,54 dengan kategori rendah hingga sangat tinggi.
2. Persebaran nilai indeks kerentanan seismik (K_g) di Bukit Prau berkisar antara $(0,12 - 12,10) \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$. Nilai K_g tinggi berada di sebelah timur dan selatan Bukit Prau yang merupakan area lembah dengan lapisan sedimen tebal, sedangkan nilai K_g rendah tersebar di sebelah barat, utara, selatan dan timur Bukit Prau yang merupakan daerah dengan sedimen tipis. Nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) berkisar antara $59,72 \text{ cm/s}^2 - 64,77 \text{ cm/s}^2$, dengan nilai PGA tinggi berada di sebelah timur dan selatan Bukit Prau, karena berada lebih dekat dengan sumber gempa.
3. Persebaran nilai *Ground Shear Strain* (GSS) di Bukit Prau berkisar antara $0,81 \times 10^{-5} - 8,48 \times 10^{-4}$. Nilai GSS tinggi berada di sebelah timur dan selatan bukit tepatnya berada di area lembah. Nilai GSS tidak berpengaruh terhadap kejadian tanah longsor di Bukit Prau.
4. Zona lemah Bukit Prau berada di bagian utara yang memiliki pola sebaran nilai faktor amplifikasi tinggi (A_0), nilai indeks kerentanan seismik (K_g) tinggi dan berada pada batas pertemuan antara dua nilai K_g yang sama.

B. Saran

Beberapa saran yang perlu diperhatikan untuk penelitian berikutnya adalah:

1. Melakukan penelitian yang lebih detail terkait keberadaan jalur rekahan berdasarkan arah sumber gelombang dengan cara merapatkan atau memperkecil jarak antar titik pengambilan data.
2. Dilakukan penelitian tentang metode lain pada PGA untuk menentukan GSS.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, A.S., Mulyatno, B. S., Marjiyono & Setianegara, R., 2013. *Penentuan Zona Rawan Guncangan Bencana Gempa Bumi Berdasarkan Analisis Nilai Amplifikasi HVSR Mikrotremor Dan Analisis Periode Dominan Daerah Liwa Dan Sekitarnya*. Lampung: Universitas Negeri Lampung.
- Badan Standarisasi Nasional. 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa dan Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: BSN, SNI 1726: 2012.
- BAKORNAS PB (Badan Koordinasi Nasional Penanggulangan Bencana). 2007. *Pengelanaan Karakteristik Bencana Dan Upaya Mitigasinya Di Indonesia*. Jakarta
- Bakri, A. 2014. *Analisis Ground Shear Strain dengan Metode HVSR di Kabupaten Kulonprogo Daerah Istimewa Yogyakarta*. Jurnal: Fisika, Vol.03, No.12.
- BMKG (Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika). 2009. *Peta Lempeng Tektonik Indonesia*. Diakses dari <https://balai3.denpasar.bmkg.go.id/tentang-gempa>, pada tanggal 23 Maret 2019, jam 19.30
- BPBD (Badan Penanggulangan Bencana Daerah). 2018. *Data Induk Rekapitulasi Kebencanaan Kulonprogo*. Kulonprogo: BPBD Kulonprogo
- Daryono, Sutikno, Prayitni, dan Setio, B. 2009. *Data Mikrotremor dan Pemanfaatannya untuk Pengkajian Bahaya Gempa bumi*. Yogyakarta: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.

- Edwiza, 2008, *Pemetaan Percepatan Tanah Maksimum dan Intensitas Seismik Kota Padang Panjang Menggunakan Metode Kanai*, Jurnal Teknik No.29 Vol.2 Thn XV April 2008
- Elnashai, S.A. dan Sarno, D.L. 2008. *Fundamental of Earthquake Engineering*. Hongkong: Wiley.
- Fukushima, Y., dan Tanaka, T. 1990. *A New Attenuation Relation for Peak Horizontal Acceleration of Strong Earthquake Ground Motion in Japan*. Bulletin of the Seismological Society of America.
- Gadallah, R.M., & Fisher, R. 2009. *Exploration Geophysics*. Berlin: Springer.
- Gosar, A. 2007. *Microtremor HVSR Study for Assesing Site Effects in the Bovec Basin (NW Slovenia) Related to 1998 Mw 5.6 and 2004 Mw 5.2 Earthquake*. Elsevier Engineering Geology 91.
- Ibrahim, G dan Subardjo. 2005. *Pengetahuan Seismologi*. Jakarta: Badan Meteorologi dan Geofisika.
- Kementrian ESDM (Energi dan Sumber Daya Mineral). 2007. *Pengenalan Gerakan Tanah*. Jakarta
- Kirbani. 2012. *Mitigasi Bencana Gempa bumi*. Yogyakarta: Pusat Studi Bencana Universitas Gadjah Mada.
- Mirzaoglu, M. 2003. *Application of microtremors to seismic microzonasing procedure*. Balkan: journal of the Balkan geophysical, Vol. 6. No 3p.

- Nakamura, Y. 1989. *A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface*. Japan: Quarterly Report of Railway Technical Research Institute (RTRI), Vol. 30, No.1.
- Nakamura, Y. 1997. *Seismic Vulnerability Indices for Ground and Structures Using Microtremor*. Florence: World Congress on Railway Research.
- Nakamura, Y. 2000. *Clear identification of fundamental idea of Nakamura's Technique and its application*. Japan: System and data research.
- Nandi. 2006. *Gempabumi Geologi Lingkungan*. Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia.
- Nandi. 2007. *Longsor*. Jurusan Pendidikan Geografi. Bandung: FPIPS-UPI.
- Patimah, S. 2017. *Analisis Litologi Bawah Permukaan Berdasarkan Ground Profiles Kecepatan Gelombang Geser dengan Metode Ellipticity Curve di Kecamatan Prambanan Dan Kecamatan Gantiwarno Kabupaten Klaten*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Pemda Pendoworejo. 2009. *Peta Administrasi Desa Pendoworejo*.
- Pemda Pendoworejo. 2017-2018. *Data Bencana Alam Desa Pendoworejo*
- Pertiwi, G. D. A. G. 2018. *Identifikasi Daerah Rawan Longsor Menggunakan Metode Mikrotremor di Kecamatan Bagelen Kabupaten Purworejo*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta
- Priyanto, D. K. 2016. *Penentuan Koevisien dan Konstanta Formula Empiris Percepatan Getaran Tanah di Daerah Denpasar*. Skripsi. Denpasar: Universitas Udayana.

- Putri, Y. D. A. 2016. *Mikrozonasi Indeks Kerentanan Seismik di Kawasan Jalur Sesar Opak berdasarkan Pengukuran Mikrotremor*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Rahardjo, W., Sukandarrumidi dan Rosidi, H. D. 1995. *Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa, Skala 1:100.000*. Bandung. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi
- Samsudin, A. 2018. R. "Seismic Refraction Surveying" diakses melalui <http://www.ukm.my/rahim/Seismic%20Refraction%20Surveying.htm> pada tanggal 16 Juli 2019 pukul 09:30
- SESAME. 2004. *Guiddeliens For the Implementation Of the H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations*. Europe: SESAME European Research Project.
- Setiawan J.R. 2009. *Mikrozonasi Seismisitas Daerah Yogyakarta Dan Sekitarnya*. Tesis. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Setiawati, Y. 2017. *Analisis GSS (Ground Shear Strain) dengan Metode HVSR Menggunakan Data Mikroseismik Pada Jalur Sesar Opak*. Jurnal: Fisika, Vol.06, No.02.
- Subramanian, N. 2008. *Design of Steel Structures: Appendix C Properties of Soil*. India: Oxford University Press.
- Sujarwo, A. 2016. *Identifikasi Lapisan Rawan Tanah Longsor Menggunakan Metode Geolistrik Konfigurasi Dipole - Dipole di Desa Pendoworejo Kecamatan Girimulyo Kabupaten Kulon Progo*. Skripsi. Program Studi Fisika: Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta

- Supartoyo dan Surono, 2008. *Katalog Gempabumi Merusak di Indonesia Tahun 1629-2007*. Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi. Bandung
- Susilawati. 2008. *Penerapan Penjalaran Gelombang Seismik Gempa pada Penelaahan Struktur Bagian dalam Bumi*. Sumatera Utara: Universitas Sumatera Utara.
- Telford, W. M, L.P Geldart & R. E. Sheriff. 1990. *Applied Geophysics, Second Edition*. New York: Cambridge University Press.
- Wibowo, N.B., Juwita N.S., Denny D., Yosafat S., 2018. *Intepretasi Ketebalan Lapisan Sedimen Berdasarkan Penampang Seismik Kurva H/V di Kota Pacitan – Jawa Timur*. Yogyakarta: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.

LAMPIRAN 1

Hasil Kriteria Kurva Reliabel dan Kurva *Clear Peak* berdasarkan

SESAME European Research Project

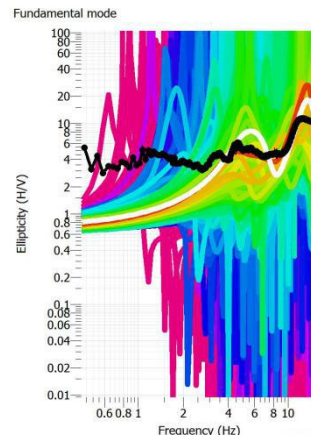
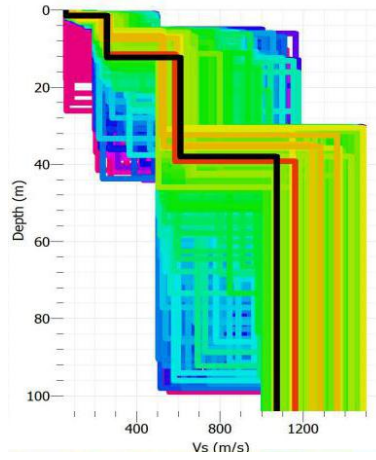
ID	n_w	f_o	A	Reliable			Clear Peak					
				i	ii	iii	i	ii	iii	iv	v	vi
A1	14	12,68	11,42	v	v	v	v	v	v	-	v	v
A2	10	6,29	9,93	v	v	v	-	-	v	-	v	v
A3	13	1,85	6,08	v	v	v	-	-	v	-	v	v
A4	14	5,02	5,5	v	v	v	-	-	v	-	v	v
A5	15	6,98	6,83	v	v	v	-	-	v	-	v	v
A6	16	4,34	6,27	v	v	v	-	v	v	-	v	v
A7	16	2,34	7,85	v	v	v	-	v	v	-	v	v
A8	15	9,07	4,72	v	v	v	-	-	v	-	v	v
A9	16	1,32	7,53	v	v	v	-	-	v	v	v	v
A10	14	1,27	6,96	v	v	v	-	-	v	-	v	v
A11	16	2,98	3,7	v	v	v	-	-	v	-	v	v
A12	16	4,24	4,67	v	v	v	-	-	v	-	v	v
A13	16	1,07	4,23	v	v	v	-	-	v	-	v	v
A14	15	1,32	6,98	v	v	v	-	-	v	-	v	v
A15	15	1,17	7,45	v	v	v	-	-	v	-	v	v
A16	15	1,07	6,59	v	v	v	-	-	v	-	v	v
A17	16	13,02	9,2	v	v	v	v	-	v	-	v	v
A18	16	6,24	4,55	v	v	v	-	-	v	-	v	v
A19	16	3,02	4,88	v	v	v	-	-	v	-	v	v
A20	16	1,12	8,15	v	v	v	-	-	v	-	v	v
A21	16	1,17	8,99	v	v	v	-	-	v	-	v	v
A22	16	4,49	5,73	v	v	v	-	-	v	-	v	v
A23	16	1,02	3,68	v	v	v	-	-	v	-	v	v
A24	16	3,56	3,5	v	v	v	-	-	v	-	v	v
A25	16	1,07	10,31	v	v	v	-	-	v	-	v	v
A26	16	14,98	11,51	v	v	v	-	-	v	-	v	v
A27	16	1,22	12,54	v	v	v	-	-	v	-	v	v
A28	16	4,24	5,84	v	v	v	-	-	v	-	v	v
A29	16	4,98	5,03	v	v	v	-	-	v	v	v	v
A30	15	10,63	8,09	v	v	v	-	-	v	-	v	v
A32	16	2,24	3,49	v	v	v	-	-	v	-	v	v
A33	16	1,27	9,16	v	v	v	-	v	v	-	v	v
A34	16	5,71	2,37	v	v	v	-	-	v	-	v	v
A35	12	0,49	4,9	v	v	v	-	-	v	-	v	v
RK2	16	5,71	6,21	v	v	v	-	-	v	-	v	v

Tanda (v) menunjukkan bahwa syarat terpenuhi dan tanda (-) menunjukkan bahwa syarat tidak terpenuhi.

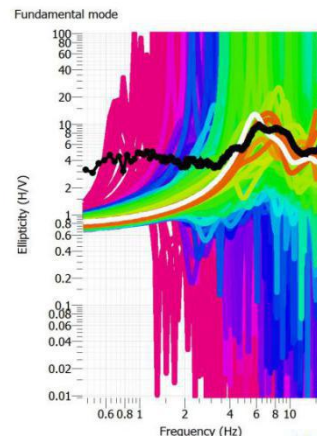
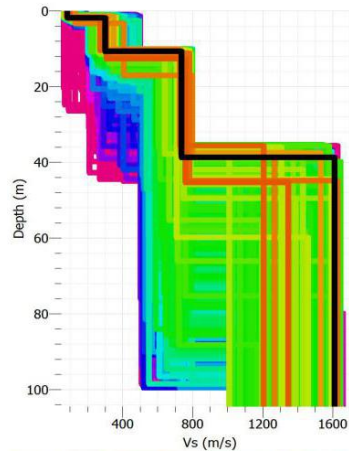
LAMPIRAN 2

Kurva Ellipticity Curve dan Grond Profile v_s

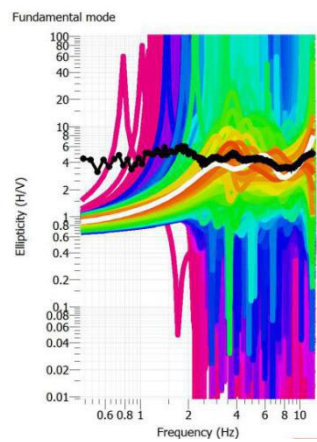
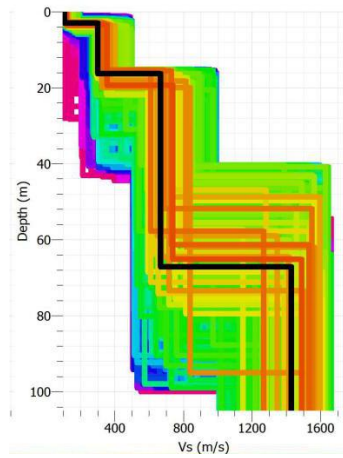
A1



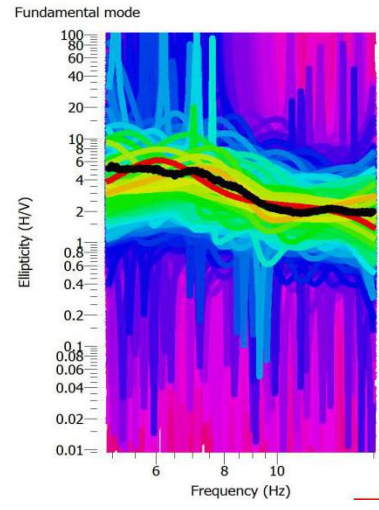
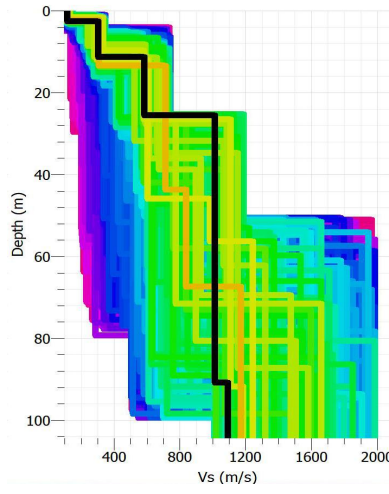
A2



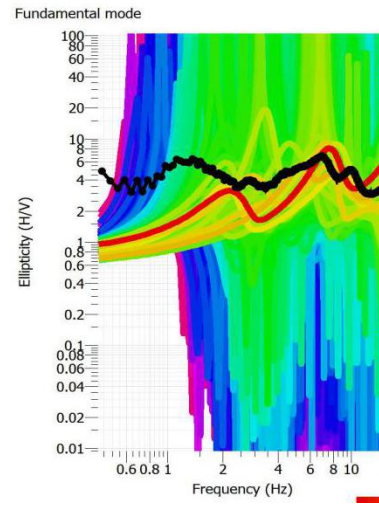
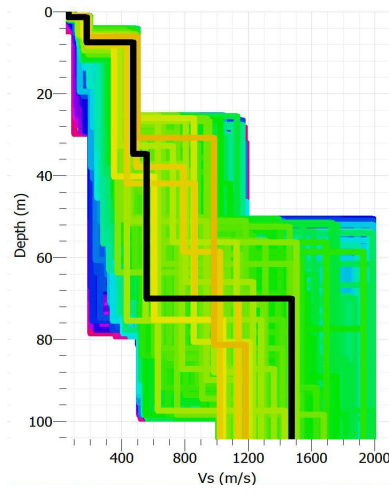
A3



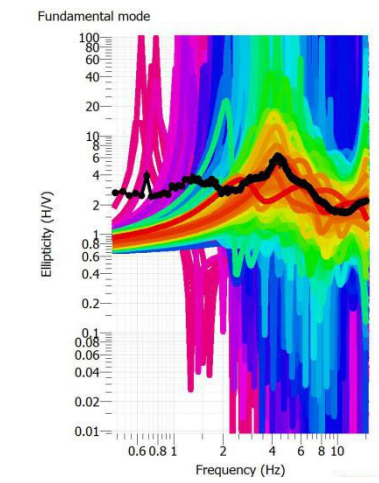
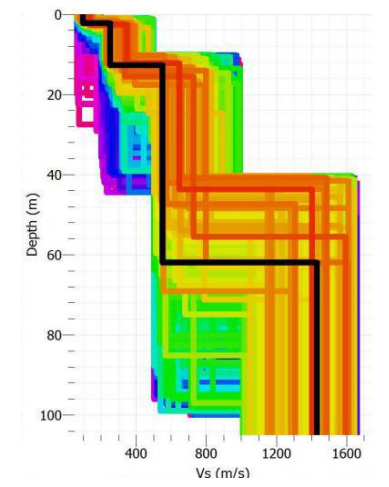
A4



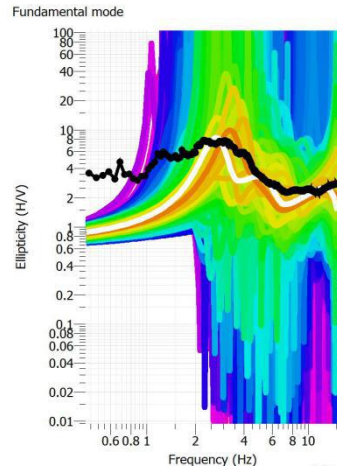
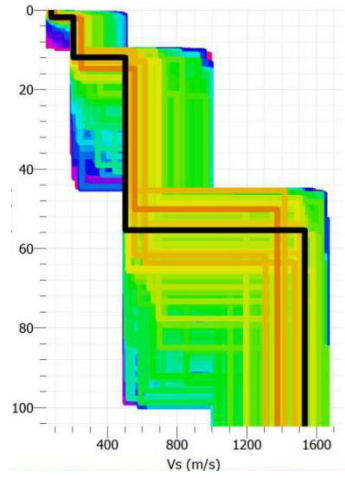
A5



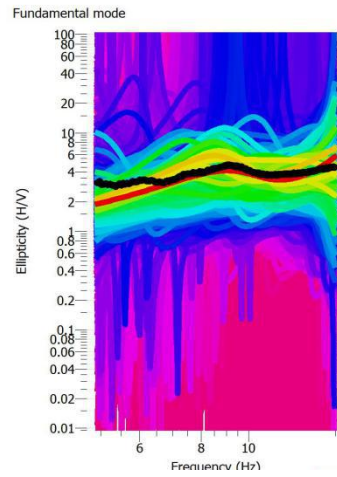
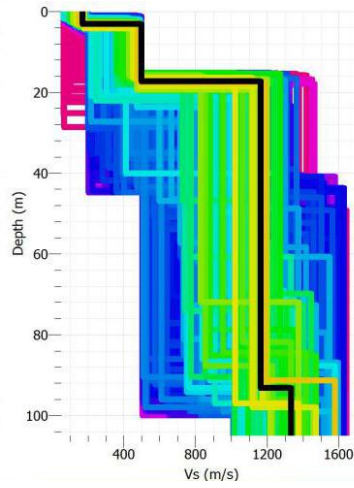
A6



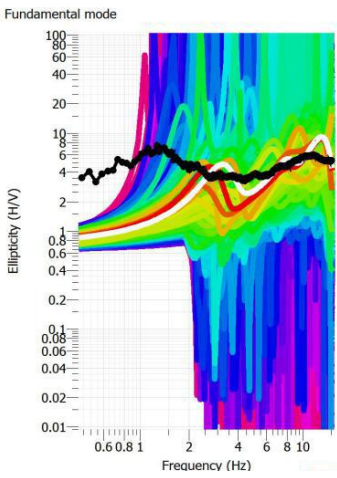
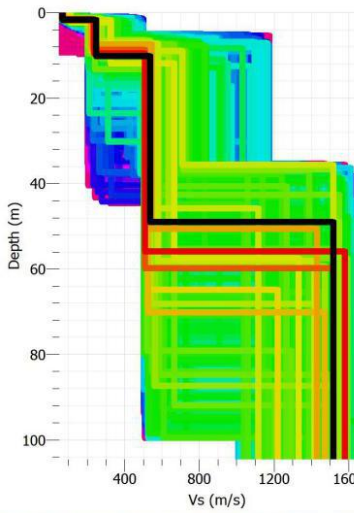
A7



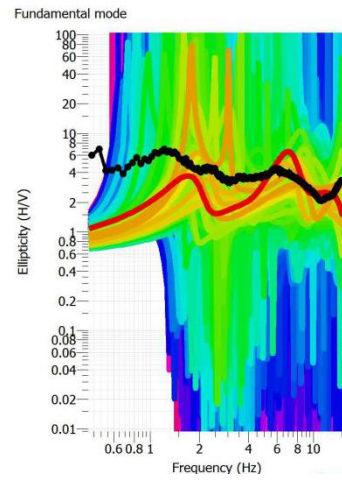
A8



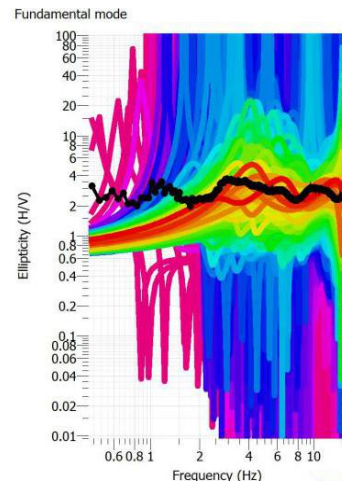
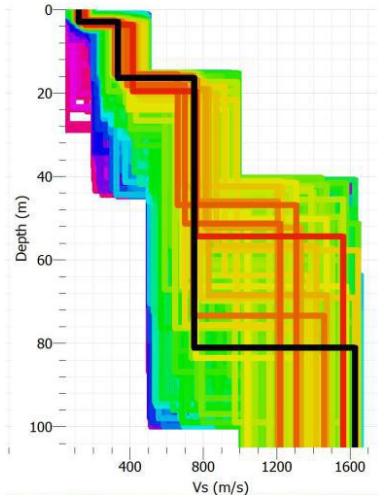
A9



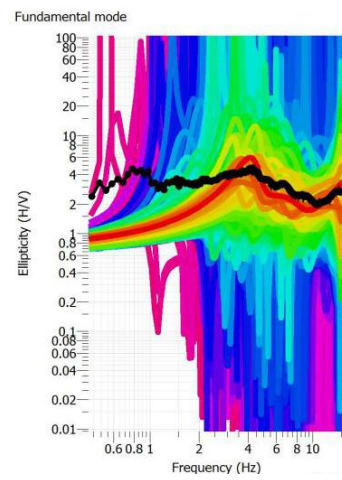
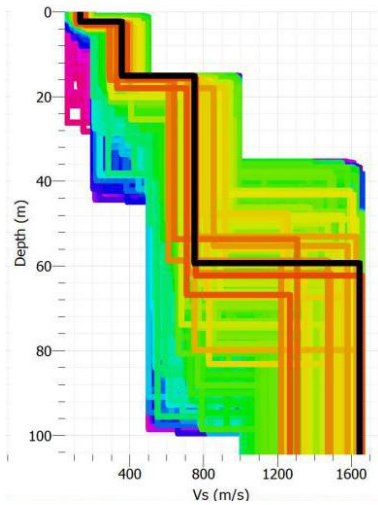
A10



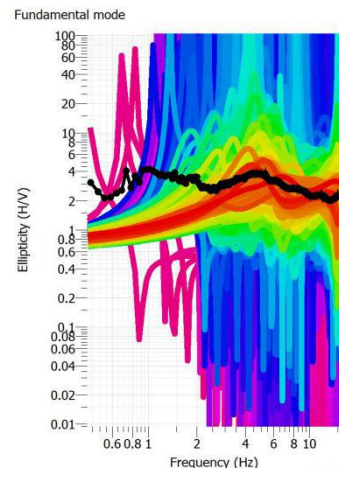
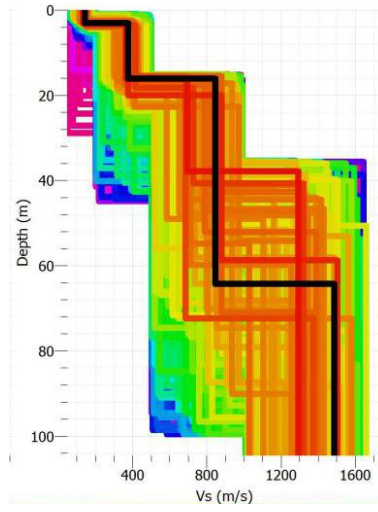
A11



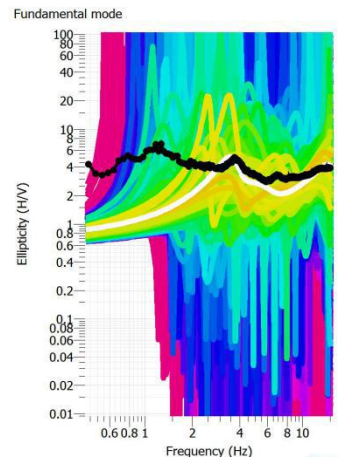
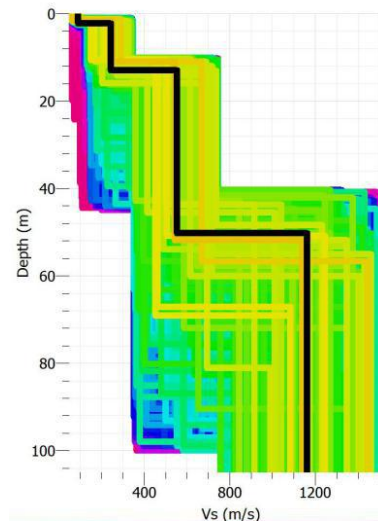
A12



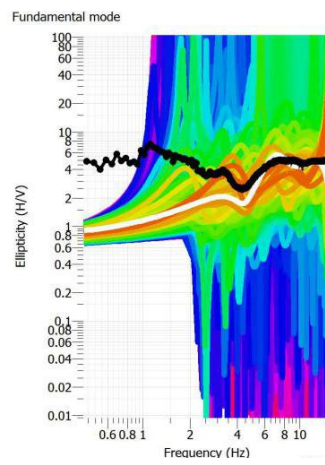
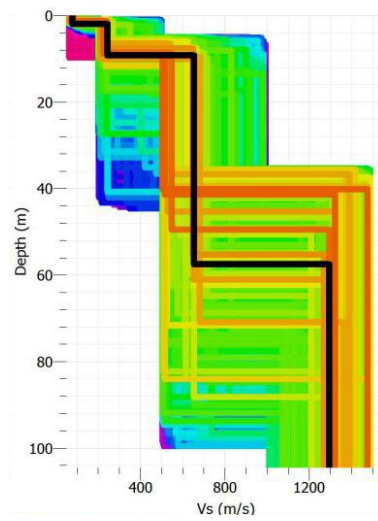
A13



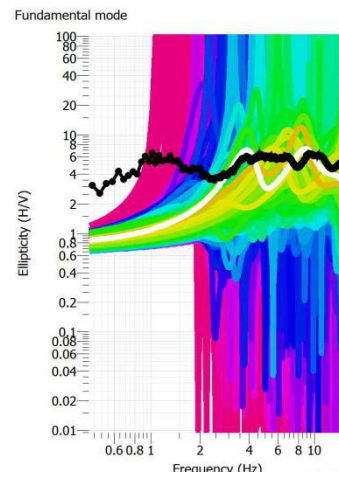
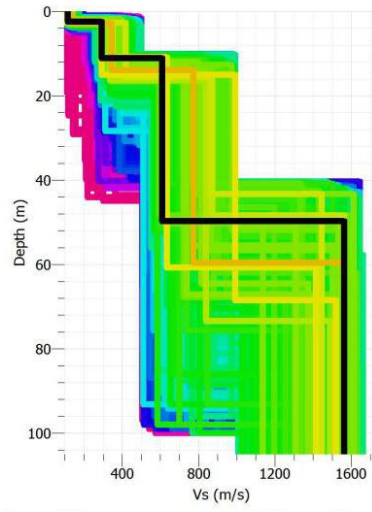
A14



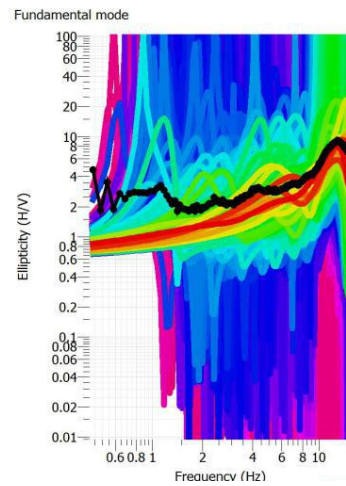
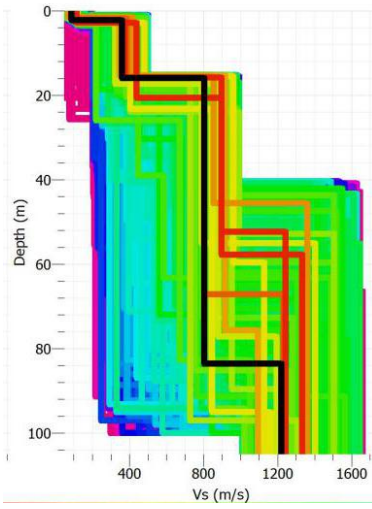
A15



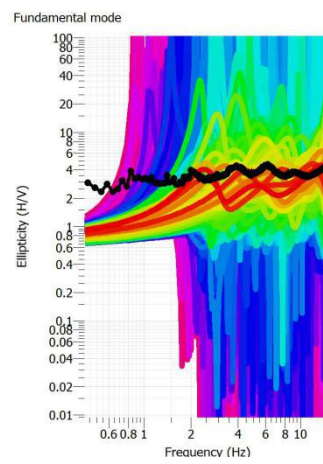
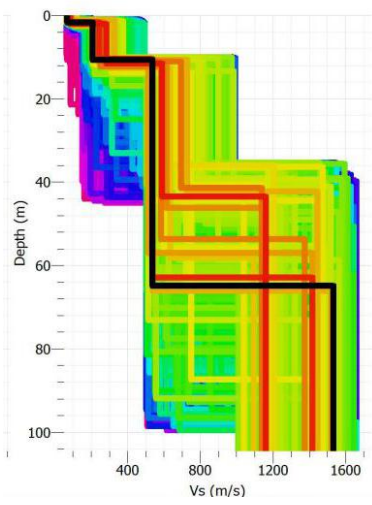
A16



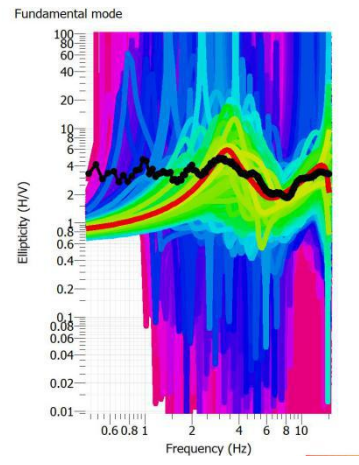
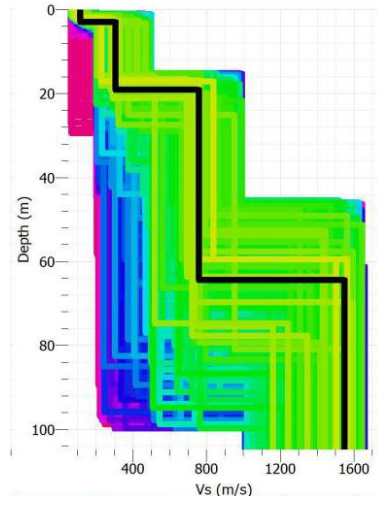
A17



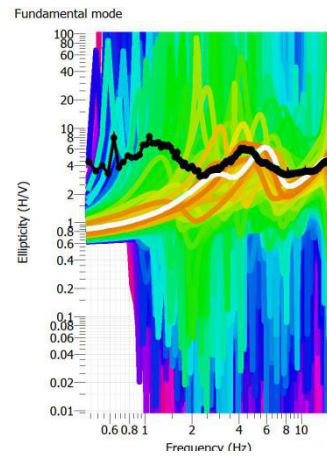
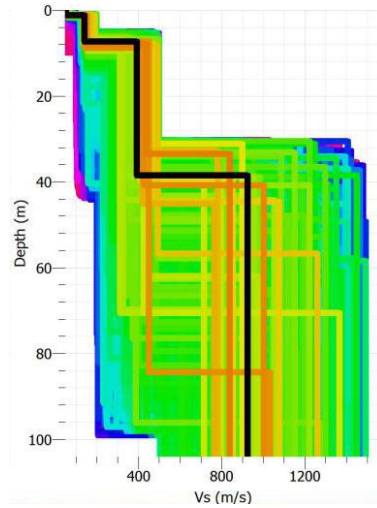
A18



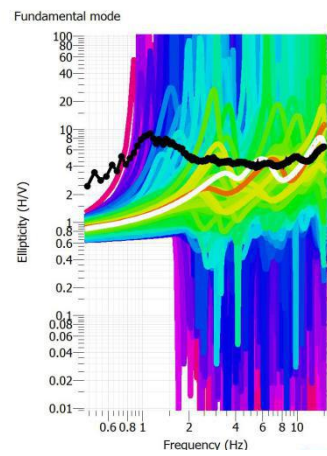
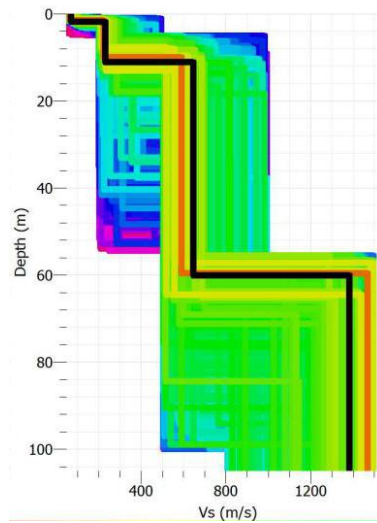
A19



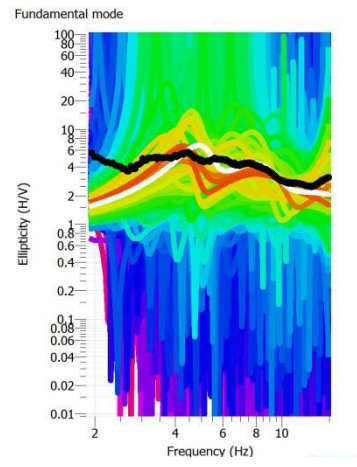
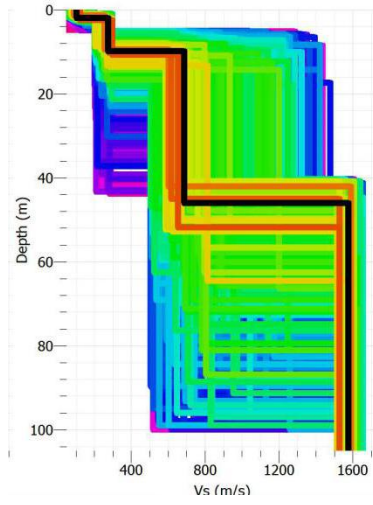
A20



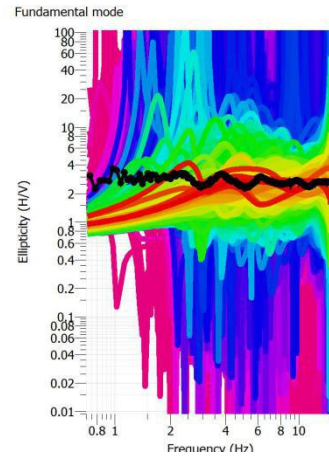
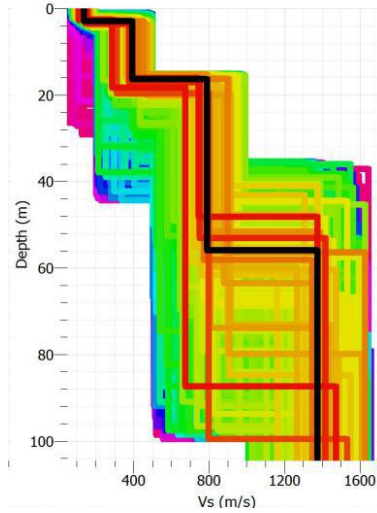
A21



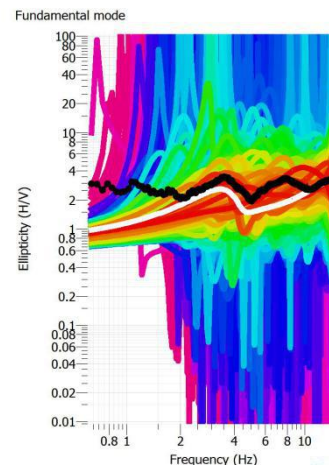
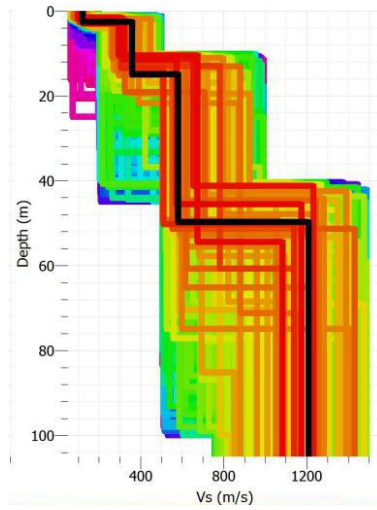
A22



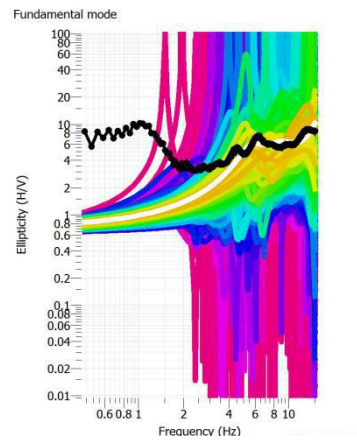
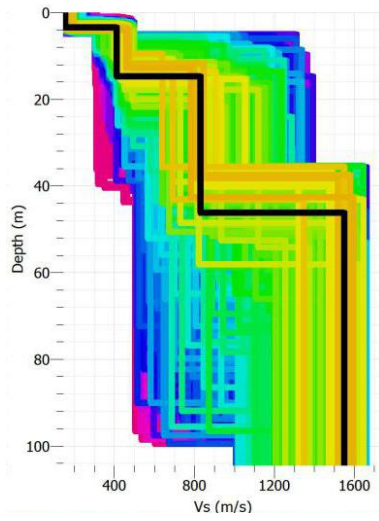
A23



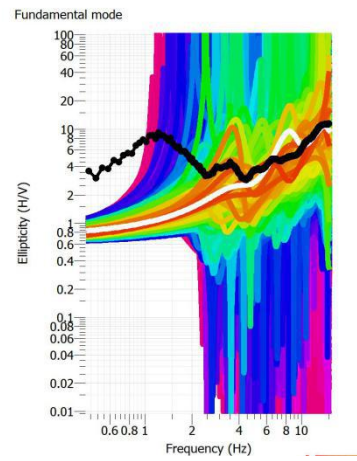
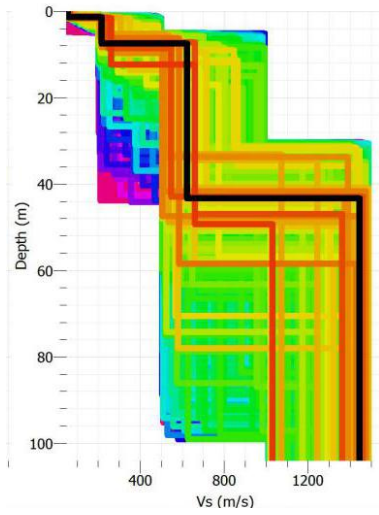
A24



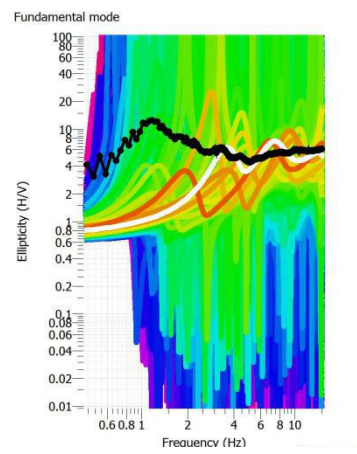
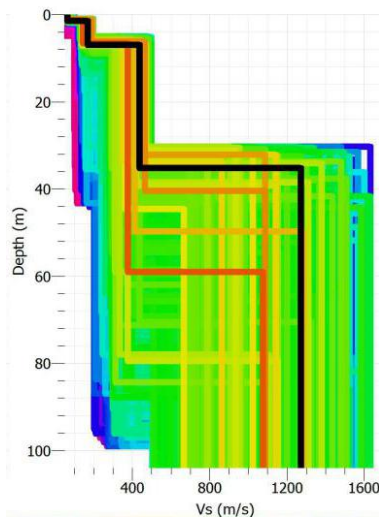
A25



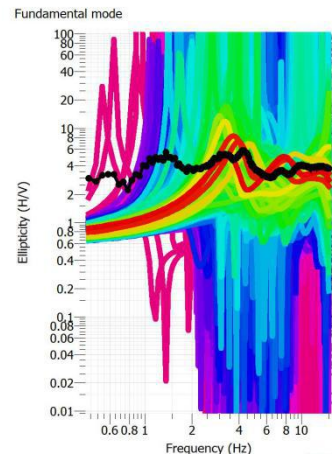
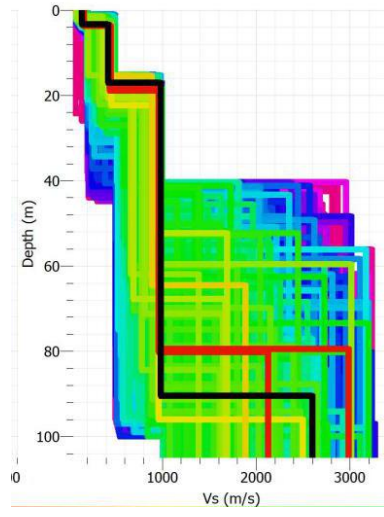
A26



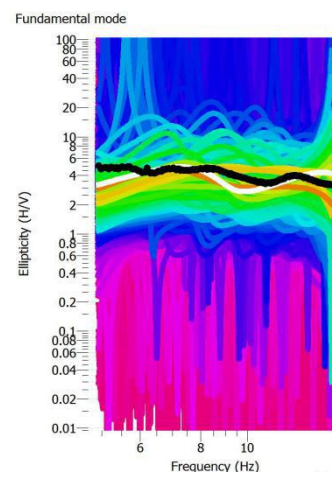
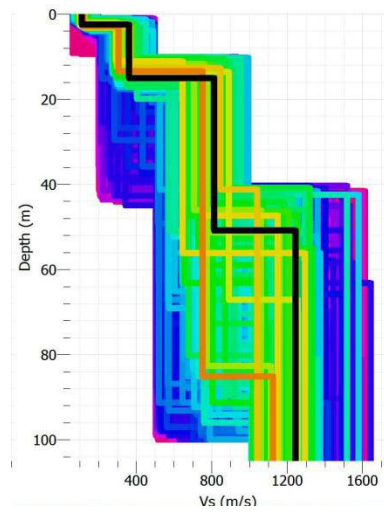
A27



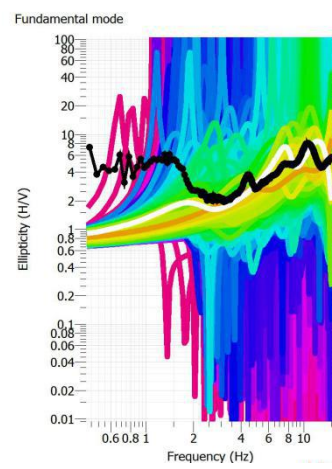
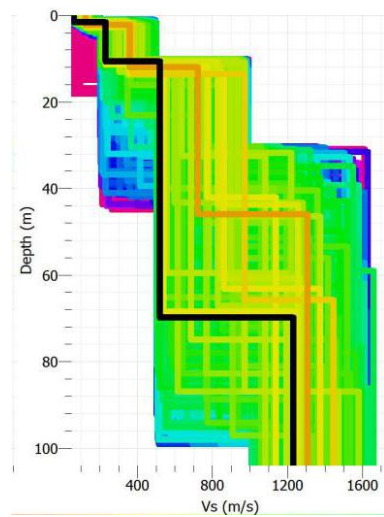
A28



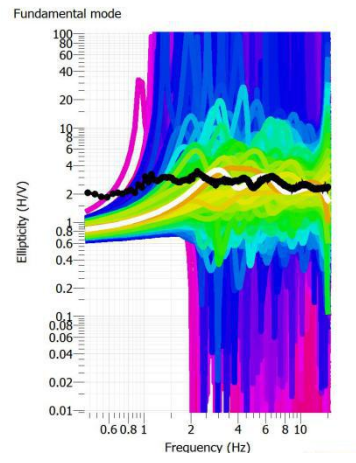
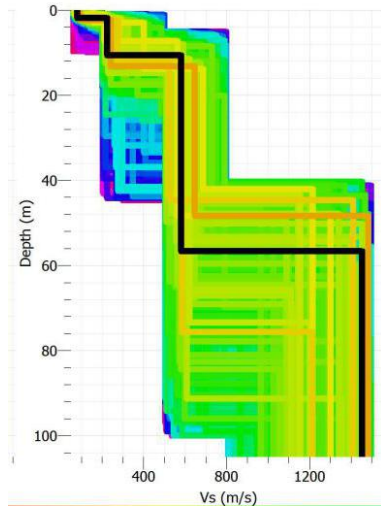
A29



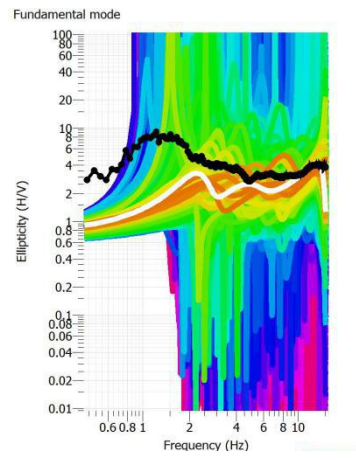
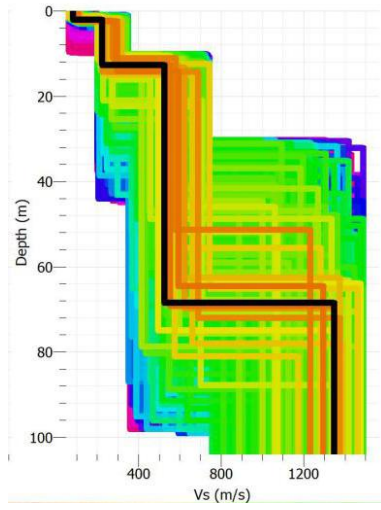
A30



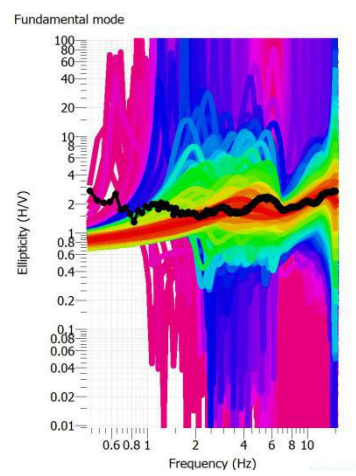
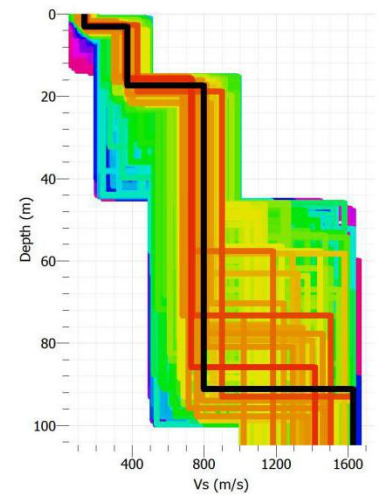
A32



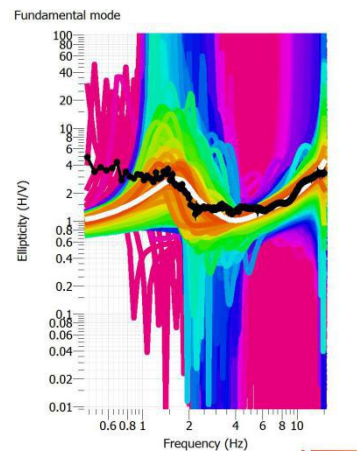
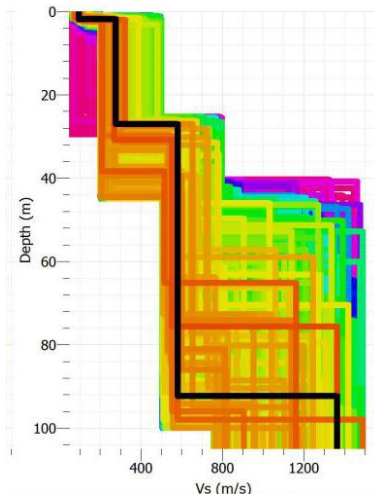
A33



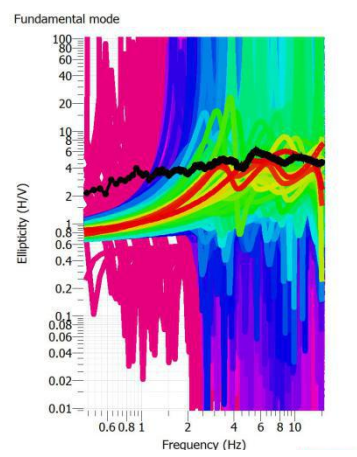
A34



A35



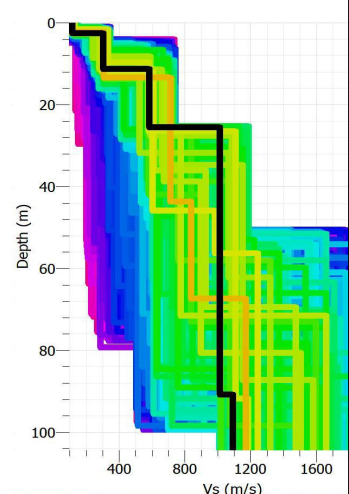
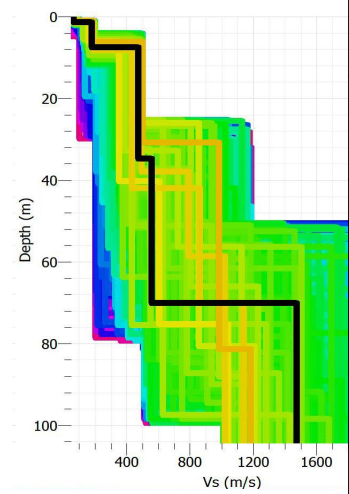
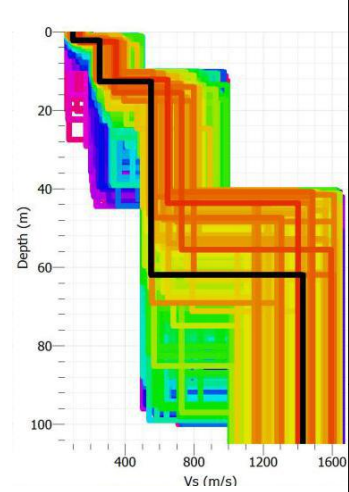
Rk2



LAMPIRAN 3

Hasil Analisis Nilai *Shear-wave Velocity* (v_s) dengan *Dinver*

Titik	Misfit	Gambar	V_s (m/s)	Depth (m)	Lapisan	
					Klasifikasi <i>Site</i>	Jenis
A1	0,24		61,01	1,49	Tanah lunak	Sedimen
			259,05	12,37	Tanah sedang	
			610,10	38,09	Tanah keras dan batuan lunak	
			1072,14	103,96	Batuan	bedrock
A2	0,25		84,72	1,83	Tanah lunak	Sedimen
			300,75	10,72	Tanah sedang	
			737,06	38,66	Tanah keras dan batuan lunak	
			1612,23	104,47	Batuan keras	Bedrock
A3	0,22		106,15	2,91	Tanah lunak	Sedimen
			300,75	16,24	Tanah sedang	
			667,25	67,11	Tanah keras dan batuan lunak	
			1430,77	104,91	Batuan	Bedrock

A4	0,05		117,26	2,60	Tanah lunak	Sedimen
			305,27	11,59	Tanah sedang	
			585,79	25,50	Tanah keras dan batuan lunak	
			1013,42	90,83	Tanah keras dan batuan lunak	
			1093,69	104,31	Batuan	Bedrock
A5	0,24		63,49	1,40	Tanah lunak	Sedimen
			179,87	7,49	Tanah sedang	
			475,32	34,72	Tanah keras dan batuan lunak	
			557,83	70,13	Tanah keras dan batuan lunak	
			1474,12	104,31	Batuan	Bedrock
A6	0,16		98,36	2,26	Tanah lunak	Sedimen
			253,95	12,70	Tanah sedang	
			552,31	61,97	Tanah keras dan batuan lunak	
			1430,77	104,91	Batuan	Bedrock

A7	0,19		79,81	1,91	Tanah lunak	Sedimen
			206,06	11,96	Tanah sedang	
			504,10	55,46	Tanah keras dan batuan lunak	
			1533,98	104,74	Batuan keras	Bedrock
A8	0,07		170,02	3,05	Tanah lunak	Sedimen
			499,57	17,24	Tanah keras dan batuan lunak	
			1164,89	93,19	Batuan	Bedrock
			1334,50	104,91	Batuan	
A9	0,23		66,73	1,68	Tanah lunak	Sedimen
			246,48	10,24	Tanah sedang	
			536,07	49,09	Tanah keras dan batuan lunak	
			1518,79	104,47	Batuan keras	Bedrock

A10	0,21		59,22	1,36	Tanah lunak	Sedimen
			148,89	6,78	Tanah lunak	
			332,22	27,89	Tana sedang	
			525,50	93,59	Tanah keras dan batuan lunak	
			1138,09	104,31	Batuan	Bedrock
A11	0,14		121,22	2,93	Tanah lunak	Sedimen
			335,54	16,41	Tanah sedang	
			751,88	81,07	Batuan	Bedrock
			1628,35	104,91	Batuan keras	
A12	0,17		131,26	2,33	Tanah lunak	Sedimen
			356,18	15,15	Tanah keras dan batuan lunak	
			751,88	59,31	Batuan	Bedrock
			1644,63	104,47	Batuan keras	

A13	0,19		143,56	3,05	Tanah lunak	Sedimen
			378,10	16,08	Tanah keras dan batuan lunak	
			847,23	64,22	Batuan	Bedrock
			1488,86	104,47	Batuan	
A14	0,21		90,83	2,17	Tanah lunak	Sedimen
			244,86	12,96	Tanah sedang	
			553,16	50,29	Tanah keras dan batuan lunak	Bedrock
			1161,99	104,91	Batuan	
A15	0,25		78,24	1,95	Tanah lunak	Sedimen
			244,04	9,27	Tanah sedang	
			654,10	57,56	Tanah keras dan batuan lunak	Bedrock
			1295,26	104,47	Batuan	

A16	0,24		114,95	2,50	Tanah lunak	Sedimen
			291,91	11,16	Tanah sedang	
			610,10	49,79	Tanah keras dan batuan lunak	
			1564,81	104,91	Batuan keras	Bedrock
A17	0,17		86,43	2,24	Tanah lunak	Sedimen
			359,74	15,92	Tanah keras dan batuan lunak	
			805,42	83,53	Batuan	Bedrock
			1220,19	104,91	Batuan	
A18	0,18		67,39	1,68	Tanah lunak	Sedimen
			208,30	10,72	Tanah sedang	
			536,07	64,86	Tanah keras dan batuan lunak	
			1533,98	104,47	Batuan keras	Bedrock

A19	0,20		114,19	2,90	Tanah lunak	Sedimen
			306,80	19,05	Tanah sedang	
			758,74	64,38	Batuan	Bedrock
			1549,32	104,74	Batuan keras	
A20	0,23		52,03	1,27	Tanah lunak	Sedimen
			141,66	7,30	Tanah lunak	
			393,44	38,47	Tanah keras dan batuan lunak	Bedrock
			926,61	103,96	Batuan	
A21	0,26		71,54	1,82	Tanah lunak	Sedimen
			232,19	11,08	Tanah sedang	
			647,63	60,15	Tanah keras dan batuan lunak	Bedrock
			1382,82	104,91	Batuan	

A22	0,13		104,41	1,97	Tanah lunak	Sedimen
			274,99	9,84	Tanah sedang	
			687,47	45,98	Tanah keras dan batuan lunak	
			1576,52	104,91	Batuan keras	Bedrock
A23	0,14		139,34	2,99	Tanah lunak	Sedimen
			393,44	16,45	Tanah keras dan batuan lunak	
			790,23	55,87	Batuan	Bedrock
			1374,94	104,47	Batuan	
A24	0,16		120,02	2,63	Tanah lunak	Sedimen
			359,74	14,89	Tanah keras dan batuan lunak	
			580,48	49,79	Tanah keras dan batuan lunak	
			1209,17	104,91	Batuan	Bedrock

A25	0,29		154,55	3,40	Tanah lunak	Sedimen
			412,48	14,79	Tanah keras dan batuan lunak	
			830,54	46,25	Batuan	Bedrock
			1549,32	104,47	Batuan keras	
A26	0,29		56,34	1,33	Tanah lunak	Sedimen
			216,57	7,52	Tanah sedang	
			622,36	43,35	Tanah keras dan batuan lunak	Bedrock
			1445,08	103,96	Batuan	
A27	0,31		64,12	1,50	Tanah lunak	Sedimen
			169,45	7,01	Tanah lunak	
			438,95	35,18	Tanah keras dan batuan lunak	Bedrock
			1274,03	103,96	Batuan	

A28	0,20		143,56	3,30	Tanah lunak	Sedimen
			426,04	17,07	Tanah keras dan batuan lunak	
			983,61	90,45	Batuan	Bedrock
			2599,27	104,91	Batuan keras	
A29	0,08		111,94	2,45	Tanah lunak	Sedimen
			363,34	15,04	Tanah keras dan batuan lunak	
			814,17	50,79	Batuan	Bedrock
			1244,72	104,91	Batuan	
A30	0,22		61,62	1,60	Tanah lunak	Sedimen
			229,89	10,62	Tanah sedang	
			520,30	69,89	Tanah keras dan batuan lunak	Bedrock
			1232,39	103,96	Batuan	

A32	0,12		80,61	1,87	Tanah lunak	Sedimen
			225,37	10,65	Tanah sedang	
			580,48	56,66	Tanah keras dan batuan lunak	
			1453,36	104,91	Batuan	Bedrock
A33	0,23		82,23	2,13	Tanah lunak	Sedimen
			223,13	12,70	Tanah sedang	
			526,31	68,51	Tanah keras dan batuan lunak	
			1349,03	103,96	Batuan	Bedrock
A34	0,06		133,90	3,05	Tanah lunak	Sedimen
			374,35	17,41	Tanah keras dan batuan lunak	
			798,13	91,21	Batuan	Bedrock
			1628,35	104,74	Batuan	

A35	0,11		95,47	1,89	Tanah lunak	Sedimen
			277,74	27,07	Tanah sedang	
			580,48	92,27	Tanah keras dan batuan lunak	
			1362,52	104,91	Batuan	Bedrock
RK2	0,20		123,97	2,93	Tanah lunak	Sedimen
			319,25	12,08	Tanah sedang	
			647,63	40,40	Tanah keras dan batuan lunak	
			1244,72	104,91	Batuan	Bedrock

LAMPIRAN 4
Data Hasil Penelitian

Titik	Easting	Northing	Elevation	f_o	A_o	v_s	v_b	$K_g \times 10^{-6}$	GSS x 10^{-4}
A1	410407	9143259	154	12,68	11,42	310,05	1072,1	0,973	0,58
A2	410621	9143260	180	6,29	9,93	374,18	1612,2	0,986	0,59
A3	410835	9143260	155	1,85	6,08	358,05	1430,7	1,42	0,85
A4	411019	9143260	127	5,02	5,5	336,11	1013,4	0,603	0,37
A5	411203	9143261	114	6,98	6,83	319,13	1474,1	0,46	0,28
A6	410387	9143048	156	4,34	6,27	301,54	1430,7	0,642	0,39
A7	410591	9143045	194	2,34	7,85	263,32	1533,9	1,74	1,07
A8	410827	9143040	183	9,07	4,72	334,79	1164,8	0,214	0,13
A9	411020	9143045	151	1,32	7,53	283,09	1518,7	2,87	1,80
A10	411203	9143046	132	1,27	6,96	266,48	1138,0	3,4	2,13
A11	410407	9142860	176	2,98	3,7	228,38	751,88	0,62	0,39
A12	410591	9142860	245	4,24	4,67	243,72	751,88	0,694	0,43
A13	410778	9142812	253	1,07	4,23	260,83	847,23	2	1,23
A14	411020	9142861	174	1,32	6,98	296,28	1161,9	3,22	2,02
A15	411204	9142861	141	1,17	7,45	325,46	1295,2	3,71	2,32
A16	410414	9142653	158	1,07	6,59	338,99	1564,8	2,63	1,65
A17	410625	9142641	216	13,02	9,2	223,08	805,42	0,819	0,51
A18	410806	9142676	265	6,24	4,55	270,59	1533,9	0,219	0,14
A19	411020	9142677	175	3,02	4,88	210,49	758,74	1,05	0,66
A20	411204	9142677	151	1,12	8,15	195,71	926,61	6,49	4,07
A21	410408	9142461	132	1,17	8,99	317,12	1382,8	5,07	3,18
A22	410622	9142461	211	4,49	5,73	355,62	1576,5	0,47	0,29
A23	410806	9142461	241	1,02	3,68	266,39	790,23	1,7	1,05
A24	411051	9142400	178	3,56	3,5	353,41	1209,1	0,289	0,18
A25	411174	9142462	147	1,07	10,31	283,51	830,54	12,1	7,58
A26	410414	9142236	146	14,98	11,51	298,42	1445,0	0,621	0,39
A27	410592	9142277	145	1,22	12,54	224,17	1274,0	10,3	6,35
A28	410807	9142246	173	4,24	5,84	284,8	983,61	0,829	0,51
A29	411021	9142278	180	4,98	5,03	237,64	814,17	0,633	0,40
A30	411205	9142278	129	10,63	8,09	270,6	1232,3	0,507	0,32
A32	410593	9142123	141	2,24	3,49	295,49	1453,3	0,379	0,24
A33	410736	9142081	129	1,27	9,16	277,22	1349,0	4,97	3,17
A34	411019	9142022	125	5,71	2,37	254,12	798,13	0,125	0,08
A35	411205	9142063	116	0,49	4,9	317,9	1362,5	3,65	2,36
RK2	410683	9143014	208	5,71	6,21	363,62	1244,7	0,55	0,36

Keterangan *Datasheet*

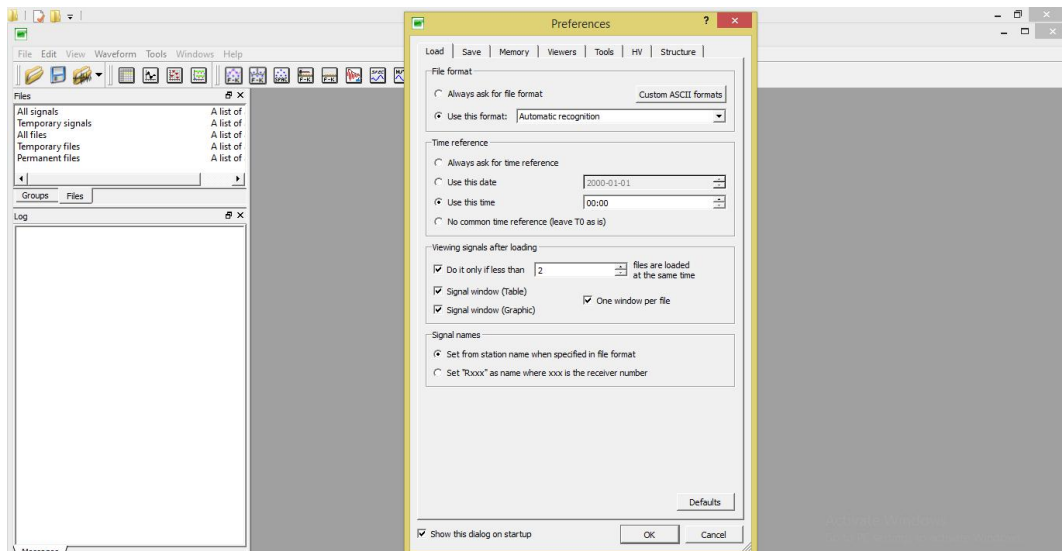
1. f_0 merupakan nilai frekuensi dominan yang diperoleh dari kurva H/V.
2. A_0 merupakan nilai faktor amplifikasi yang diperoleh dari kurva H/V.
3. v_s merupakan nilai kecepatan gelombang geser di lapisan sedimen yang diperoleh dari hasil *ground profile* pada *Dinver*.
4. v_b merupakan nilai kecepatan gelombang geser di lapisan dasar atau *bedrock* diperoleh dari hasil *ground profile* pada *Dinver*.
5. K_g merupakan nilai indeks kerentanan seismik.
6. GSS merupakan nilai *ground shear strain*.

LAMPIRAN 5

Langkah - Langkah Pengolahan Sinyal Mikrotremor

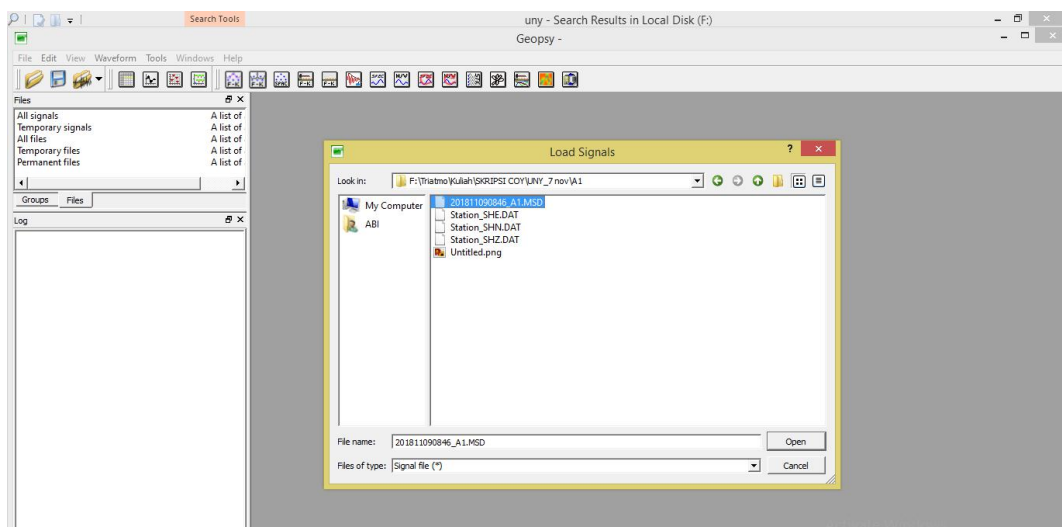
A. Pengolahan Sinyal Mikrotremor dengan *Software Geopsy*

1. Buka *software Geopsy* kemudian klik OK pada jendela *preferences*.



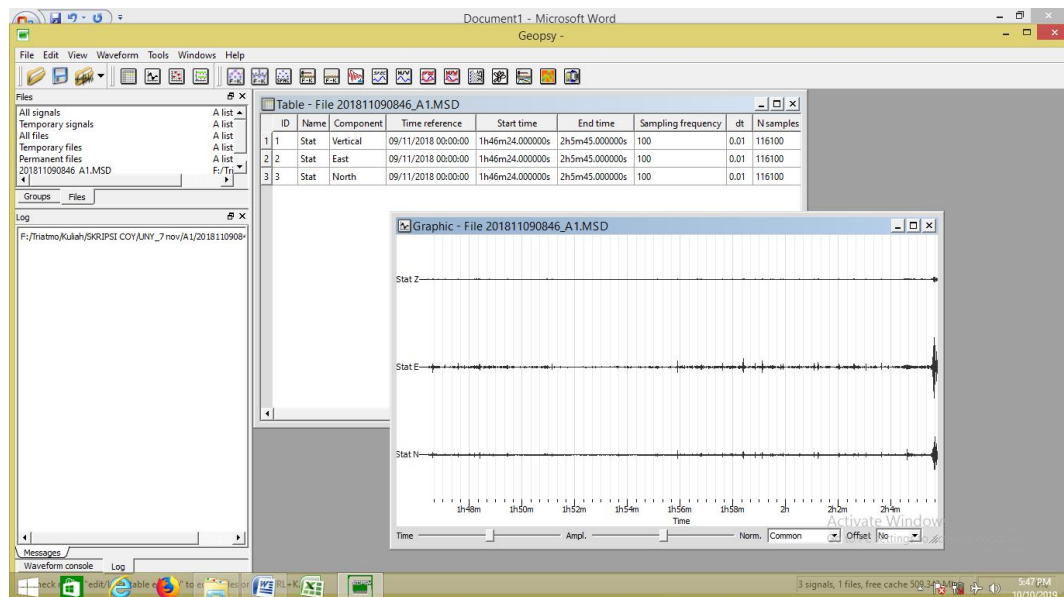
Gambar L 1. Tampilan jendela *Preferences*

2. Masukkan sinyal mikrotremor dengan cara klik *Import Signal* kemudian memilih data yang sudah tersimpan dalam format *.MSD*.



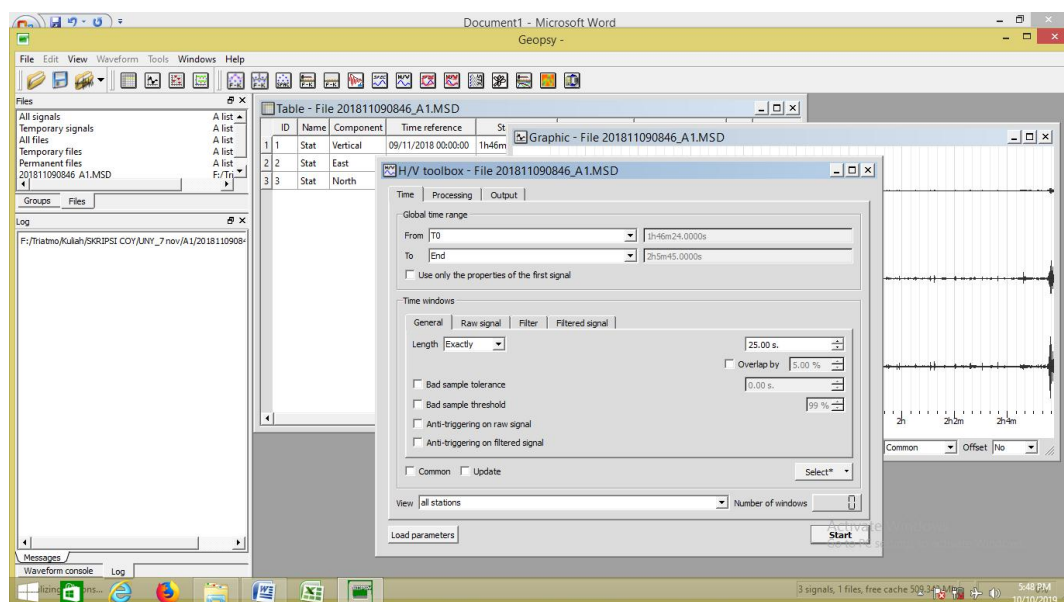
Gambar L 2. Tampilan proses *Import Signals*

3. Data yang telah di *import* akan muncul seperti pada Gambar L3.



Gambar L 3. Tampilan sinyal yang telah di *import* pada *software* Geopsy

4. Klik H/V pada *toolbar*, untuk *Length Window* dipilih 20 detik, kemudian klik *Start* lalu klik *Add* untuk memulai *windowing*.

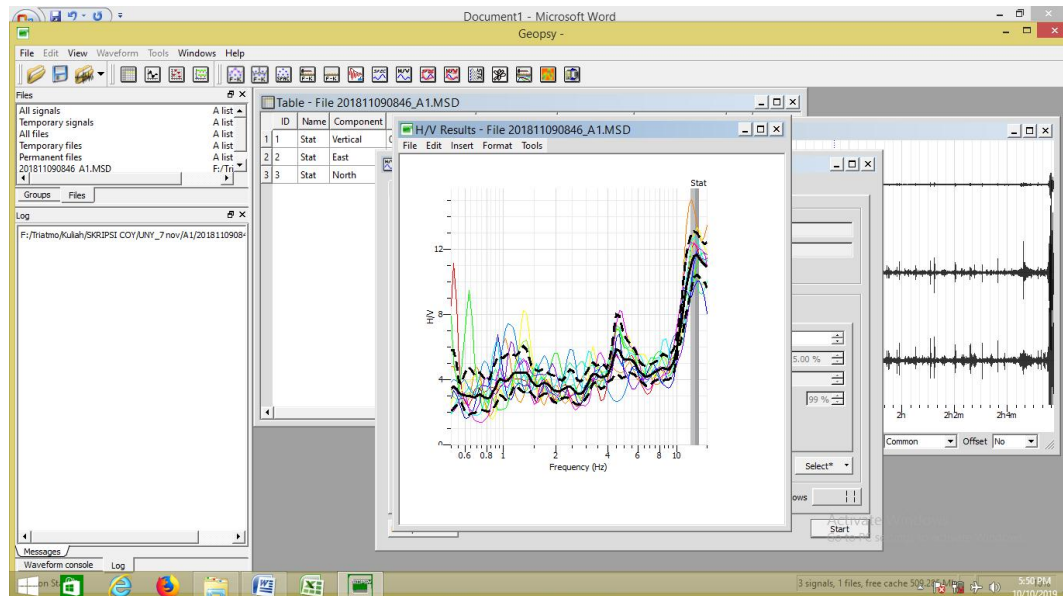


Gambar L 4. Tampilan pengaturan pada H/V *Toolbox*

5. Melakukan *windowing* sebanyak 10-12 *window*, kemudian kembali ke menu H/V *toolbox* pilih *Output* klik *Frequency Sampling* (dari 0,5 Hz hingga 15

Hz atau 20 Hz). Sedangkan pada bagian *Processing* pilih *Konno Omachi*, klik *Smoothing* 40,00 dan *Horizontal Components* pilih *Square Average*.

6. Pilih *Start* hingga muncul hasil pengolahan sinyal mikrotremor menjadi kurva H/V seperti pada Gambar L5.



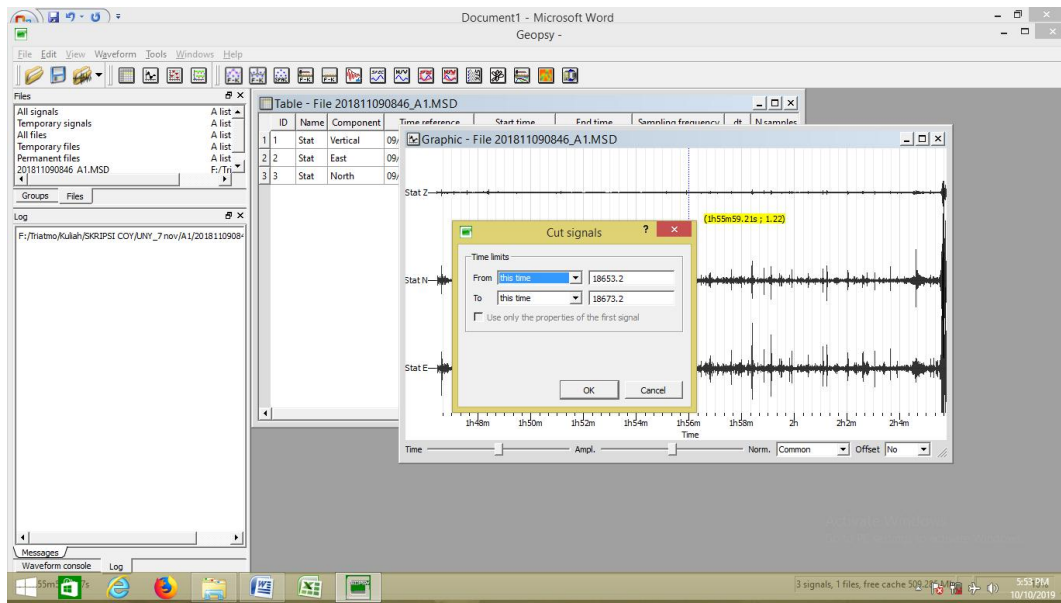
Gambar L 5. Tampilan Kurva H/V

7. Kurva H/V disimpan dengan cara memilih menu *Tools*, klik *Save Result* atau bisa dengan klik kanan pada kurva H/V pilih *Properties* kemudian *Save Layer*. File disimpan dalam format *.hv*.

B. *Cutting* Sinyal Mikrotremor dengan *Software Geopsy* dan *Command Prompt*


1. Buka sinyal mikrotremor yang akan di *Cutting*.
2. Pilih menu *Waveform* klik *Cut* atau menekan tombol *Ctrl+Alt+C*. Pada jendela *Cut Signals*, pada *Time Level* pilih *from this time* dan *to this time* agar bisa diisi batasan waktu sinyal yang ingin di *Cutting* seperti pada

Gambar L6. Pengisian waktu tersebut disesuaikan dengan waktu pada sebuah *window* yang dipilih saat melakukan pengolahan kurva H/V kemudian klik *OK*.



Gambar L 6. Tampilan jendela *Cut Signals*

3. Simpan hasil *Cutting* tersebut dengan klik menu *File* kemudian *Export* pilih format penyimpanan *file Ascii multi columns (no header)* kemudian klik *OK*.
4. Pilih lokasi dan nama *file* yang akan disimpan lalu klik *Save*.
5. Lakukan langkah 1 sampai 4 pada semua *window* yang dipilih dalam pengolahan sinyal mikrotremor.
6. Setelah proses *Cutting* selesai, dilakukan proses penggabungan *file* dengan *Command Prompt*. Buka *Command Prompt* kemudian ubah direktori ke lokasi *file-file* hasil *Cutting* tersimpan.

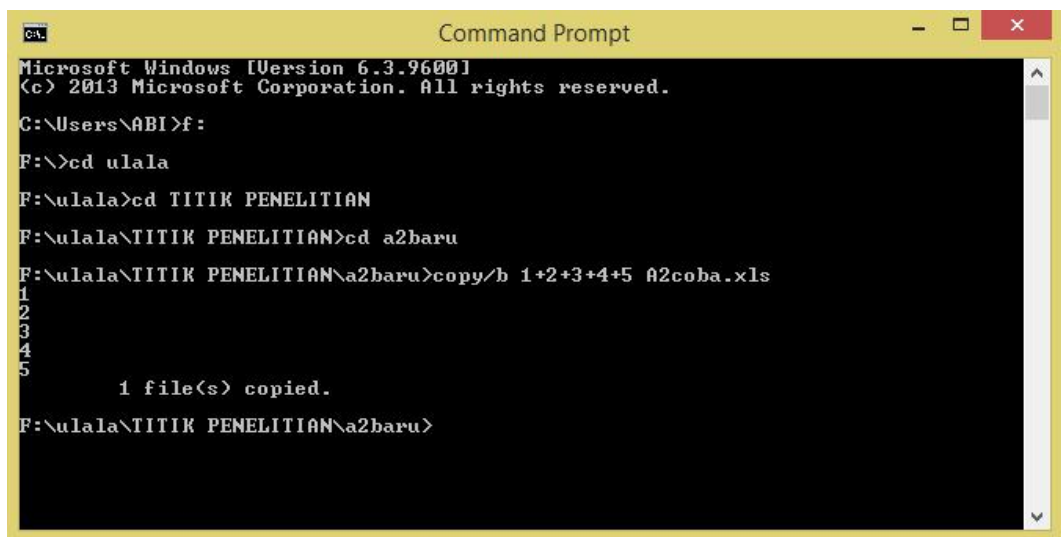


```
Microsoft Windows [Version 6.3.9600]
(c) 2013 Microsoft Corporation. All rights reserved.

C:\Users\ABI>f:
F:\>cd ulala
F:\ulala>cd TITIK PENELITIAN
F:\ulala\TITIK PENELITIAN>cd a2baru
F:\ulala\TITIK PENELITIAN\ a2baru>
```

Gambar L 7. Tampilan perubahan direktori pada *Command Prompt*

7. Ketik program penggabungan *file* dengan `copy/b` (spasi) nama *file* pertama+nama *file* kedua+nama *file* ketiga+...+nama *file* terakhir (spasi) nama *file* yang akan disimpan. Hasil penggabungan dalam format `.xls`.
8. Setelah selesai, klik *Enter* maka *file* gabungan akan masuk ke direktori yang sama dengan lokasi *file* - *file hasil Cutting*.



```
Microsoft Windows [Version 6.3.9600]
(c) 2013 Microsoft Corporation. All rights reserved.

C:\Users\ABI>f:
F:\>cd ulala
F:\ulala>cd TITIK PENELITIAN
F:\ulala\TITIK PENELITIAN>cd a2baru
F:\ulala\TITIK PENELITIAN\ a2baru>copy/b 1+2+3+4+5 A2coba.xls
1
2
3
4
5
1 file(s) copied.
F:\ulala\TITIK PENELITIAN\ a2baru>
```

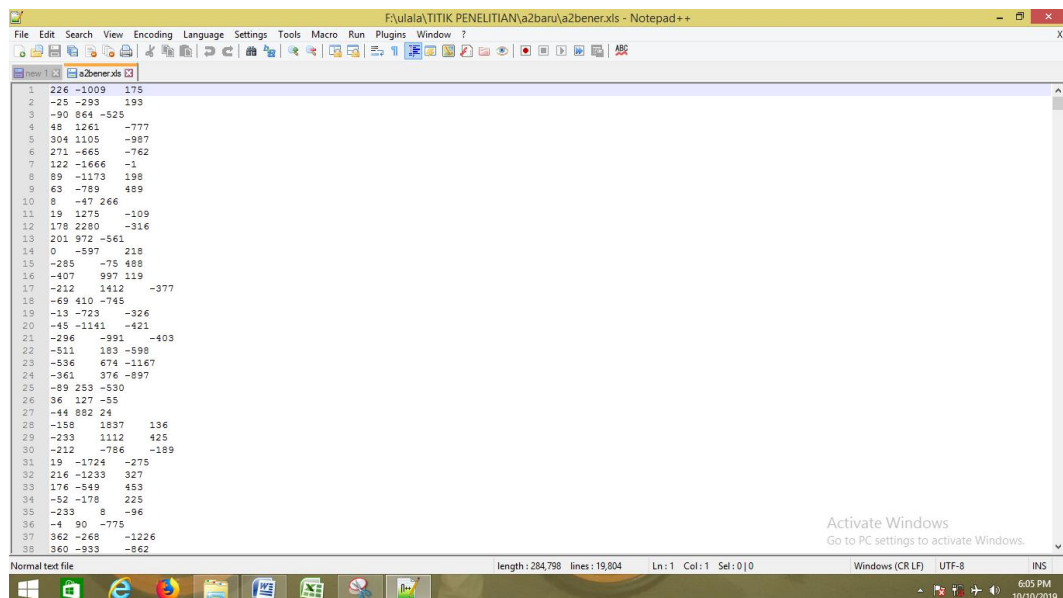
Gambar L 8. Tampilan penulisan program penggabungan *file*

9. *File* yang telah di *Cutting* kemudian dibuka di *Microsoft Excel* untuk dilakukan pengecekan sinyal mikrotremor. Sinyal mikrotremor terdiri dari

tiga komponen, yaitu vertikal (V), barat - timur (E), dan utara - selatan (N). Setiap komponen dicari nilai maksimumnya, kemudian setiap nilai maksimum dikalikan dengan nilai 0,003. Apabila data mikrotremor baik, maka nilai akan menunjukkan <10, apabila ada nilai yang >10 maka dilakukan *windowing* dan *cutting* ulang.

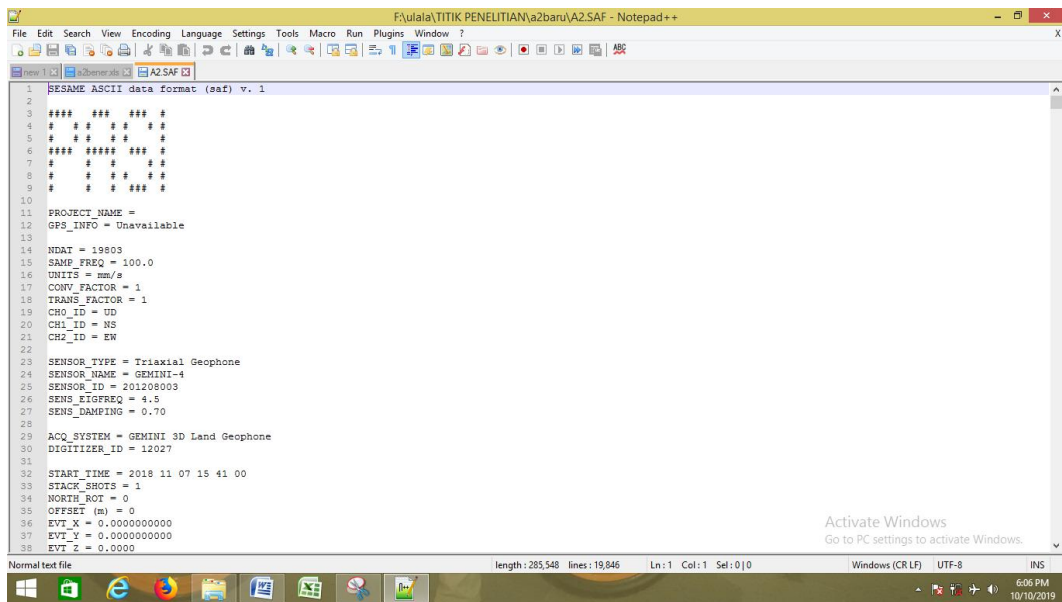
C. Pengolahan Sinyal Mikrotremor dengan *Open HVSR*

1. Mengubah sinyal *Ascii* format *.xls* hasil penggabungan kedalam format *.SAF* dengan *software Notepad++*.
2. Membuka file *Ascii* format *.xls* dengan *software Notepad++*.



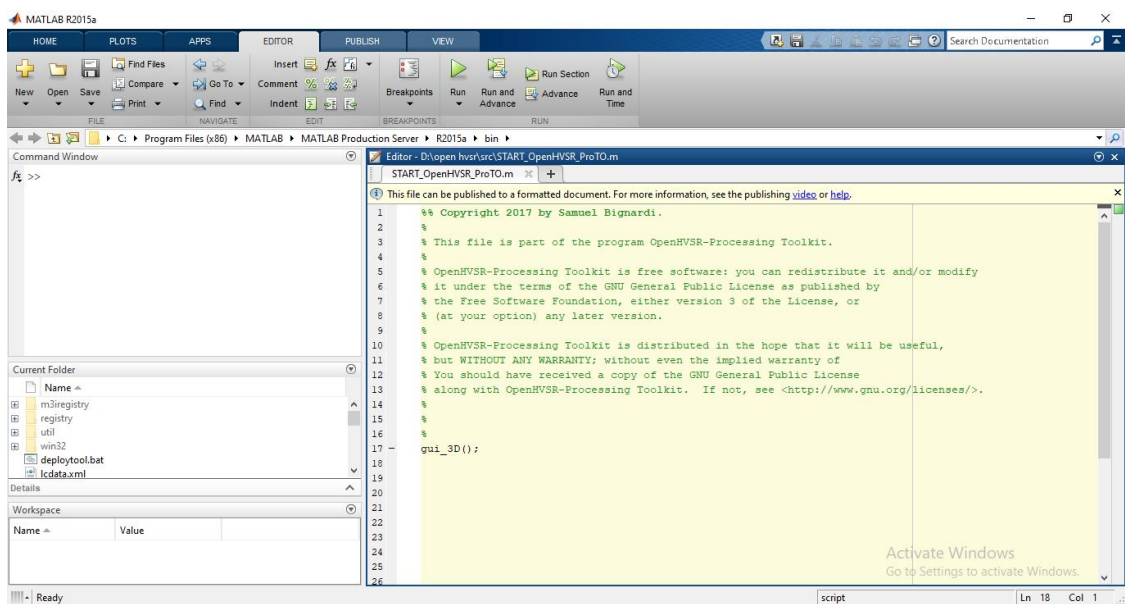
Gambar L 9. Tampilan data format *.xls* pada Notepad++

3. *Copy* data sinyal ke dalam data *Ascii* dengan format *.SAF* seperti gambar berikut :



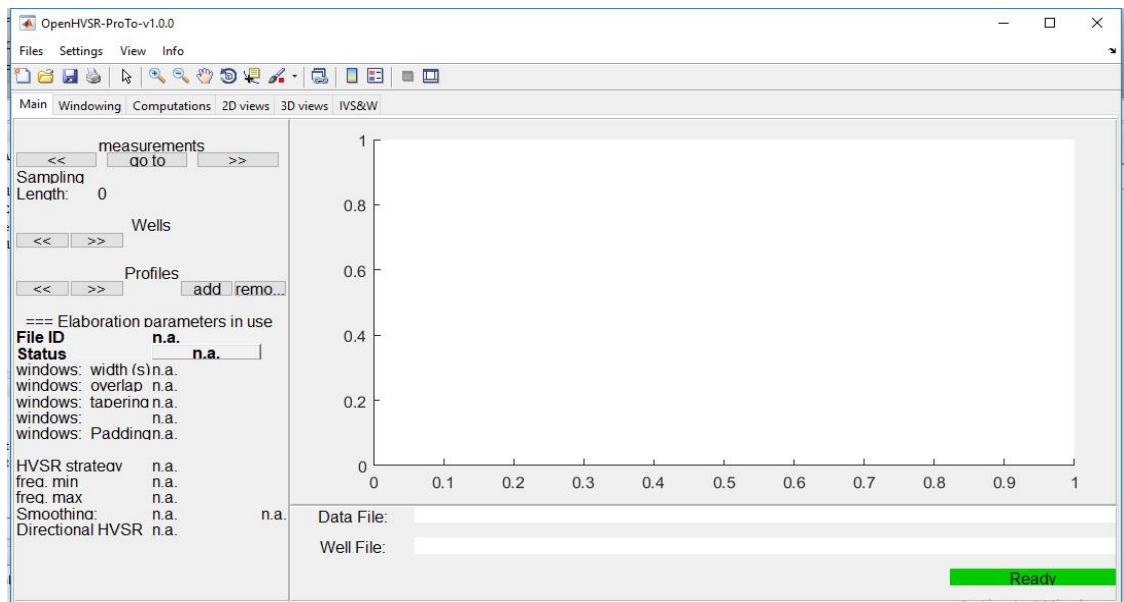
Gambar L 10. Tampilan data format *.saf* pada Notepad++

4. Setelah selesai, *save as* dalam format *.saf*.
5. Membuka software *Matlab 2015*, kemudian menjalankan program *OpenHVSR_ProTo.m* dan akan muncul tampilan sebagai berikut :



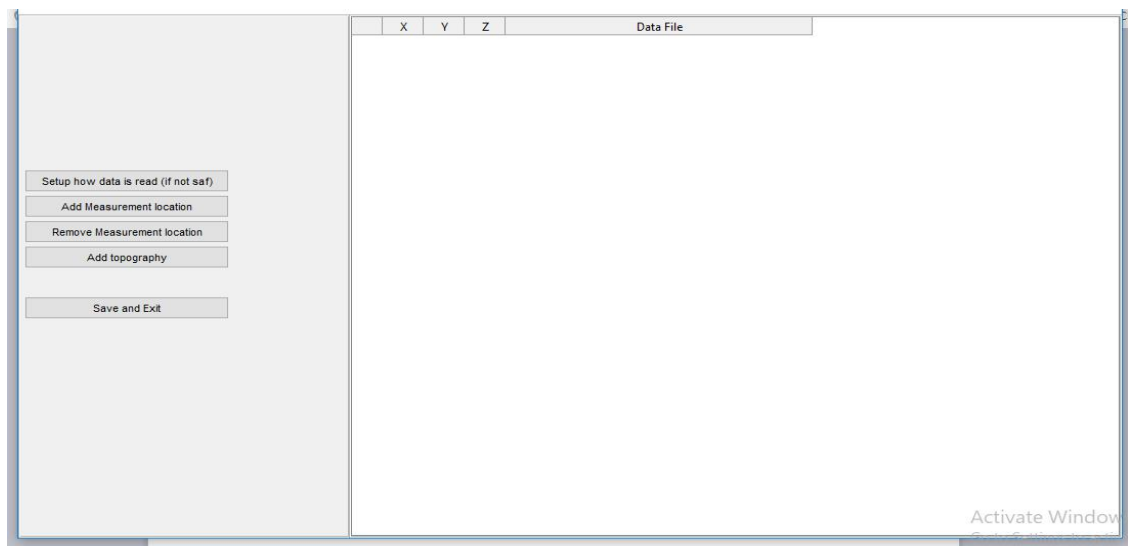
Gambar L 11. Tampilan awal program *OpenHVSR_ProTo.m*

6. Menjalankan program *OpenHVSR_ProTo.m* dengan klik *run* pada jendela *editor*.



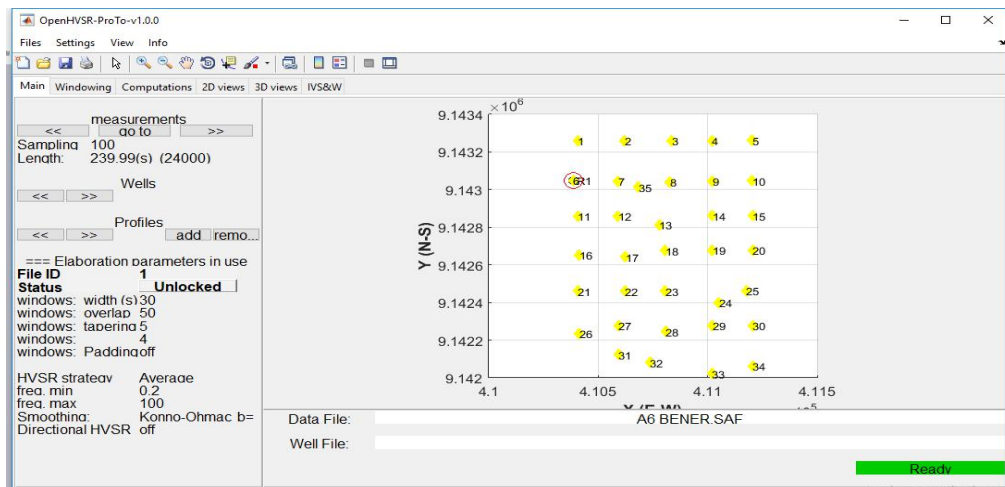
Gambar L 12. Tampilan hasil *run* pada program *OpenHVSr_ProTo.m*

7. *Create project* pada jendela file, maka akan muncul tampilan seperti gambar berikut:



Gambar L 13. Tampilan *Create project* pada program *OpenHVSr_ProTo.m*

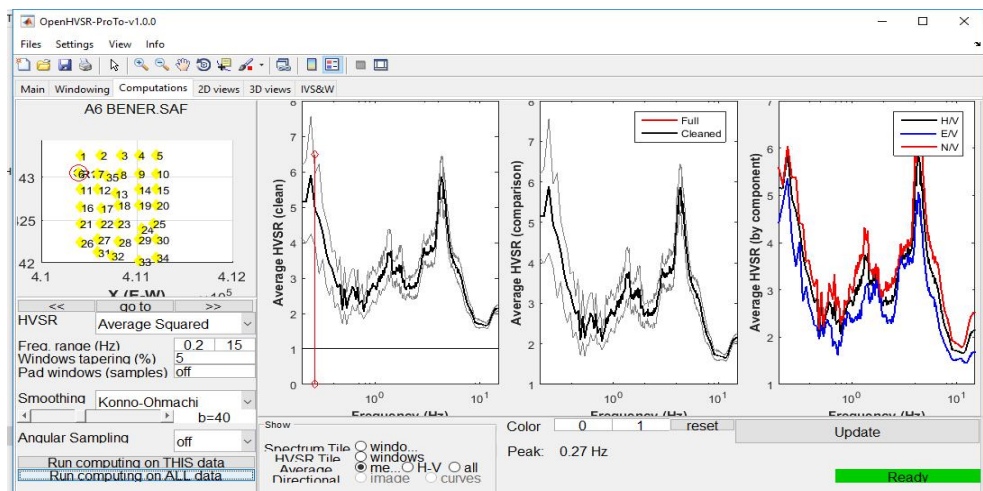
8. *Input* koordinat lokasi titik pengukuran, file *.SAF* dan data topografi daerah penelitian. Kemudian *save and exit*, file yang disimpan akan ditampilkan dengan format *.M*.
9. *Load project* dengan format *.m* pada jendela file.



Gambar L 14. Tampilan hasil *Load project*

10. *Input* parameter pada *windowing* dan *computations*, sesuaikan dengan parameter pada *software Geopsy*.

11. Diperoleh bentuk kurva seperti gambar berikut:



Gambar L 15. Tampilan kurva H/V

12. Menyimpan data dengan *Save HVSr curve* pada jendela file. File akan disimpan dalam format *.hv*.

13. Membuka hasil *output file* program *OpenHVSr_ProTo.m* format *.hv* hasil pengolahan dengan *software Notepad++* untuk memperoleh nilai frekuensi dominan dan faktor amplifikasi titik penelitian.

```

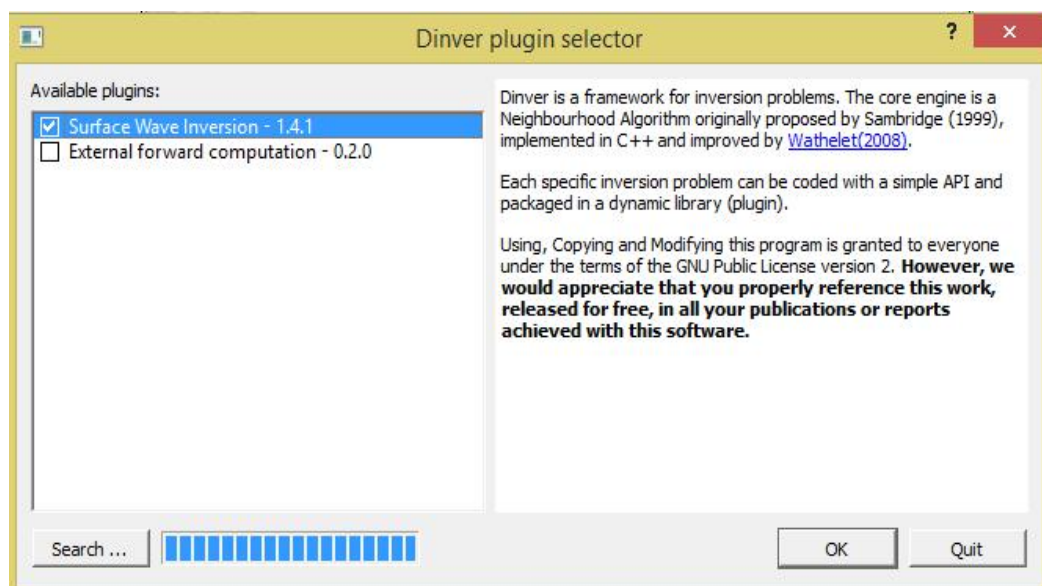
1 # OpenHVSR-ProTo, v1.0.0: HVSR output
2 # Original data file: A6 BENER.SAF
3 #
4 #
5 # ===== INFO =====
6 # Number of windows = 16
7 # Number of windows considered = 16
8 # Automatic peak: f0 = 4.34
9 # Automatic peak: Amplitude = 6.27
10 # Manual peak: f0 = n.a.
11 # Manual peak: Amplitude = n.a.
12 #
13 #
14 # ===== PROCESSING PARAMETERS =====
15 # windows width (seconds) = 15.00
16 # windows overlap (%) = 0.00
17 # windows tapering (%) = 5.00
18 # frequency delta (Hz) = 0.048780
19 # STA/LTA = 2.500000
20 # windows pad: off
21 # HV Ratio strategy: Average Squared
22 # smoothing strategy: Konno-Ohmachi
23 # smoothing constant: b=40
24 #
25 #
26 # ===== DEFINITIONS =====

```

Gambar L 16. Tampilan hasil output file program dalam format *.hv*

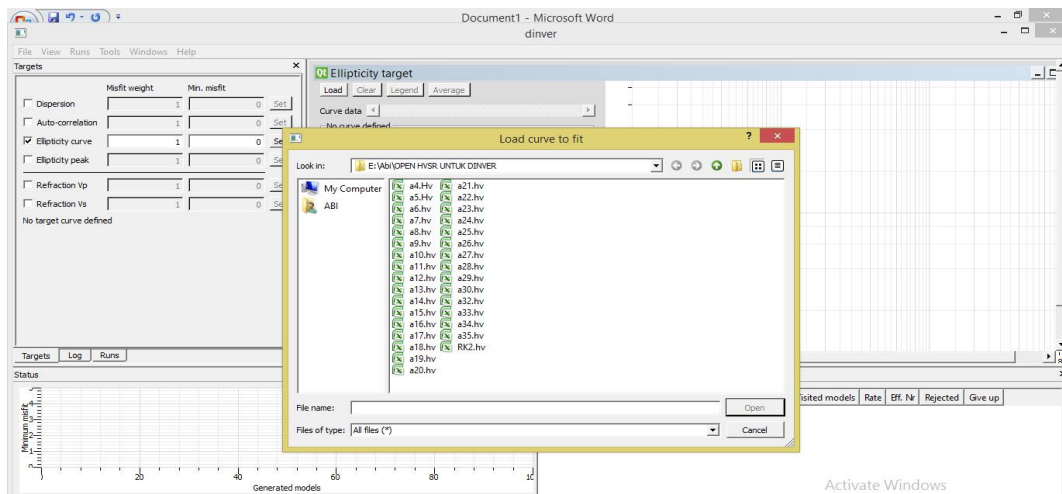
D. Pengolahan Kurva H/V untuk menentukan nilai v_s dengan Program Dinver

1. Buka program Dinver maka akan muncul *Dinver Plugin Selector*, *Surface Wave Inversion* kemudian klik *OK*.



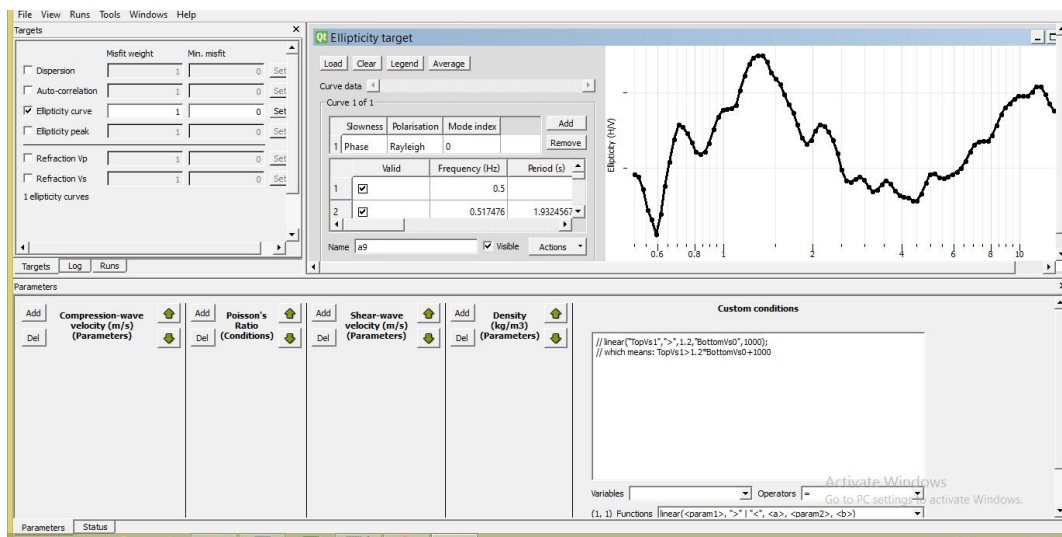
Gambar L 17. Tampilan awal program Dinver

2. Pilih metode *Ellipticity Curve* akan muncul *Ellipticity Target* kemudian *Load* pilih *Open* untuk membuka data kurva H/V lalu klik *OK*.



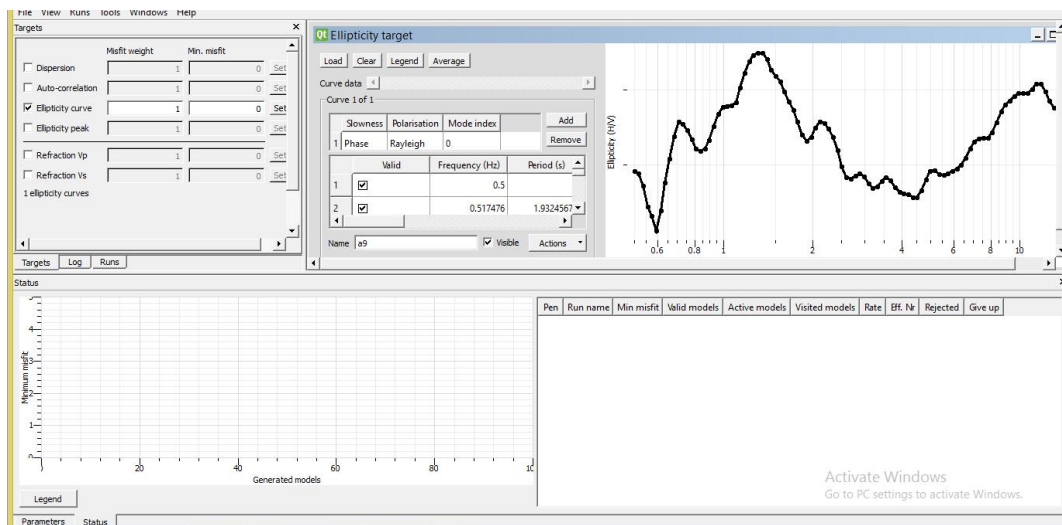
Gambar L 18. tampilan memasukkan data kurva H/V untuk diolah

3. Mengisi parameter seperti : *Compression-wave velocity* (v_p), *Shear-wave velocity* (v_s), *Poisson ratio*, dan *Density*. Pengisian parameter disesuaikan dengan kondisi geologi di lokasi penelitian.



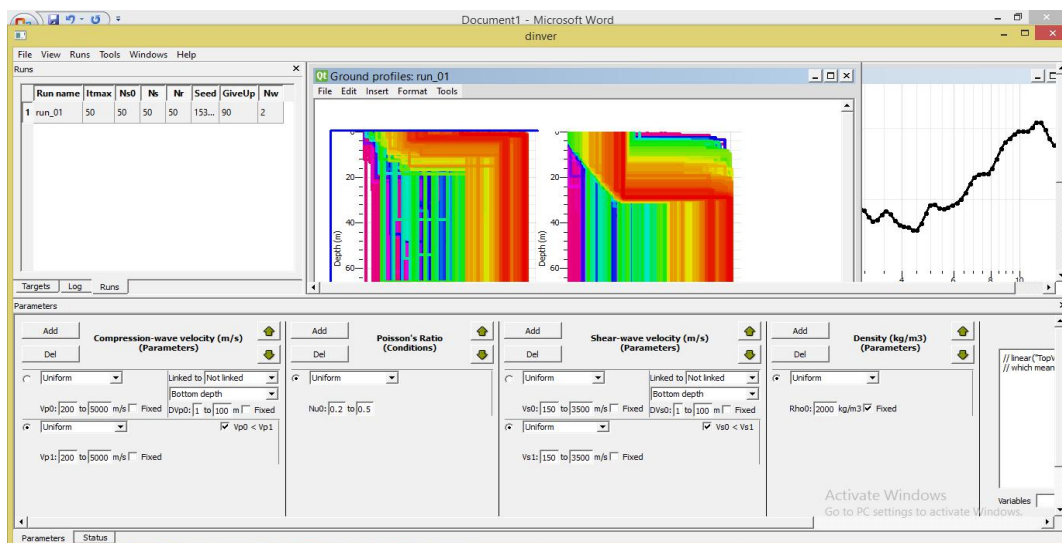
Gambar L 19. Tampilan pengisian parameter

4. Pilih menu *Runs* kemudian *Add* untuk memulai inversi.
5. Buka jendela *Status* untuk melihat proses *running* kemudian pilih menu *Runs* klik *Start*.



Gambar L 20. Tampilan jendela *Status*

6. Tunggu sampai proses *running* selesai, sehingga diperoleh grafik perolehan nilai *misfit* akhir.
7. Pilih menu *View* lalu *Ground Profiles* akan muncul *Ground Profile Viewer* ditampilkan dua profil yaitu v_p dan v_s kemudian cek *misfit* maksimal sebesar 1 didapatkan informasi jumlah lapisan bawah permukaan beserta nilai v_s .



Gambar L 21. Tampilan *Ground Profiles*

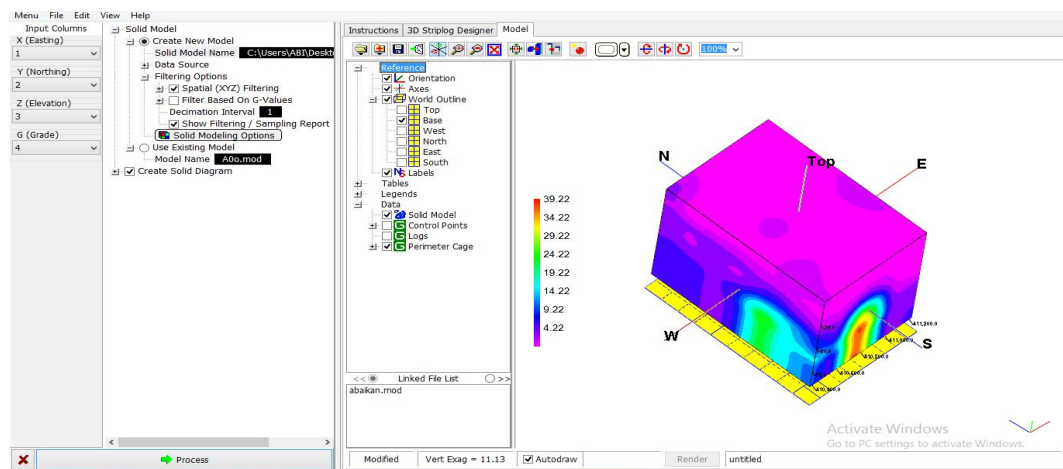
E. Proses Pemodelan 3D Penampang Seismik

1. Membuka *software* Rockwork 15, buka jendela *Utilities* kemudian *input* data pada kolom berupa data koordinat *easting* dan *northing*, nilai kedalaman lapisan dan nilai amplifikasi atau indeks kerentanan seismik (model yang ingin dibuat).

Row#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	410407	9143259	-37.83349115	6.27185												
2	410407	9143259	-36.95363329	6.10274												
3	410407	9143259	-36.11378621	5.47636												
4	410407	9143259	-35.31124922	5.991												
5	410407	9143259	-34.54362089	5.09427												
6	410407	9143259	-33.80864254	4.89788												
7	410407	9143259	-33.10430274	4.4153												
8	410407	9143259	-32.42869766	4.82879												
9	410407	9143259	-31.78013008	4.58529												
10	410407	9143259	-31.15969377	4.72324												
11	410407	9143259	-30.55781691	4.12375												
12	410407	9143259	-29.9812483	3.61732												
13	410407	9143259	-29.42604548	3.75228												
14	410407	9143259	-28.89102089	3.29748												
15	410407	9143259	-28.3751149	3.40013												
16	410407	9143259	-27.87730068	3.54099												
17	410407	9143259	-27.39666232	3.43874												
18	410407	9143259	-26.93230727	4.02617												
19	410407	9143259	-26.48343993	3.95992												
20	410407	9143259	-26.04828065	3.92378												
21	410407	9143259	-25.62913513	4.67174												
22	410407	9143259	-25.22231923	5.01467												

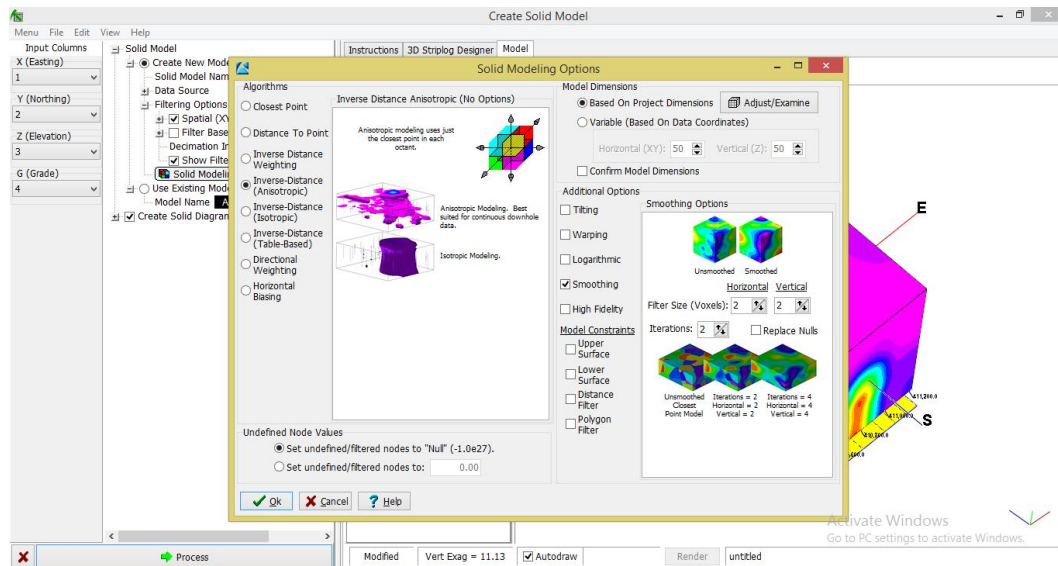
Gambar L 22. Tampilan awal pengisian *datasheet* pada pemodelan 3D

2. Klik *scan datasheet* kemudian mengatur *input column* X, Y, dan Z sesuai data yang di *input*.
3. Untuk membuat pemodelan 3D, klik menu *Solid Model* lalu atur *Input Column* X, Y, Z dan G sesuai data yang di *input*.



Gambar L 23. Tampilan pada menu *solid model*

4. Klik *Option* pada *Filtering Option* lalu atur *Modeling Methods* dan *Additional Options* sesuai kebutuhan lalu klik *Process*.



Gambar L 24. Tampilan menu pengaturan pemilihan model

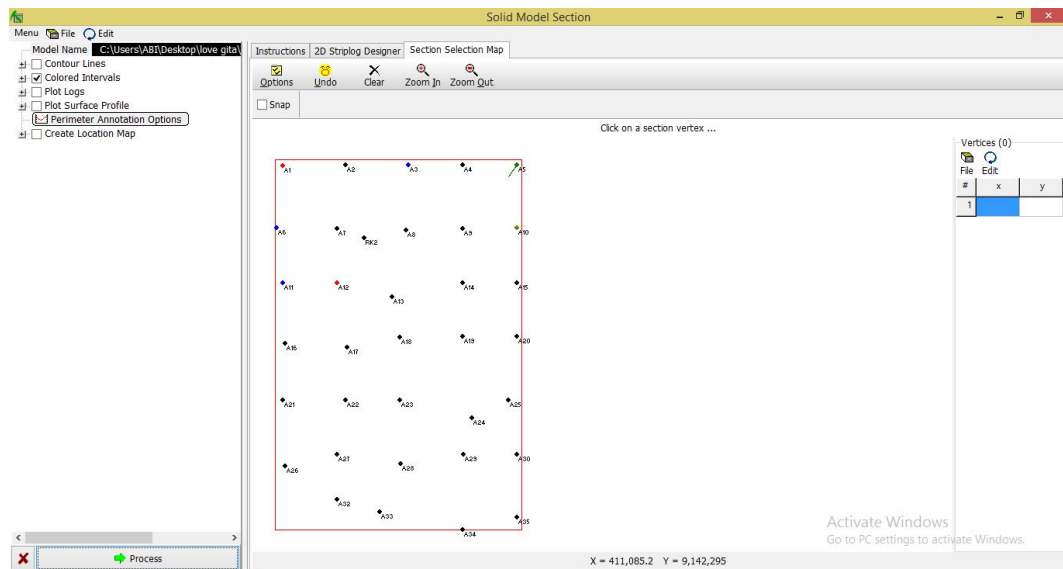
5. Simpan *solid model* 3D dengan format *RLC*.
6. Memasukkan titik koordinat dengan cara klik *Append to Current Scene* pada *Recent* pilih *file* koordinat hingga muncul.

F. Pemodelan Sayatan 3D Penampang Seismik

1. Melakukan langkah 1 dan 2 seperti pada proses pemodelan 3D penampang seismik.
2. Pilih menu *Solid* pilih *Fence* kemudian *Fence Selection Map* buat sayatan yang diinginkan sesuai dengan kebutuhan.

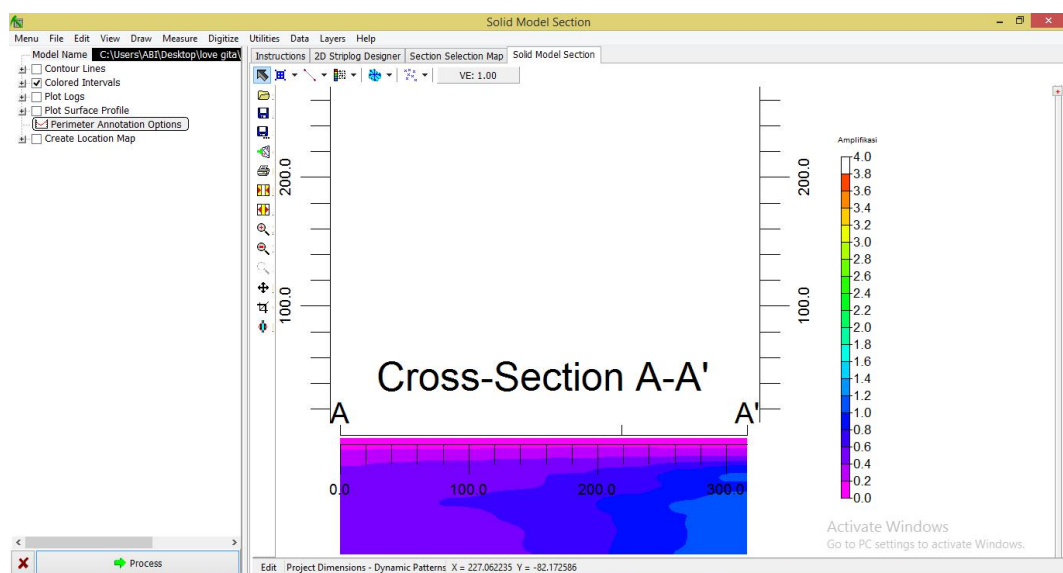
G. Pemodelan Sayatan 2D Penampang Seismik

1. Melakukan langkah 1 dan 2 seperti pada proses pemodelan 3D penampang seismik.
2. Pilih menu *Solid* pilih *Section* kemudian *Section Selection Map* buat sayatan yang diinginkan sesuai dengan kebutuhan.



Gambar L 27. Tampilan *Solid Model Section*

3. Klik *Proses* dan diperoleh hasil sayatan yang ditunjukkan pada Gambar L28.

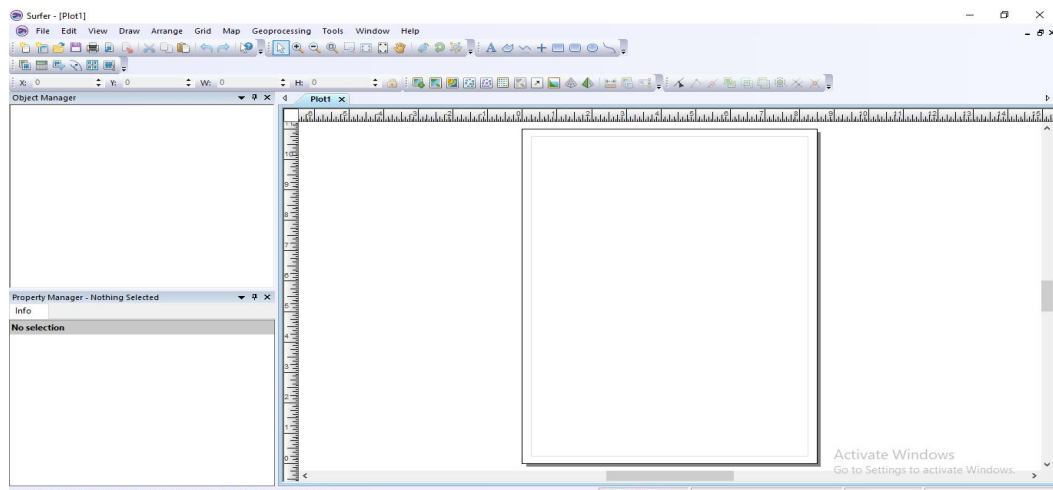


Gambar L 28. Tampilan hasil sayatan yang telah diproses

- Masukkan titik koordinat dengan cara klik *Append to Current Scene* kemudian pada *Recent* pilih *file* koordinat yang telah disimpan.

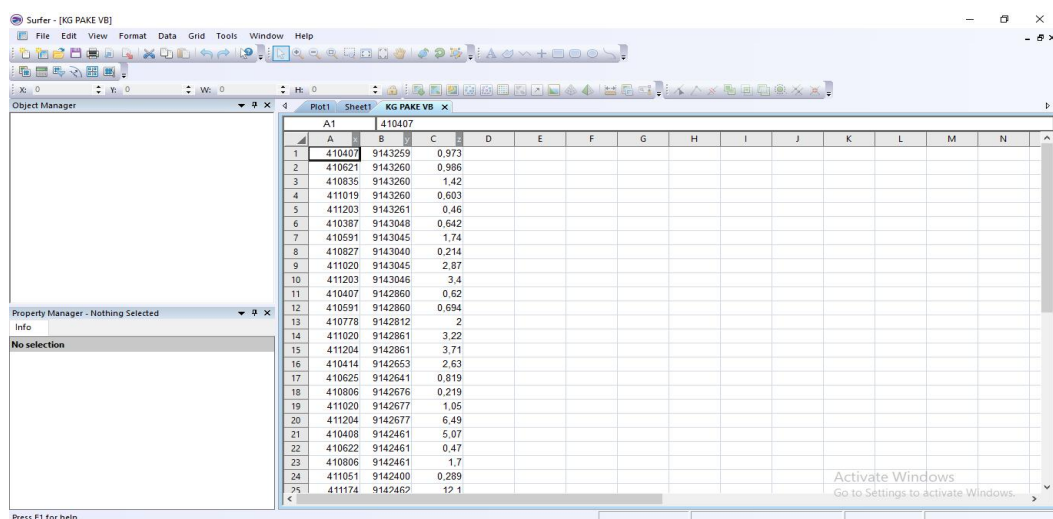
H. Proses Mikrozonasi menggunakan *Software* Surfer 13

- Membuka *software* Surfer 13 seperti yang ditunjukkan pada Gambar L29.



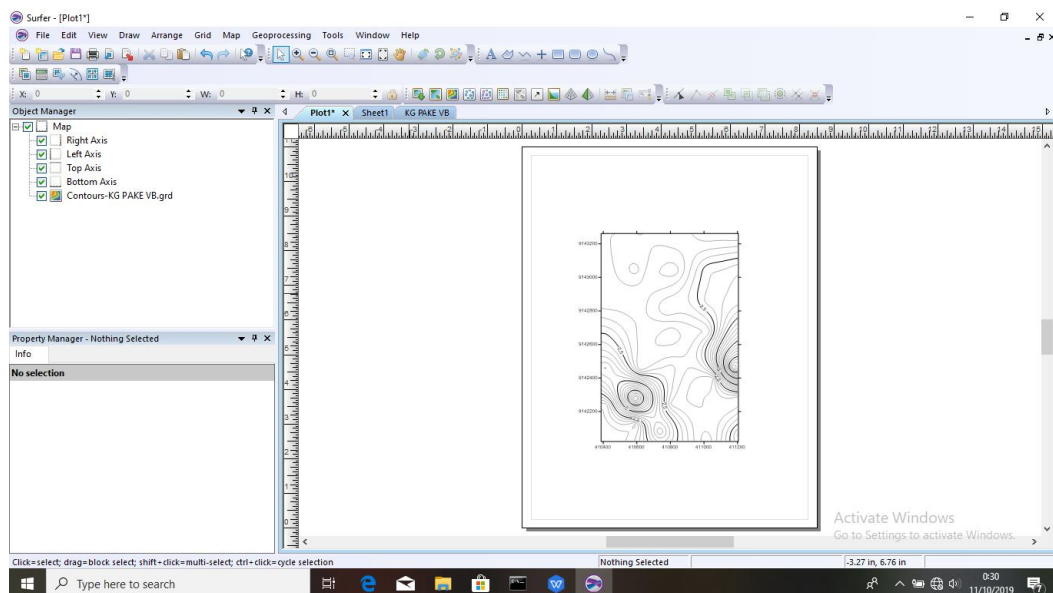
Gambar L 29. Tampilan *software* Surfer 13

- Klik ikon *New Worksheet* kemudian *input* tabel dengan ketentuan kolom A adalah koordinat *longitude*, kolom B adalah koordinat *latitude*, dan kolom C adalah nilai parameter yang akan dimikrozonasi.



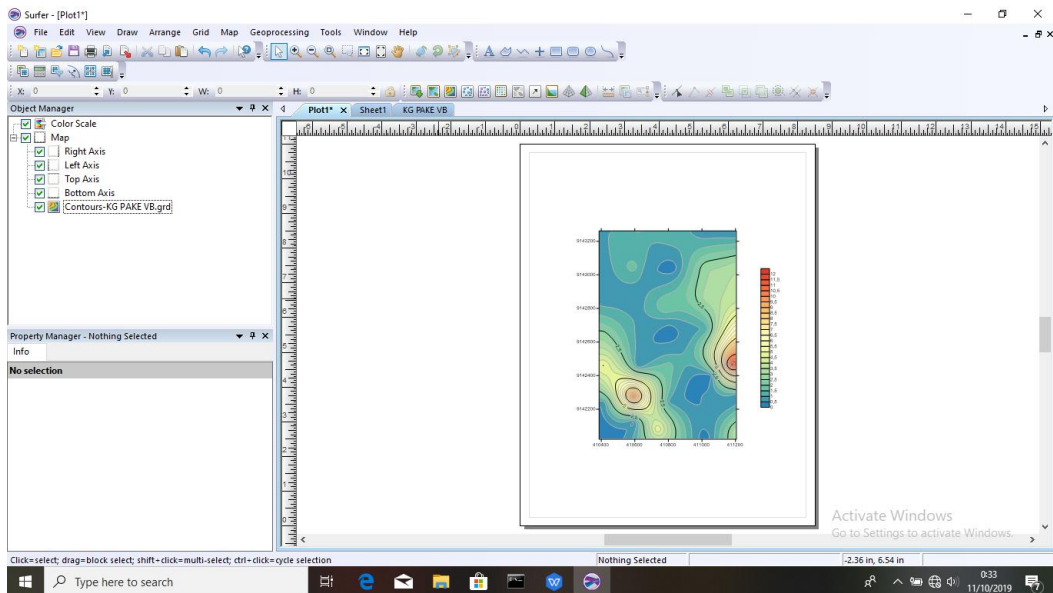
Gambar L 30. Tampilan pengisian *worksheet*

3. *Worksheet* disimpan dalam format *.bln*.
4. Untuk memulai proses mikrozonasi, kembali ke jendela *Plot* pilih menu *Grid* lalu *Data* kemudian pilih *file* dalam format *.bln* yang akan dimikrozonasi lalu klik *Open*.
5. Saat muncul tampilan pengaturan *Gridding* lalu pilih metode *Natural Neighbor* lalu klik *OK*.
6. Hasil *Gridding* akan tersimpan dalam format *.grd*.
7. Menampilkan hasil *Gridding* dengan cara pilih ikon *New Contour Map* pilih *file* yang telah disimpan dengan format *.bln* lalu klik *Open*, maka akan muncul hasil *Gridding* dalam bentuk kontur seperti yang ditunjukkan pada Gambar L31.



Gambar L 31. Tampilan hasil *Gridding* dalam bentuk kontur

8. Atur warna dan tampilan kontur pada pilihan *Level* pada *Property Manager*.

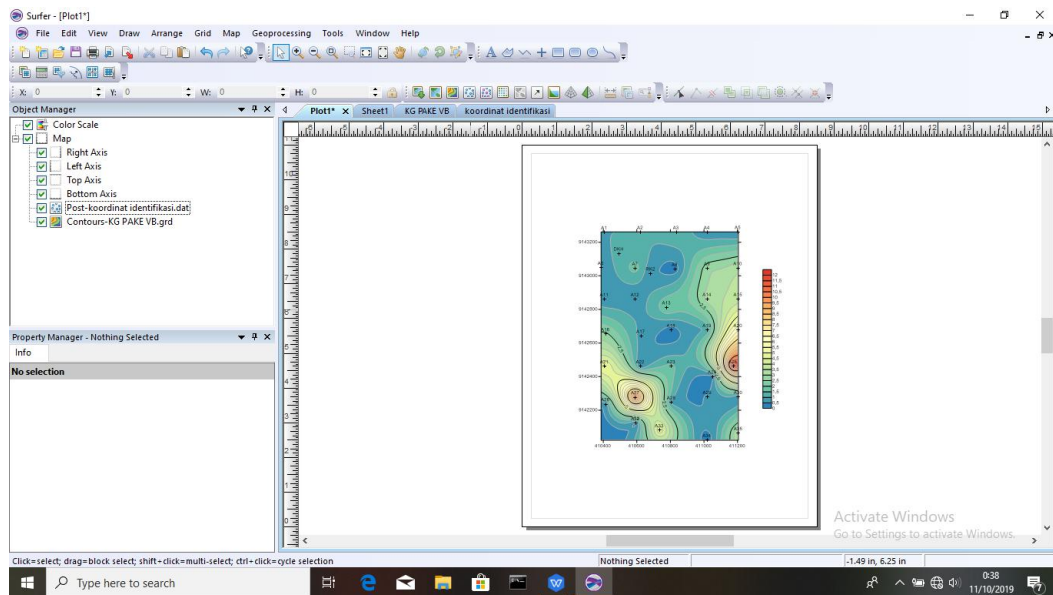


Gambar L 32. Tampilan setelah diatur tampilannya

9. Untuk memunculkan titik pengukuran dipilih ikon *New Post Map* kemudian buka *Worksheet* yang sudah disimpan dalam bentuk *.bln* dengan ketentuan kolom A adalah koordinat *longitude*, kolom B adalah koordinat *latitude*, dan kolom C adalah nama titik pengukuran.

Gambar L 33. Tampilan pengisian *worksheet* koordinat

- Menampilkan titik koordinat pada peta kontur dengan cara pilih menu *Map* kemudian *Overlay*. Pengaturan simbol dan pemunculan nama titik koordinat dilakukan dengan cara *Property Manager* kemudian pilih *General* lalu *Label*.



Gambar L 34. Tampilan hasil mikrozonasi

- Simpan hasil mikrozonasi dengan pilih menu *File* kemudian *Export*, simpan dalam bentuk *.jpg*.