

**ANALISIS MIKROSEISMIK PADA KAWASAN JALUR SESAR
KECAMATAN BAGELEN KABUPATEN PURWOREJO**

SKRIPSI

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



Oleh:

SEKAR GANDES BUANAWATI

NIM 14306141055

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

2018

LEMBAR PERSETUJUAN

Tugas Akhir Skripsi dengan judul
**ANALISIS MIKROSEISMİK PADA KAWASAN JALUR SESAR
KECAMATAN BAGELEN KABUPATEN PURWOREJO**

Disusun oleh:

Sekar Gandes Buanawati

NIM 14306141055

telah memenuhi syarat dan disetujui oleh dosen pembimbing untuk dilaksanakan


Ujian Akhir Skripsi bagi yang bersangkutan


Yogyakarta, Oktober 2018

Menyetujui,


Pembimbing I

Pembimbing II


Denny Darmawan, M.Sc.
NIP 19791202 200312 1 002


Nugroho Budi Wibowo, M.Si.
NIP 19840223 20081 1 001

Mengetahui,
Ketua Program Studi Fisika


Nur Kadarisman, M.Si.
NIP 19640205 199101 1001

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir Skripsi

ANALISIS MIKROSEISMIK PADA KAWASAN JALUR SESAR KECAMATAN BAGELEN KABUPATEN PURWOREJO

Disusun oleh:

Sekar Gandes Buanawati
NIM 14306141055

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji Tugas Akhir Skripsi Program Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta pada tanggal 11 Oktober 2018

TIM PENGUJI

Nama/Jabatan	Jabatan	Tanda Tangan	Tanggal
Denny Darmawan, M.Sc. NIP 19791202 200312 1 002	Ketua Penguji		15-10-2018
Nur Kadarisman, M.Si. NIP 19640205 199101 1 001	Penguji Utama		12-10-2018
Nugroho Budi Wibowo, M.Si. NIP 19840223 200801 1 001	Sekretaris Penguji		15-10-2018

Yogyakarta, 22 Oktober 2018
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta

Dekan,



Dr. Hartono
NIP 19620329 198702 1 002

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Sekar Gandes Buanawati

NIM : 14306141055

Program Studi : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Judul Skripsi : Analisis Mikroseismik pada Kawasan Jalur Sesar Kecamatan Bagelen Kabupaten Purworejo.

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

Yogyakarta, Oktober 2018
Yang menyatakan,



Sekar Gandes Buanawati
NIM 14306141055

MOTTO

*He who treads a path in search of knowledge,
Allah will ease the way to paradise for him
(Sahih Muslim)*

*Life isn't about finding yourself, but life is about creating yourself
(Troye Sivan)*

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan Ridho Allah, saya persembahkan karya ini untuk :

Alm. Bapak yang telah memberikan yang terbaik semasa hidupnya dan menjadi motivator terbesar dalam hidup saya.

Ibu atas segala doa dan pengorbanannya untuk saya yang tidak akan bisa saya balas kebajikannya. Semoga karya ini dapat membuatnya tersenyum.

Kakak yang selalu memberikan dukungan dan semangat.

Teman-teman seperjuangan yang saling memberikan dukungan dan bantuan.

Semua orang-orang sekitar yang saya sayangi dan menyayangi yang tidak dapat saya sebutkan satu-persatu.

Diri saya sendiri yang selalu berusaha memberikan hal terbaik.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat melakukan penelitian dan menyelesaikan Tugas Akhir Skripsi dengan judul “Analisis Mikroseismik pada Kawasan Jalur Sesar Kecamatan Bagelen Kabupaten Purworejo”.

Terselesainya Tugas Akhir Skripsi ini tidak terlepas dari dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Hartono selaku Dekan FMIPA UNY yang telah mengesahkan Tugas Akhir Skripsi ini.
2. Bapak Yusman Wiyatmo, M.Si., selaku Ketua Jurusan Pendidikan Fisika yang telah memberikan izin penelitian.
3. Bapak Nur Kadarisman, M.Si., selaku Ketua Program Studi Fisika sekaligus penguji utama yang telah memberikan izin penelitian dan menambah ilmu pengetahuan penulis.
4. Bapak Denny Darmawan, M.Sc dan Bapak Nugroho Budi Wibowo, M.Si selaku pembimbing yang telah memberikan arahan dan bantuan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
5. Seluruh Dosen, Staff, dan Laboran Jurusan Pendidikan Fisika yang telah memberikan ilmu selama perkuliahan.
6. BMKG Yogyakarta yang telah memberikan bantuan dan kerjasama dalam pengambilan data.

7. Ibu dan kakak yang selalu memberikan dukungan, bantuan, dan doa sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
8. Teman-teman SIKAE khususnya Ayu, Fery, dan Azka yang selalu ada dalam suka maupun duka.
9. Troye Sivan, Sheila On 7, dan Mocca yang lagu-lagunya telah menemani saya saat mengerjakan skripsi.
10. Teman-teman dan sahabat yang tidak dapat disebutkan satu-persatu yang telah membantu penulis menyelesaikan skripsi ini.

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, Oktober 2018
Yang menyatakan

Sekar Gandes Buanawati
NIM 14306141055

ANALISIS MIKROSEISMIK PADA KAWASAN JALUR SESAR KECAMATAN BAGELEN KABUPATEN PURWOREJO

Oleh:

Sekar Gandes Buanawati

14306141055

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik frekuensi dominan (f_0), faktor amplifikasi (A_0), penampang seismik kurva H/V, struktur bawah permukaan berdasarkan nilai V_s dan arah sumber gelombang menggunakan H/V *Rotate* pada kawasan jalur sesar di Kecamatan Bagelen, Kabupaten Purworejo menggunakan metode mikroseismik.

Penelitian dilakukan di Desa Kalirejo, Clapar, Soko, Sokagung, Semagung, Semono, Hargorejo, dan Somorejo yang dibatasi pada koordinat $7^{\circ}46'40,58''$ - $7^{\circ}49'23,99''$ LS dan $110^{\circ}1'22,65''$ - $110^{\circ}3'33,46''$ BT. Pengambilan data dilakukan menggunakan satu set alat *Digital Portable Seismograph* merk Taide tipe TDL-303S pada 32 titik penelitian dengan spasi 1 Km. Data berupa sinyal mikrotremor kemudian diolah dengan metode HVSr pada *software* Geopsy sehingga diperoleh kurva H/V yang menyatakan nilai f_0 dan A_0 . Kurva tersebut menjadi *input* dalam pengolahan dengan metode *ellipticity curve* menggunakan *software* Dinver sehingga diperoleh *ground profile* yang menyatakan nilai kecepatan gelombang geser (V_s) beserta kedalamannya. f_0 , A_0 , dan V_s digunakan untuk membuat penampang seismik kurva H/V. Data sinyal mikrotremor juga diolah dengan metode H/V *rotate* untuk mengetahui arah sumber gelombang.

Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa nilai f_0 di Kecamatan Bagelen berkisar antara 0,77 – 17,43 Hz, nilai A_0 adalah 1,01 – 15,50, nilai V_s adalah 47,11 m/s – 3215,25 m/s, dan H/V *rotate* mengarah ke UTL – SBD hingga T – B. Hasil mikrozonasi dan pemodelan berdasarkan parameter-parameter tersebut merepresentasikan kemungkinan adanya tiga jalur sesar pada daerah penelitian. Jalur sesar tersebut bukan merupakan jalur sesar yang berkemenerusan melainkan berupa segmen-segmen sesar dan bergeser dari garis sesar yang tercantum pada peta geologi lembar Yogyakarta.

Kata kunci: sesar, mikroseismik, Kecamatan Bagelen

MICROSEISMIC ANALYSIS ON THE FAULT LINE AREA IN BAGELEN DISTRICT OF PURWOREJO REGENY

By

Sekar Gandes Buanawati

14306141055

ABSTRACT

The research aimed to analyze the characteristics of predominant frequency (f_0), amplification factor (A_0), seismic cross-section of H/V curve, subsurface structure and wave source direction of fault area in Bagelen District, Purworejo Regency using microseismic method.

The research was done in Kalirejo, Clapar, Soko, Sokagung, Semagung, Semono, Hargorejo, and Somorejo villages which limited to coordinates of $7^{\circ}46'40.58'' - 7^{\circ}49'23.99''$ S and $110^{\circ}1'22.65'' - 110^{\circ}3'33.46''$ E. Data was collected using a set of Taide TDL-303S Digital Portable Seismograph at 32 research points with 1 Km spacing. Data in the form of microtremor signals were then processed by HVSR method using Geopsy to obtain the H/V curve that show the value of f_0 and A_0 . The curve became the input for ellipticity curve method in Dinver to obtain the ground profile that show the value of shear wave velocity (V_s) and layer depth. The f_0 , A_0 , and V_s then were used to make seismic cross-section of H/V curve. Microtremor signal also processed by H/V Rotate method to obtain the direction of the wave's source.

The result showed that the value of f_0 in Bagelen district ranged from 0.77–17.43 Hz, the value of A_0 ranged from 1.01 – 15.50, the value of V_s ranged from 47,11 m/s – 3215,25 m/s and H/V Rotate lead to NNE – SSW until E – W. Microzonation and modeling based on these parameters represent the possibility of three fault lines in the research area. The faults were not a continuous line but in the form of segments and shifted from fault line depicted in geological map of Yogyakarta.

Keywords: fault, microseismic, Bagelen District

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
SURAT PERNYATAAN.....	iv
MOTTO	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT.....	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Identifikasi Masalah.....	6
C. Batasan Masalah	7
D. Rumusan Masalah.....	7
E. Tujuan Penelitian	8
F. Manfaat Penelitian.....	8
BAB II KAJIAN TEORI.....	10
A. Gempa Bumi.....	10
B. Sesar (<i>Fault</i>)	11
1. Sesar Naik (<i>Thurst Fault</i>)	11
2. Sesar Normal (<i>Normal Fault</i>).....	12
3. Sesar Mendatar (<i>Strike-Slip Fault</i>)	13
C. Gelombang Seismik.....	14
1. Gelombang Badan	14
a) Gelombang Primer	15
b) Gelombang Sekunder	15
2. Gelombang Permukaan (<i>Normal Fault</i>)	16
a) Gelombang Rayleigh	16

b) Gelombang Love	17
D. Mikrotremor.....	17
E. Metode HVSR.....	19
1. Frekuensi Predominan	21
2. Faktor Amplifikasi.....	22
F. Metode Inversi.....	23
1. Poisson <i>Ratio</i>	24
2. Densitas.....	25
3. Kecepatan Gelombang Primer dan Kecepatan Gelombang Sekunder	26
G. Penampang Seismik Kurva H/V	27
H. H/V <i>Rotate</i>	29
I. Geologi Regional Wilayah Penelitian	31
BAB III METODE PENELITIAN.....	34
A. Waktu dan Tempat Penelitian.....	34
B. Alat dan Bahan.....	34
1. Perangkat keras (<i>hardware</i>).....	34
2. Perangkat lunak (<i>software</i>).....	37
C. Teknik Pengambilan Data.....	38
1. Tahap Pembuatan Desain	38
2. Survei Lokasi	38
3. Pengambilan Data di Titik Penelitian	39
D. Teknik Analisis Data	41
1. Menganalisis Sinyal Mikrotremor	41
2. Mikrozonasi f_0 dan A_0	42
3. Analisis Penampang Seismik Kurva H/V	42
4. Analisis Lapisan Bawah Permukaan dengan Metode <i>Ellipticity Curve</i> ...	43
5. Pemodelan 3D Struktur Bawah Permukaan Berdasarkan V_s Menggunakan <i>Software Rockwork 16</i>	44
6. Analisis H/V <i>Rotate</i> pada Kawasan Sesar	45
E. Diagram Alir Penelitian	46
BAB IV PEMBAHASAN.....	47
A. Mikrozonasi f_0 , A_0 , dan Penampang Seismik Kurva H/V	48
1. Mikrozonasi f_0	48

2. Mikrozonasi A_0	52
3. Penampang Seismik Kurva H/V.....	55
B. Analisis Struktur Bawah Permukaan dan H/V <i>Rotate</i> di Kawasan Sesar.....	60
1. Analisis Struktur Bawah Permukaan.....	60
2. H/V <i>Rotate</i> pada Kawasan Sesar.....	67
BAB V PENUTUP.....	72
A. Kesimpulan.....	72
B. Saran.....	73
DAFTAR PUSTAKA.....	74
LAMPIRAN.....	79

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Peta lempeng tektonik Indonesia	1
Gambar 2. Peta bahaya gempa bumi Kabupaten Purworejo.....	2
Gambar 3. Peta geologi lokasi penelitian.....	3
Gambar 4. Sesar naik atau <i>thurst fault</i>	12
Gambar 5. Sesar normal atau <i>normal fault</i>	13
Gambar 6. Sesar mendatar atau <i>strike-slip fault</i>	13
Gambar 7. Gelombang badan dan gelombang permukaan	14
Gambar 8. Contoh data sinyal mikrotremor di Kecamatan Bagelen	18
Gambar 9. Sketsa model geologi bawah permukaan dua lapis dan respon spektralnya	29
Gambar 10. Sketsa arah diagram <i>rose</i> dengan zona sesar	31
Gambar 11. Set alat <i>Digital Portable Seismograph</i> (a) Seismometer merk Taide tipe TDV-23, (b) Digitizer merk Taide tipe TDL-303S, (c) Antena GPS, (d) Kabel penghubung.....	36
Gambar 12. Rangkaian alat pengambilan data.....	37
Gambar 13. Desain survei titik pengambilan data di daerah penelitian.....	38
Gambar 14. Titik pengambilan data di daerah penelitian	39
Gambar 15. (a) Kurva H/V sebagai fungsi frekuensi dan faktor amplifikasi (b) Kurva H/V <i>Rotate</i>	41
Gambar 16. Sayatan jalur penampang seismik kurva H/V	43
Gambar 17. Lintasan penampang seismik kurva H/V pada daerah penelitian	43
Gambar 18. (a) <i>Ellipticity Curve</i> dengan garis hitam adalah model terbaik (b) <i>Ground profiles V_s</i>	44
Gambar 19. Nama 16 arah mata angin beserta derajatnya.....	45
Gambar 20. Diagram alir penelitian.....	46
Gambar 21. Mikrozonasi nilai f_0 pada kawasan sesar utara daerah penelitian	49
Gambar 22. Mikrozonasi nilai f_0 pada kawasan sesar tengah daerah penelitian	50
Gambar 23. Mikrozonasi nilai f_0 pada kawasan sesar selatan daerah penelitian	51
Gambar 24. Mikrozonasi nilai A_0 pada kawasan sesar utara daerah penelitian	53
Gambar 25. Mikrozonasi nilai A_0 pada kawasan sesar tengah daerah penelitian	54
Gambar 26. Mikrozonasi nilai A_0 pada kawasan sesar selatan daerah penelitian	55
Gambar 27. Penampang seismik kurva H/V lintasan 1 daerah penelitian	57
Gambar 28. Penampang seismik kurva H/V lintasan 2 daerah penelitian	58

Gambar 29. Penampang seismik kurva H/V lintasan 3 daerah penelitian	59
Gambar 30. Penampang seismik kurva H/V lintasan 4 daerah penelitian	60
Gambar 31. <i>Ground profiles</i> V_s dengan variasi lapisan (a) <i>Ground profiles</i> dengan 3 lapisan pada titik 3, (b) <i>Ground profiles</i> dengan 4 lapisan pada titik 45 daerah penelitian.....	62
Gambar 32. Model 3D nilai V_s daerah penelitian hasil metode <i>ellipticity curve</i> ...	63
Gambar 33. 12 sayatan solid model 3D nilai V_s hasil metode <i>ellipticity curve</i>	64
Gambar 34. Penampang seismik kurva H/V lintasan 4 daerah penelitian (a) Sayatan bagian selatan, (b) Sayatan bagian tengah, (c) sayatan bagian utara ..	66
Gambar 35. Diagram <i>rose</i> titik 3 daerah penelitian dari hasil pengolahan H/V <i>Rotate</i>	68
Gambar 36. Pola persebaran arah sumber gelombang di kawasan sesar	70

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Klasifikasi tanah berdasarkan nilai frekuensi dominan	22
Tabel 2. Klasifikasi nilai faktor amplifikasi.....	23
Tabel 3. Harga Poisson <i>ratio</i> dari batuan sedimen	25
Tabel 4. Nilai variasi densitas batuan	26
Tabel 5. Data nilai V_s pada beberapa jenis batuan.....	26
Tabel 6. Klasifikasi <i>site</i> berdasarkan nilai V_s	27
Tabel 7. Data kecepatan gelombang primer pada beberapa medium.....	27
Tabel 8. Persyaratan teknis survei mikrotremor di lapangan	40

DAFTAR LAMPIRAN

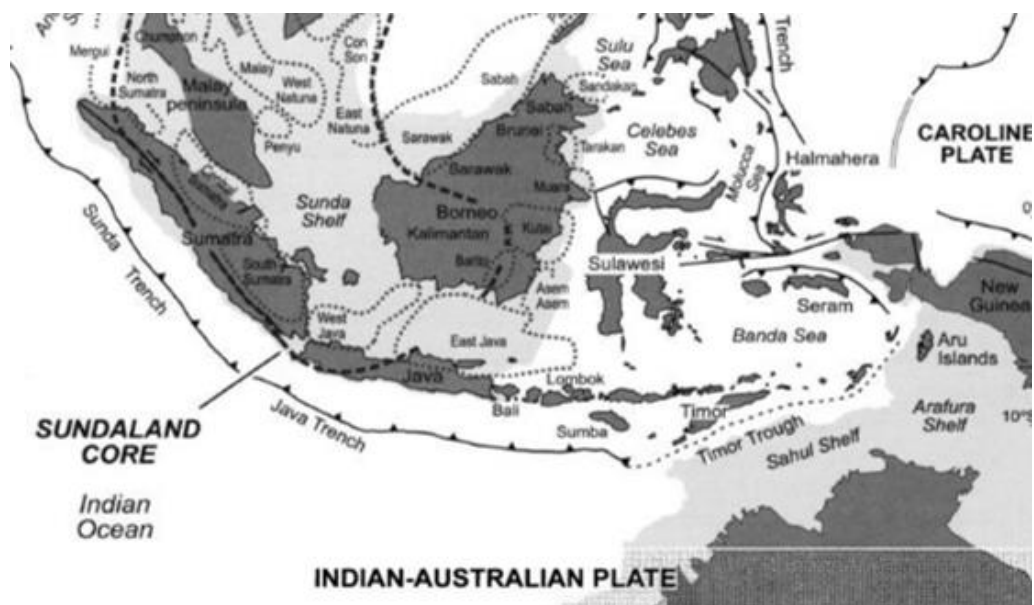
Lampiran 1. Kurva H/V Hasil Pengolahan Sinyal Mikrotremor	78
Lampiran 2. Hasil Kriteria Kurva Reliabel dan Kurva <i>Clear Peak</i>	89
Lampiran 3. Hasil Analisis Nilai V_s dengan metode inversi, arah gelombang dengan H/V <i>Rotate</i> , dan spektrum penampang kurva H/V	91
Lampiran 4. Langkah-Langkah Pengolahan Sinyal Mikrotremor	102
Lampiran 5. Dokumentasi Penelitian	129

BAB I

PENDAHULUAN

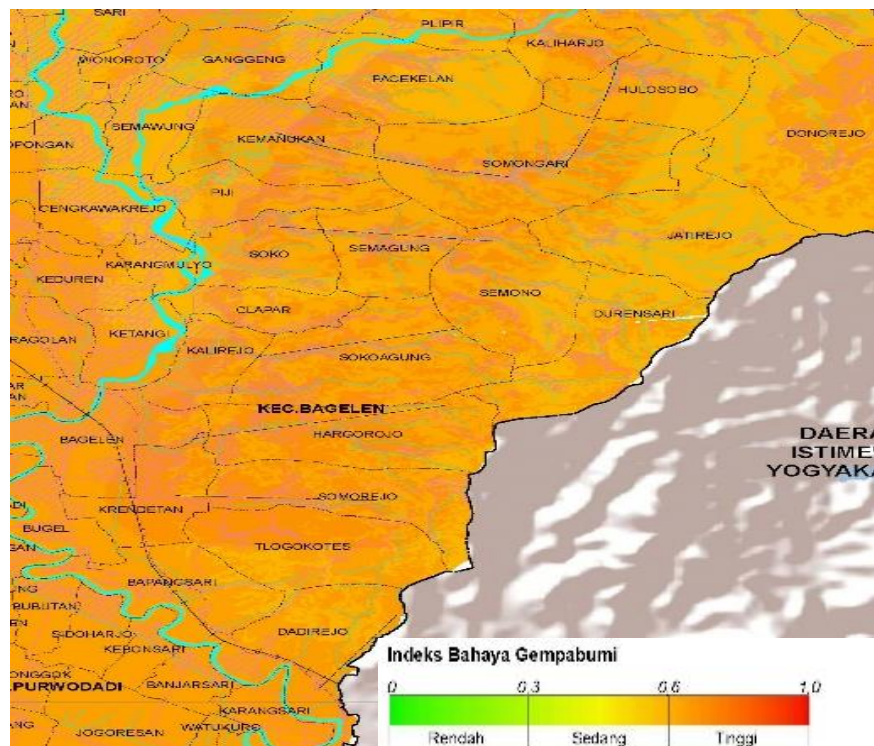
A. Latar Belakang

Negara Indonesia adalah negara yang secara geografis terletak pada 6°LU - 11°LS dan 95°BT - 141°BT , sedangkan secara geologis Indonesia berada di antara tiga lempeng besar dunia yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng IndoAustralia dan Lempeng Pasifik. Keadaan tersebut membuat Indonesia mempunyai kondisi geologi yang kompleks, salah satunya adalah munculnya efek pergerakan lempeng. Efek pergerakan lempeng dapat berupa tumbukan maupun gesekan yang akan menimbulkan peristiwa yang disebut dengan gempa bumi tektonik. Gempa bumi adalah peristiwa pelepasan energi secara tiba-tiba yang merupakan salah satu sumber yang dapat menimbulkan terjadinya penjalaran gelombang seismik (Febriani *et al.*, 2013).



Gambar 1. Peta lempeng tektonik Indonesia (Hall & Morley, 2004)

Berdasarkan Gambar 1, zona selatan Pulau Jawa memiliki tingkat kerawanan gempa bumi yang cukup tinggi. Hal tersebut dikarenakan zona selatan Pulau Jawa masuk pada zona subduksi lempeng Indo-Australia-Eurasia yang terdapat aktivitas tumbukan. Selain tingkat kerawanan gempa bumi yang tinggi, aktivitas lempeng tektonik juga mempengaruhi sesar lokal yang berada di daratan.

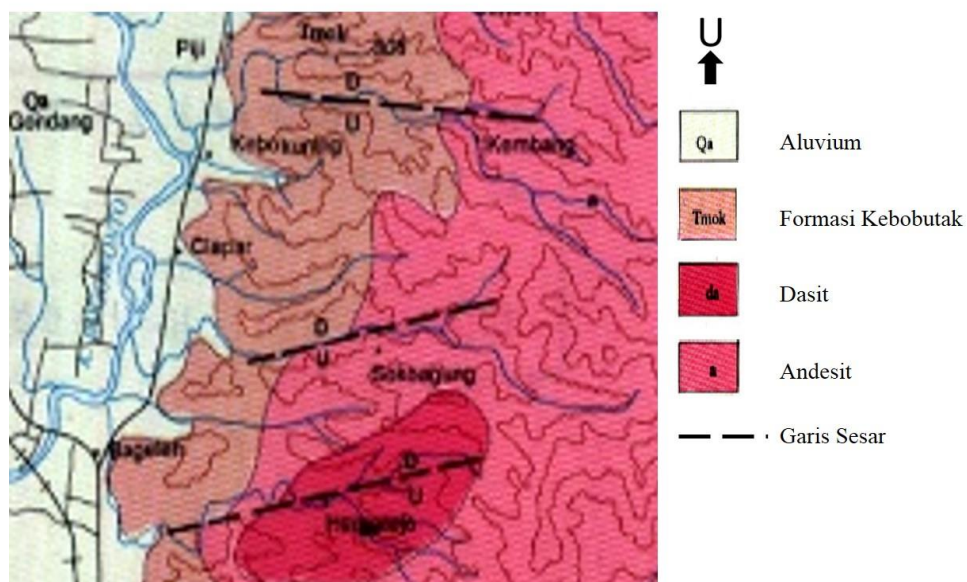


Gambar 2. Peta bahaya gempa bumi Kabupaten Purworejo (BPBD, 2014)

Salah satu daerah yang merupakan zona selatan Pulau Jawa adalah Purworejo, khususnya Kecamatan Bagelen. Secara administratif Kecamatan Bagelen adalah kecamatan di Purworejo yang mempunyai luas ± 64 km. Kecamatan Bagelen berbatasan langsung dengan Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta, tepatnya dengan Kabupaten Kulon Progo. Secara geografis sebagian besar wilayah Kecamatan Bagelen merupakan daerah pegunungan yang terbentang dalam gugusan Lereng Menoreh, dengan sedikit persawahan dan ladang (Pemerintah

Kecamatan Bagelen, 2017). Kecamatan Bagelen terdiri dari 17 desa dan merupakan kecamatan yang rawan terhadap bencana alam.

Berdasarkan Gambar 2, Kecamatan Bagelen masuk dalam tiga kecamatan yang rentan terhadap bencana gempa bumi dengan kategori sedang hingga tinggi. Tercatat pada tahun 2014 terjadi gempa bumi yang episentrumnya berada dekat dengan Kecamatan Bagelen. Gempa bumi yang terjadi di Yogyakarta pada tahun 2006 juga dirasakan di Kecamatan Bagelen hingga menyebabkan dampak kerugian material.



Gambar 3. Peta geologi lokasi penelitian (Rahardjo *et al.*, 1995)

Berdasarkan Gambar 3, keadaan geologi di sebagian Kecamatan Bagelen terdiri dari empat formasi batuan, yaitu endapan aluvium, Formasi Kebo Butak, Formasi Andesit dan Formasi Dasit. Selain itu pada Kecamatan Bagelen juga terdapat beberapa dugaan sesar minor yang membentang dari timur ke barat. Sesar (*fault*) merupakan retakan pada batuan yang telah mengalami pergeseran. Apabila retakan batuan belum bergerak atau bergeser dinamakan kekar (*joint*). Sesar dapat

berupa retakan tunggal, membentuk lajur atau zona sesar (*fault zone*) yang terdiri dari sekumpulan retakan (Supartoyo, 2015). Dengan adanya aktivitas tumbukan lempeng, suatu daerah menjadi rawan akan adanya bencana alam yang salah satunya adalah gempa bumi. Hal ini akibat aktivitas beberapa sesar lokal di daratan (Daryono *et al.*, 2009), sehingga dugaan sesar ini dapat dikaitkan dengan rawannya bencana alam yang terjadi pada Kecamatan Bagelen tersebut.

Berdasarkan ulasan yang telah disampaikan di atas, adanya dugaan beberapa sesar minor yang dapat memicu terjadinya bencana berupa gempa bumi akan menjadi ancaman tersendiri bagi masyarakat yang tinggal di daerah tersebut. Sementara penelitian yang membahas tentang sesar minor pada daerah tersebut masih terbatas. Penelitian yang dapat dilakukan untuk menginterpretasikan kemungkinan keberadaan jalur sesar minor adalah dengan mengkaji mikrozonasi nilai faktor amplifikasi, mikrozonasi nilai frekuensi dominan, analisis kontrol struktur penampang seismik kurva H/V, analisis struktur bawah permukaan berdasarkan nilai V_s dan kontrol struktur pada analisis arah sumber gelombang berdasarkan H/V *rotate* di kawasan sesar menggunakan data mikrotremor.

Nilai faktor amplifikasi dan frekuensi dominan dapat diperoleh dari analisis hasil pengukuran sinyal mikrotremor menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR). Metode HVSR membandingkan antara komponen vertikal dari sinyal dengan komponen horizontal dari sinyal yang diperoleh dari pengukuran sinyal mikrotremor (Nakamura, 1989). Hasil dari pengolahan metode HVSR dapat diolah lebih lanjut menggunakan metode *ellipticity curve* untuk mendapatkan nilai kecepatan gelombang geser (V_s). Gelombang geser merupakan

salah satu gelombang badan (*body wave*) yang arah simpangannya tegak lurus terhadap arah rambatnya. Nilai kecepatan gelombang geser ini merupakan salah satu parameter yang bisa digunakan untuk merepresentasikan kondisi bawah permukaan suatu wilayah (Kanli, 2011). Hasil dari kurva H/V dan nilai kecepatan gelombang geser dapat diolah kembali menjadi penampang seismik kurva H/V. Penampang seismik kurva H/V direpresentasikan berdasarkan hubungan antara parameter ketebalan lapisan sedimen, yaitu periode dominan (T_0) dengan kecepatan gelombang geser, sehingga spektrum dalam domain periode dapat diubah dalam domain kedalaman untuk merepresentasikan ketebalan lapisan sedimen dan faktor amplifikasi di titik pengukuran (Wibowo *et al.*, 2018).

Dalam dua dekade terakhir, analisis mikroseismik semakin berkembang dalam menemukan aplikasi di teknik seismologi, tidak hanya untuk mengetahui kawasan rawan gempa bumi namun juga mengidentifikasi keberadaan sesar. Dalam identifikasi sesar ini metode yang digunakan adalah analisis sinyal mikroseismik dengan menghitung rasio spektral horizontal-ke-vertikal dan analisis polarisasi *wavefield* yang ada untuk mengetahui arah amplifikasi (*H/V rotate*). Pengamatan ini membuka perspektif baru dalam penggunaan pengukuran sinyal mikrotremor yang cepat dan murah untuk memperkirakan orientasi dominan jaringan rekahan di zona sesar.

Sebagian besar penelitian yang menggunakan metode ini tidak mengidentifikasi keberadaan sesar. Penelitian-penelitian yang pernah dilakukan dengan metode ini di antaranya mengidentifikasi struktur bawah permukaan menggunakan metode *ellipticity curve* di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan

Gantiwarno Kabupaten Klaten (Patimah, 2017), interpretasi ketebalan lapisan sedimen berdasarkan penampang seismik kurva H/V di Kota Pacitan Jawa Timur (Wibowo *et al.*, 2018), identifikasi sesar di Campo Imperatore Italia Tengah dengan kontrol struktur pada amplifikasi arah gelombang seismik (Pischiutta *et al.*, 2017). Sementara penelitian yang pernah dilakukan di wilayah Kecamatan Bagelen di antaranya zonasi rawan tanah longsor dengan metode analisis GIS (Dewi *et al.*, 2017), dan penelitian tentang kerentanan massa batuan dan daerah rawan longsor di lahan Kabupaten Purworejo (Sutarno, 2012). Diharapkan penelitian menggunakan metode mikroseismik di wilayah Kecamatan Bagelen Kabupaten Purworejo ini dapat menambah referensi mengenai interpretasi keberadaan jalur sesar minor di wilayah Kecamatan Bagelen Kabupaten Purworejo.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan sebelumnya, maka dapat diidentifikasi masalah sebagai berikut :

1. Indonesia merupakan negara yang berada di antara tiga lempeng besar dunia, yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng IndoAustralia dan Lempeng Pasifik sehingga banyak mengalami aktivitas lempeng berupa gempa bumi.
2. Zona selatan Pulau Jawa masuk pada zona subduksi lempeng Indo-Australia-Eurasia yang terdapat aktivitas tumbukan sehingga rawan terhadap gempa bumi.
3. Kecamatan Bagelen Kabupaten Purworejo merupakan wilayah yang rawan bencana alam dan terdapat adanya jalur sesar.

4. Belum adanya penelitian mengenai interpretasi keberadaan jalur sesar di Kecamatan Bagelen Kabupaten Purworejo menggunakan metode mikroseismik.

C. Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi sebagai berikut :

1. Pengambilan data penelitian melingkupi kawasan 3 jalur sesar yang terletak di koordinat $7^{\circ}46'40,58'' - 7^{\circ}49'23,99''$ LS dan $110^{\circ}1'22,65'' - 110^{\circ}3'33,46''$ BT yang terdiri dari 8 desa, yaitu Desa Kalirejo, Clapar, Soko, Semono, Semagung, Hargorejo, Sokoagung, dan Somorejo di Kecamatan Bagelen Kabupaten Purworejo.
2. Data yang digunakan berupa data primer sinyal mikrotremor yang diambil secara langsung di lokasi penelitian sebanyak 32 titik.
3. Pengambilan data mikrotremor menggunakan alat seismograf merek Taide tipe TDV-23S dan mengacu pada aturan yang ditetapkan oleh *SESAME European Research Project*.

D. Rumusan masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana mikrozonasi frekuensi dominan, faktor amplifikasi, dan penampang seismik kurva H/V pada kawasan sesar Kecamatan Bagelen Kabupaten Purworejo?

2. Bagaimana struktur bawah permukaan berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser pada daerah penelitian?
3. Bagaimana pola arah sumber gelombang berdasarkan model H/V *rotate* pada kawasan sesar Kecamatan Bagelen Kabupaten Purworejo?

E. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Mengetahui mikrozonasi frekuensi dominan, faktor amplifikasi, dan penampang seismik kurva H/V pada kawasan sesar Kecamatan Bagelen Kabupaten Purworejo.
2. Mengetahui struktur bawah permukaan berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser pada daerah penelitian.
3. Mengetahui pola arah sumber gelombang berdasarkan model H/V *rotate* pada kawasan sesar Kecamatan Bagelen Kabupaten Purworejo.

F. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian yang dilakukan diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Memberikan informasi dan gambaran terkait keberadaan jalur sesar yang terletak di kawasan Kecamatan Bagelen Kabupaten Purworejo.

2. Informasi terkait keberadaan jalur sesar dapat digunakan sebagai upaya peningkatan kewaspadaan bencana yang kemungkinan ditimbulkan oleh aktivitas sesar.
3. Dapat dimanfaatkan sebagai literatur pendukung dalam mendesain tata ruang dan dasar pembangunan di kawasan Kecamatan Bagelen Kabupaten Purworejo berbasis mitigasi bencana gempa bumi.
4. Sebagai bahan masukan dan referensi bagi penelitian selanjutnya.

BAB II

DASAR TEORI

A. Gempa Bumi

Gempa bumi adalah getaran yang bersumber dari dalam bumi, kemudian merambat ke permukaan bumi akibat adanya aktivitas di dalam bumi (Nur, 2010). Penyebab gempa bumi bermacam-macam, dapat berupa dinamika bumi (tektonik), aktivitas gunungapi (vulkanik), akibat meteor jatuh, longsor, ledakan bom nuklir di bawah permukaan dan masih banyak lainnya, namun gempa bumi tektonik merupakan gempa bumi yang paling umum terjadi. Gempa tektonik merupakan getaran yang dihasilkan dari peristiwa pematahan atau gesekan batuan akibat benturan dua lempeng bumi secara perlahan. Energi yang dihasilkan berupa getaran yang dipancarkan ke segala arah dalam bentuk gelombang seismik sehingga efeknya dapat dirasakan sampai ke permukaan bumi sebagai getaran atau guncangan tanah (BMKG, 2015).

Permukaan bumi terdiri atas beberapa lempeng tektonik yang merupakan bagian dari litosfer padat atau segmen keras kerak bumi. Lempeng tektonik ini mengapung di atas astenosfer yang cair dan panas, sehingga lempeng tektonik dapat bergerak bebas dan saling berinteraksi. Interaksi tersebut menghasilkan getaran yang disebut dengan gempa bumi. Selain pergerakan lempeng, terdapat juga patahan pada permukaan bumi yang dapat menyebabkan terjadinya gempa bumi. Patahan atau retakan tersebut disebut dengan istilah sesar (*fault*).

B. Sesar (*Fault*)

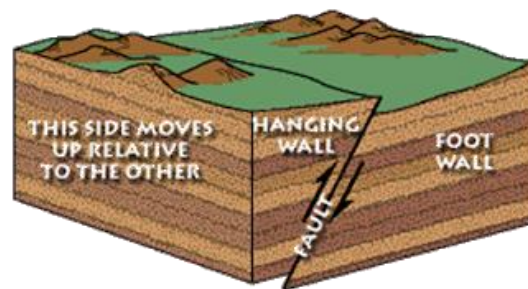
Patahan atau sesar (*fault*) adalah satu bentuk rekahan atau pergeseran atau pergerakan pada lapisan batuan bumi yg memungkinkan satu blok batuan bergerak relatif terhadap blok yg lainnya. Pergerakannya bisa relatif turun, relatif naik, ataupun bergerak relatif mendatar terhadap blok yang lainnya (Asri, 2006). Pergerakan atau pergeseran dapat berkisar beberapa milimeter hingga ratusan meter, sedangkan panjangnya dari beberapa meter hingga ribuan kilometer. Pergerakan dari suatu patahan atau sesar dapat mengakibatkan gempa bumi. Selain itu, pergerakan atau pergeseran sesar juga dapat mengubah topografi, mengontrol air permukaan dan bawah permukaan, merusak stratigrafi batuan dan sebagainya.

Pada umumnya, terbentuknya sesar pada suatu daerah akibat tektonik dengan waktu dan tempat yang sama tidaklah tunggal, selalu terjadi lebih dari satu jalur sesar dengan ukuran yang bervariasi. Kelompok sesar yang demikian dinamakan dengan sistem sesar. Terdapat 3 kelompok sesar utama, yaitu sesar naik, sesar normal dan sesar mendatar.

1. Sesar Naik (*Thrust Fault*)

Sesar naik (*thrust fault*) merupakan sesar dengan *hanging wall* relatif bergerak naik terhadap *foot wall*. Umumnya sesar naik tidak pernah berdiri sendiri atau berkembang tunggal. Sesar selalu membentuk suatu zona, sehingga pada zona sesar dijumpai sejumlah bidang sesar. Masing-masing bidang sesar tersebut membentuk pola yang sama, yaitu bidang sesar umumnya memiliki arah kemiringan yang sama dan arah jalur sesarnya relatif sama. Seperti yang

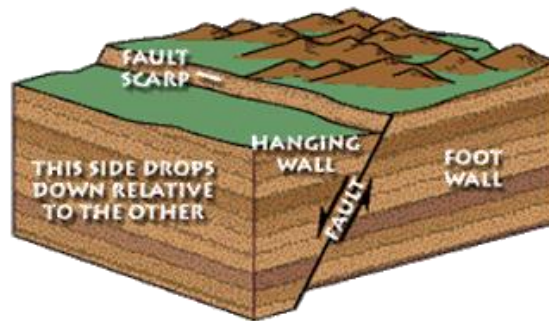
ditunjukkan pada Gambar 4, ciri pada sesar naik adalah lapisan batuan yg berjenis sama pada *hanging wall* berada pada posisi yang lebih atas dari lapisan batuan yang sama pada *foot wall*. Ini menandakan lapisan yang ada di *hanging wall* bergerak relatif naik terhadap *foot wall*-nya.



Gambar 4. Sesar naik atau *thrust fault* (Satriadi, 2015)

2. Sesar Normal (*Normal Fault*)

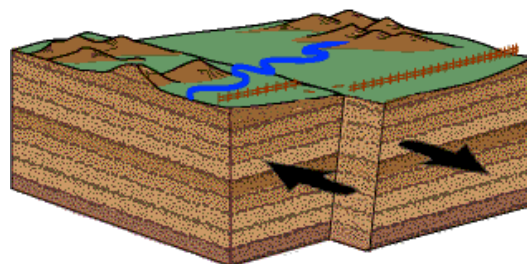
Sesar normal (*normal fault*) dikenali juga sebagai sesar gravitasi, dimana gaya gravitasi menjadi gaya utama yang menggerakannya. Sesar normal terbentuk akibat adanya tegasan ekstensional, sehingga pada bagian tertentu gaya gravitasi lebih dominan. Kondisi ini mengakibatkan beberapa bagian tubuh batuan akan bergerak turun yang selanjutnya lazim dikenal sebagai proses pembentukan sesar normal. Sesar normal terjadi apabila *hanging wall* relatif bergerak ke bawah terhadap *foot wall*. Gerak sesar normal ini dapat murni tegak atau disertai oleh gerak lateral. Sistem tegasan pembentuk sesar normal adalah ekstensional, dimana posisi tegasan utamanya vertikal sedangkan kedudukan tegasan menengah dan minimum adalah lateral. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5, ciri dari sesar normal adalah *hanging wall* relatif turun terhadap *foot wall*, sehingga lapisan batuan yang berjenis sama dengan *foot wall* akan cenderung lebih turun.



Gambar 5. Sesar normal atau *normal fault* (Satriadi, 2015)

3. Sesar Mendatar (*Strike-Slip Fault*)

Sesar mendatar (*strike-slip fault*) adalah sesar yang pembentukannya dipengaruhi oleh tegasan kompresi. Posisi tegasan utama pembentuk sesar ini adalah horizontal, sama dengan posisi tegasan minimumnya, sedangkan posisi tegasan menengah adalah vertikal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. Umumnya bidang sesar mendatar digambarkan sebagai bidang vertikal, sehingga istilah *hanging wall* dan *foot wall* tidak lazim digunakan di dalam sistem sesar ini. Berdasarkan gerak relatifnya, sesar ini dibedakan menjadi *sinistral* dan *dekstral*. Seperti halnya sesar naik, sesar mendatar pun umumnya tidak berdiri tunggal melainkan terdiri dari beberapa bidang sesar yang selanjutnya membentuk zona sesar. Di dalam zona sesar mendatar, umumnya sesar ini membentuk segmen-segmen sesar yang merencong.

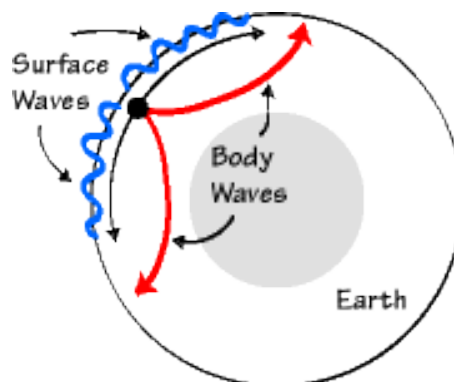


Gambar 6. Sesar mendatar atau *strike-slip fault* (Satriadi, 2015)

C. Gelombang Seismik

Gelombang gempa atau disebut juga gelombang seismik merupakan gelombang yang menjalar di dalam bumi yang disebabkan oleh adanya deformasi struktur di bawah bumi akibat adanya tekanan ataupun tarikan karena sifat keelastisitasan kerak bumi. Gelombang seismik menyebar ke segala arah dan bergerak sangat cepat. Gelombang seismik terkuat berada di wilayah yang dekat dengan episenter dan melemah saat gelombang menyebar. Kecepatan gelombang seismik dipengaruhi oleh kekakuan (rigiditas) dan kerapatan lapisan sebagai medium bagi perambatan gelombang.

Gelombang seismik dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu gelombang badan (*body wave*) dan gelombang permukaan (*surface wave*). Seperti ditunjukkan pada Gambar 7, gelombang badan menjalar di dalam bumi sedangkan gelombang permukaan menjalar di permukaan bumi.



Gambar 7. Gelombang badan dan gelombang permukaan (Ammon, 2005)

1. Gelombang Badan

Gelombang badan merupakan gelombang yang menjalar melalui bagian dalam bumi dan menjalar ke segala arah di dalam bumi atau biasa disebut *free wave*.

Berdasarkan gerak partikel pada media dan arah penjarannya, gelombang ini dibagi menjadi 2 macam yaitu :

a) Gelombang Primer

Gelombang Primer atau gelombang P terjadi karena adanya tekanan dan mempunyai kecepatan rambat gelombang lebih cepat daripada kecepatan rambat gelombang S sehingga akan terdeteksi pertama oleh seismograf. Partikel medium saat dilalui gelombang ini bergerak bolak-balik searah dengan arah rambat gelombang yang mempengaruhi pergerakan partikel tersebut. Gelombang ini disebut juga dengan gelombang longitudinal. Menurut Kayal (2008), kecepatan penjaran gelombang P ditulis dengan persamaan :

$$V_p = \sqrt{\frac{k + \frac{4}{3}\mu}{\rho}} \quad (1)$$

dimana V_p adalah kecepatan gelombang P (m/s), k adalah modulus bulk (Pa), μ adalah rigiditas atau modulus geser (N/m^2), dan ρ adalah densitas atau kerapatan material yang dilalui gelombang (Kg/m^3).

b) Gelombang Sekunder

Gelombang sekunder atau gelombang S merupakan salah satu gelombang badan yang memiliki gerak partikel tegak lurus terhadap arah rambatnya, gelombang ini disebut juga gelombang transversal. Gelombang ini menjalar lebih lambat dibandingkan dengan gelombang primer, tetapi memancarkan energi lebih banyak. Kecepatan gelombang S rata-rata $2/3$ kali kecepatan gelombang primer (Roosa, 2006). Gelombang S hanya dapat merambat pada medium padat.

Persamaan penjalaran gelombang S ditulis dengan persamaan (Dentith & Mudge, 2014):

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

dimana μ adalah rigiditas atau modulus geser (N/m^2) dan ρ adalah densitas atau kerapatan material yang dilalui gelombang (kg/m^3).

2. Gelombang Permukaan

Gelombang permukaan merupakan gelombang yang merambat di permukaan bumi. Gelombang ini menjalar lebih lambat daripada gelombang badan, namun mengakibatkan kerusakan yang lebih besar. Hal ini dikarenakan gelombang permukaan membutuhkan waktu yang lebih lama untuk melewati permukaan bumi. Terdapat dua jenis gelombang permukaan yaitu gelombang Rayleigh dan gelombang Love.

a) Gelombang Rayleigh

Gelombang Rayleigh merupakan salah satu gelombang permukaan yang terbentuk dari interferensi antara gelombang P dengan S vertikal dan merambat sepanjang *free-surface*. Orbit gerakan partikelnya berupa gerakan *elliptic* dengan sumbu mayor ellips tegak lurus dengan permukaan dan arah penjarannya (Telford *et al.*, 1990). Gelombang Rayleigh memiliki kecepatan antara 2,0 – 4,2 km/s di dalam bumi, dengan besar amplitudonya menurun secara eksponensial sebagai fungsi kedalaman (Hidayati, 2010). Kecepatan rambat gelombang Rayleigh ditulis dengan persamaan (Elnashai & Sarno, 2008):

$$V_r = 0,92 \sqrt{V_s} \quad (3)$$

dimana V_r adalah kecepatan gelombang Rayleigh (km/s) dan V_s adalah kecepatan gelombang geser (km/s).

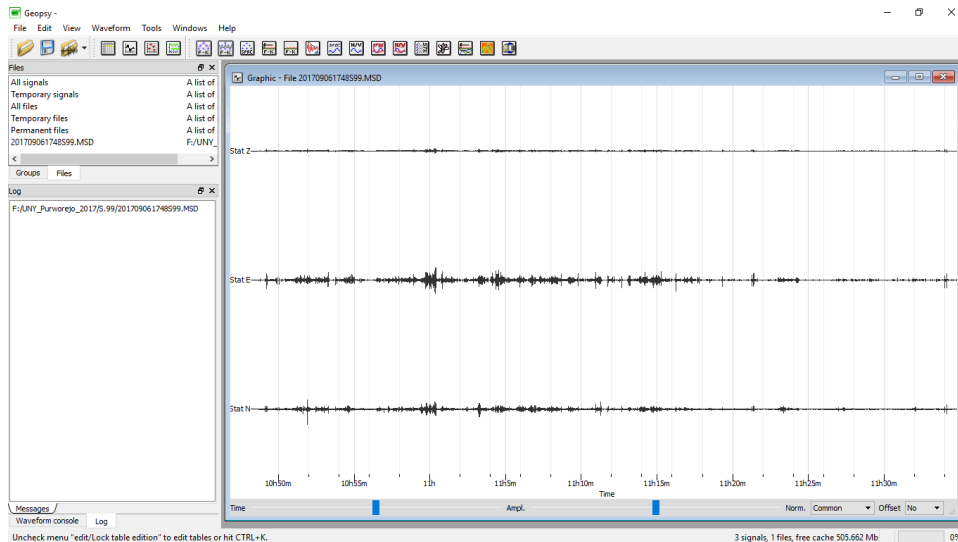
a. Gelombang Love

Gelombang Love adalah gelombang permukaan yang terdiri dari pergerakan parallel gelombang S secara horizontal pada permukaan (Sheriff dan Geldart, 1995). Gelombang ini yang menyebabkan tanah mengalami pergeseran pada arah horizontal. Gelombang Love mempunyai kecepatan di permukaan bumi (V_L) sebesar 2,0 km/s hingga 4,4 km/s (Hidayati, 2010). Gelombang ini terbentuk akibat interferensi konstruktif dari pantulan-pantulan gelombang seismik pada permukaan bebas dan tidak dapat merambat di medium cair. Gelombang ini bergerak lebih cepat daripada gelombang Rayleigh (Patimah, 2017).

D. Mikrotremor

Mikrotremor adalah getaran tanah yang sangat kecil dan terjadi secara terus menerus yang disebabkan oleh aktivitas alam maupun buatan. Aktivitas alam dihasilkan dari interaksi seperti angin, arus laut, dan gelombang laut, sedangkan aktivitas buatan dihasilkan dari aktivitas manusia seperti lalu lintas, industri, dan aktivitas manusia lainnya di permukaan bumi (Arai dan Tokimatsu, 2004). Mikrotremor merupakan *noise* dengan periode pendek yang berasal dari sumber artifisial. Gelombang ini bersumber dari segala arah yang saling beresonansi (Lang dan Schwarz, 2004). Karakteristik sinyal mikrotremor mencerminkan karakteristik batuan di suatu daerah. Penelitian mikrotremor juga banyak dilakukan pada studi

struktur tanah (*soil investigation*) untuk mengetahui keadaan bawah permukaan tanah.



Gambar 8. Contoh data sinyal mikrotremor di Kecamatan Bagelen

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 seperti pada Gambar 8. Sinyal mikrotremor mempunyai amplitudo antara $0,1 \mu\text{m}$ sampai $1 \mu\text{m}$ dengan rentang periodenya $0,05$ sampai 2 detik (Ibrahim dan Subardjo, 2005). Berdasarkan rentang periodenya, mikrotremor diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu periode pendek dan periode panjang. Mikrotremor periode pendek berada pada periode kurang dari 1 detik. Periode ini hanya terkait dengan struktur bawah permukaan yang dangkal. Sementara itu, mikrotremor periode panjang berada pada periode lebih dari 1 detik dan terkait dengan struktur yang lebih dalam menuju ke dasar batuan keras (Utami, 2017). Observasi mikrotremor dapat digunakan untuk mengetahui karakteristik

lapisan tanah berdasarkan frekuensi predominannya dan faktor penguatan gelombangnya (amplifikasi).

Kegunaan dari survei mikrotremor di antaranya (Putri, 2016):

- 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.
- Menjelaskan struktur bawah permukaan tanah di tempat survei mikrotremor dilakukan.

E. Metode HVSR

Metode HVSR adalah penentuan rasio sinyal vertikal dengan sinyal horizontal yang diperoleh dari pengukuran sinyal mikrotremor pada suatu lokasi untuk mengetahui karakteristik dinamis lapisan permukaan (Nakamura, 1989). Metode ini adalah metode yang sederhana, sehingga hasil yang didapatkan untuk mengetahui kondisi tanah masih bersifat umum. HVSR cukup efektif untuk mengkaji karakteristik dinamis lapisan tanah permukaan penyebab terjadinya *local site effect* saat terjadi gempa bumi. *Site effect* (T_{SITE}) pada lapisan sedimen permukaan ditentukan dengan membandingkan faktor amplifikasi dari gerakan horizontal (T_H) dengan faktor amplifikasi dari gerakan vertikal (T_V) (Daryono *et al.*, 2009).

$$T_{SITE} = \frac{T_H}{T_V} \quad (4)$$

Besarnya faktor amplifikasi horizontal (T_H) yang dirumuskan Nakamura adalah:

$$T_H = \frac{S_{HS}}{S_{HB}} \quad (5)$$

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

Besarnya faktor amplifikasi vertikal (T_V) yang dirumuskan Nakamura adalah:

$$T_V = \frac{S_{VS}}{S_{VB}} \quad (6)$$

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. Pada sinyal mikrotremor, gelombang Rayleigh menjadi gelombang yang mendominasi di antara gelombang lainnya. Pengaruh gelombang Rayleigh pada rekaman sinyal mikrotremor memiliki besar yang sama untuk komponen vertikal dan horizontal saat rentang frekuensi 0,2 Hz – 20,0 Hz, sehingga rasio spektrum komponen horizontal dan vertikal di batuan dasar mendekati satu (Bour *et al.*, 1998).

$$\frac{S_{HB}}{S_{VB}} \approx 1 \quad (7)$$

apabila dibulatkan menjadi

$$\frac{S_{HB}}{S_{VB}} = 1 \quad \text{atau} \quad \frac{S_{VB}}{S_{HB}} \approx 1 \quad (8)$$

Rasio spektrum antara komponen horizontal dan vertikal di batuan dasar mendekati nilai satu. Maka dari itu dengan substitusi persamaan (5), (6), dan (8) ke

persamaan (4), akan didapat persamaan (9), persamaan tersebut menjadi dasar perhitungan rasio spektrum sinyal mikrotremor komponen horizontal terhadap komponen vertikalnya yang dinyatakan dengan

$$HVSR = T_{SITE} = \frac{S_{HS}}{S_{VS}} = \frac{\sqrt{[(S_{UTARA-SELATAN})^2 + (S_{BARAT-TIMUR})^2]}}{S_{VERTIKAL}} \quad (9)$$

Metode HVSR menghasilkan spektrum mikrotremor dengan puncak spektrum berada pada frekuensi predomannya. Parameter-parameter yang dihasilkan berupa nilai frekuensi dominan (f_0) dan faktor amplifikasi (A_0) yang memberikan informasi mengenai karakteristik dinamis dan struktur lapisan tanah (Nakamura, 2000).

1. Frekuensi Dominan (f_0)

Nilai frekuensi dominan berkaitan dengan kedalaman bidang pantul bagi gelombang di bawah permukaan, dimana bidang pantul tersebut merupakan batas antara sedimen lepas dengan batuan keras, sehingga semakin kecil frekuensi yang terbentuk dari pemantulan gelombang tersebut menunjukkan bahwa semakin tebal sedimennya atau semakin dalam bidang pantul gelombang tersebut. Frekuensi dominan merupakan nilai frekuensi yang kerap muncul sehingga diakui sebagai nilai frekuensi dari lapisan batuan di wilayah tersebut yang dapat menunjukkan jenis dan karakteristik batuan tersebut. Nilai frekuensi yang sangat rendah meningkatkan kerentanan terhadap guncangan gempa bumi dengan periode yang panjang (Putri, 2016). Kanai mengklasifikasi jenis tanah berdasarkan nilai frekuensi dominan yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. 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 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	10 – 4	Batuan alluvial, dengan ketebalan 5m, 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

2. Faktor Amplifikasi

Faktor amplifikasi gempa bumi adalah faktor pembesaran percepatan gempa yang terjadi pada permukaan tanah akibat 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 dan 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 fisika lapisan tanah dan batuan, seperti batuan mengalami deformasi (pelapukan, pelipatan, dan pergeseran) yang mengubah sifat fisik batuan. Pada batuan yang sama nilai amplifikasi 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	$A \geq 9$

F. Metode Inversi

Inverse modelling merupakan suatu metode untuk memperkirakan nilai numerik parameter model berdasarkan data hasil observasi menggunakan model tertentu, serta melakukan pencocokan data (*data fitting*) untuk mencari parameter model yang menghasilkan model yang cocok (*fit*) dengan data pengamatan (Patimah, 2017). Salah satu metode dari pemodelan ke belakang adalah metode *ellipticity curve*. Pengolahan data metode *ellipticity curve* dapat dilakukan menggunakan program Dinver pada *software* Geopsy. Metode ini dipengaruhi oleh

beberapa parameter input sebagai inialisasi awal dari sifat fisis tanah di wilayah penelitian. Parameter-parameter tersebut di antaranya V_s , V_p , ρ , dan σ yang mempunyai nilai berbeda-beda berdasarkan formasi geologinya. Metode ini digunakan untuk mendapatkan parameter kecepatan gelombang geser permukaan (V_s) di titik pengukuran mikrotremor.

Inversi gelombang Rayleigh adalah suatu proses yang dilakukan untuk mendapatkan parameter-parameter elastis kurva dispersi (*ellipticity curve*) yang tidak diketahui sebelumnya. Tingkat keakuratan dari proses ini dapat dilihat dari *error (misfit)* yang semakin kecil nilai *error* dari proses iterasi maka profil kecepatan gelombang geser yang diperoleh semakin baik.

1. Poisson Ratio (σ)

Poisson *ratio* menggambarkan sifat elastisitas batuan yang mengindikasikan tingkat rekahan (*fracturing*) pada batuan tersebut yang mana nilai Poisson *ratio* akan lebih tinggi dari kondisi normal pada batuan yang terisi cairan (Manzella, 1990). Persamaan Poisson *ratio* dapat dituliskan sebagai berikut (Telford *et al.*, 1990):

$$\sigma = \frac{(V_p/V_s)^2 - 2}{2[(V_p/V_s)^2 - 1]} \quad (10)$$

dengan σ adalah Poisson *ratio*, V_p adalah kecepatan gelombang primer (m/s), dan V_s adalah kecepatan gelombang geser (m/s). Nilai Poisson *ratio* untuk material yang berbeda ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Harga Poisson *ratio* dari batuan sedimen (Ostander, 1984)

Jenis Batuan	Poisson <i>Ratio</i>
Lempung Green River	0,22 – 0,30
Sedimen Laut Dangkal	0,45 – 0,50
Sedimen <i>Consolidated</i> :	
Tersaturasi Brine	0,20 – 0,30
Tersaturasi Gas	0,01 – 0,14
Batuan Pasir Sintetik :	
Tersaturasi Brine	0,41
Tersaturasi Gas	0,10
Batuan Pasir Otawa :	
Tersaturasi Brine	0,41
Tersaturasi Gas	0,10

2. Densitas (ρ)

Densitas atau massa jenis merupakan perbandingan antara massa dengan volume total. Densitas pada setiap batuan berbeda beda tergantung pada material penyusun batuan dan faktor lain. Pada umumnya semakin bertambah kedalaman batuan maka densitas juga semakin besar karena tekanan hidrostatik batuan tersebut semakin besar. Semakin besarnya tekanan menyebabkan batuan mengalami kompresi sehingga semakin rapat lapisan suatu batuan yang menyebabkan semakin besar densitas batuan. Besarnya densitas suatu batuan juga bergantung pada besarnya porositas suatu batuan. Semakin besar porositas suatu batuan mengindikasikan semakin besar pula massa suatu batuan yang hilang atau rongga batuan makin besar. Hal ini menyebabkan densitas batuan semakin berkurang (Setiawan, 2009). Nilai variasi densitas tiap batuan ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai variasi densitas batuan (Telford *et al.*, 1990)

Jenis Batuan	Batas (Mg/m ³)	Jenis Batuan	Batas (Mg/m ³)	Jenis Batuan	Batas (Mg/m ³)
Batuan Sedimen		Batuan Metamorf		Batuan Beku	
<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>Phylite</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>	1,80-2,20	<i>Granulite</i>	2,52-2,70	<i>Basalt</i>	2,70-3,30
<i>Sand</i>	1,20-2,40	<i>Amphibolite</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				

3. Kecepatan Gelombang Primer dan Kecepatan Gelombang Sekunder

Parameter kecepatan gelombang primer (V_p) dan kecepatan gelombang sekunder (V_s) telah dijelaskan pada sub bab sebelumnya yaitu pada sub bab gelombang seismik, sedangkan tabel klasifikasi tanah berdasarkan nilai V_p dan V_s ditunjukkan pada Tabel 5, 6, dan 7.

Tabel 5. Data nilai V_s pada beberapa jenis batuan (Daryono, 2011)

Material	Kecepatan Gelombang Geser V_s m/s)
Beton	2000
Granit	3500-380
Dolerit	2960-3450
Andesit	2440-3500
Basal	3600-3700
Lempung	380-1000

Tabel 6. Klasifikasi *site* berdasarkan nilai V_s 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 sangat padat dan Batuan Lunak	$350 < V_s \leq 750$
Tanah Sedang	$175 < V_s \leq 350$
Tanah Lunak	$V_s < 175$

Tabel 7. Data kecepatan gelombang primer pada beberapa medium (Burger, 1992)

Batuan	Variasi V_p (m/s)
Tanah	250 – 600
Pasir	200 – 1000
Pasir tersaturasi	800 – 2200
Pasir dan kerikil	4921 – 6561
Lempung	1000 – 2500
Endapan lempung	3281 – 8202

G. Penampang Seismik Kurva H/V

Kurva H/V merupakan kurva yang merepresentasikan kondisi geologi setempat berdasarkan respon dinamis getaran alami di permukaan dan bawah permukaan (Wibowo *et al.*, 2018). Selain 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 persamaan (9) tentang dasar persamaan metode HVSR, maka spektrum dalam domain perioda dapat diubah dalam 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 resonansi (f_r) dapat ditulis dengan persamaan berikut (Wibowo *et al.*, 2018) :

$$f_r = n \frac{V_s}{\lambda} \quad (11)$$

Frekuensi resonansi yang berkaitan dengan ketebalan sedimen lunak terjadi pada *fundamental mode* ($n=1$) dan akan berulang pada setiap kelipatan ganjil dari $\lambda/4$, sehingga persamaan dapat dituliskan sebagai :

$$f_r = \frac{V_s}{\lambda} \text{ atau } f_0 = \frac{V_s}{4h} \quad (12)$$

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) :

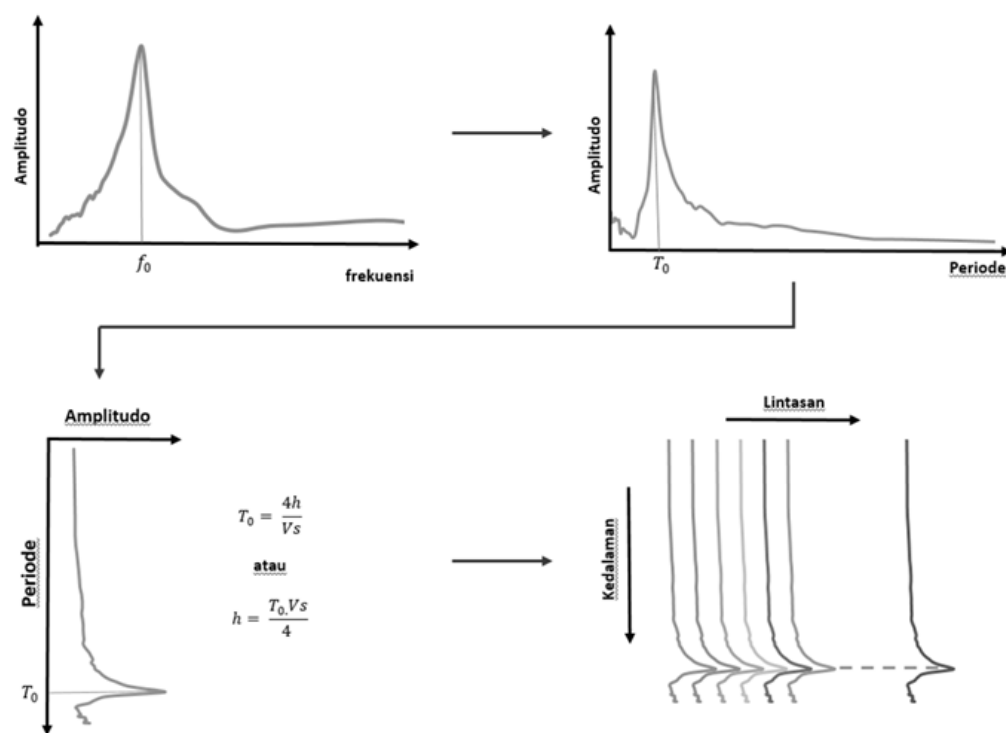
$$T_0 = \frac{4h}{V_s} \quad (13)$$

maka kedalaman sedimen dapat dirumuskan dengan persamaan :

$$h = \frac{T_0 V_s}{4} \quad (14)$$

Berdasarkan persamaan (14), 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 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. H/V Rotate

Dalam dua dekade terakhir, analisis mikroseismik telah menemukan aplikasi yang luas dalam teknik seismologi dan gempa bumi, terutama untuk tujuan mikrozonasi dan bahaya gempa. Sinyal seismik diproses dengan menghitung rasio spektral horizontal-ke-vertikal (HVSR) dan analisis polarisasi *wavefield* yang ada.

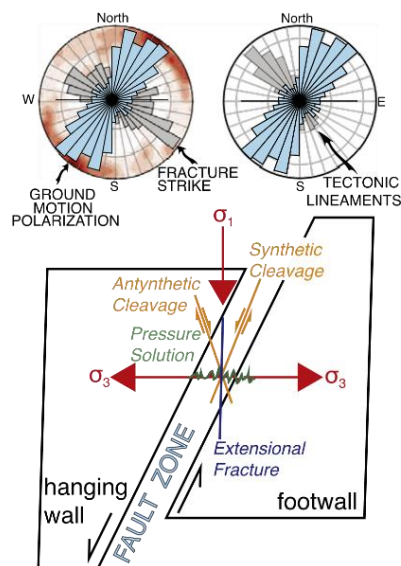
Namun dalam beberapa tahun terakhir, telah dikembangkan analisis mikroseismik yang dapat memperkirakan orientasi rekahan pada zona sesar.

Gelombang seismik mengalami peningkatan amplitudo saat merambat dari media dengan kerapatan tinggi ke rendah atau dari batuan kaku ke lapisan sedimen. Kecepatan gelombang lebih rendah saat melewati tanah lunak atau sedimen dan energinya terjebak di antara diskontinuitas *bedrock*. Adanya batuan yang terdeformasi dengan kerapatan retak yang tinggi dan modulus elastisitas yang berkurang secara lokal menyebabkan penguatan gelombang seismik di zona sesar (Pischiutta *et al.*, 2017), sehingga metode ini membuka perspektif baru dalam penggunaan data mikrotremor untuk memperkirakan orientasi dominan jaringan rekahan di zona sesar dengan menganalisis sumber arah amplifikasinya.

Untuk mengetahui arah sumber gelombang, sebuah metode analisis diterapkan yang menggabungkan rasio spektral horizontal ke vertikal (HVSR) dengan perhitungan sudut polarisasi horizontal dalam domain waktu (Pischiutta *et al.*, 2012). Analisis yang dilakukan adalah melakukan perhitungan ulang dengan memutar dua komponen horizontal dari 0° sampai 180° dengan interval 10° . Dengan cara demikian, HVSR menunjukkan sejauh mana gerakan horizontal diperkuat dibandingkan gerakan vertikal, sebagai fungsi frekuensi dan arah gerakan yang memungkinkan pendeteksian sumber gelombang. Metode ini disebut juga metode *H/V rotate*.

Untuk mendapatkan perkiraan lebih lanjut polarisasi gerak tanah horizontal secara independen dari komponen vertikal, dapat diterapkan metode matriks

kovarians dalam domain waktu dalam bentuk diagram mawar (*rose diagram*). Diagram *rose* merepresentasikan arah rata-rata polarisasi horizontal gerak di setiap stasiun. Diagram *rose* diplot di setiap stasiun dengan skala dimensi sesuai dengan puncak amplitudo HVSR. Hasil dari metode H/V *rotate* adalah histogram melingkar yang mewakili polarisasi horizontal gerakan tanah pada masing-masing stasiun. Arah polarisasi diagram *rose* merepresentasikan adanya deformasi batuan yang berupa jalur sesar dengan sudut kira-kira 90° pada sesar normal (*normal fault*) dan sudut lebih kecil yaitu sekitar 60° - 70° pada sesar mendatar (*strike slip fault*).



Gambar 10. Sketsa arah diagram *rose* dengan zona sesar (Panzera *et al.*, 2014)

I. Geologi Regional Wilayah Penelitian

Daerah penelitian terletak pada Kecamatan Bagelen Kabupaten Purworejo. Secara geografis sebagian besar wilayah Kecamatan Bagelen merupakan daerah pegunungan yang terbentang dalam gugusan Lereng Menoreh, dengan sedikit persawahan dan ladang (Pemerintah Kecamatan Bagelen, 2017). Kecamatan ini

merupakan wilayah Pegunungan Kulon Progo bagian selatan yang merupakan bagian dari kompleks Pegunungan Serayu Selatan yang terletak di ujung bagian timur. Ujung bagian timur dari Serayu Selatan dibentuk oleh *dome* yang independen dari Gunung Progo Barat (1.022 m) di antara Purworejo dan Sungai Progo di mana pada kaki-kaki pegunungan di sekeliling kubah tersebut banyak dijumpai sesar-sesar yang membentuk pola radial. Daerah penelitian ini merupakan bagian dari daerah pengangkatan yang membentuk *dome* (kubah) yang luas, disebut sebagai *Oblong dome*. Panjang *dome* (kubah) tersebut sekitar 32 km pada arah utara-selatan, dan 20 km pada arah barat-timur (Bammelen, 1949).

Berdasarkan Gambar 3, Kabupaten Purworejo khususnya Kecamatan Bagelen merupakan wilayah yang terdiri atas empat formasi batuan. Keempat formasi batuan tersebut yaitu: Formasi Aluvium, Formasi Kebo Butak, Formasi Andesit, dan Formasi Dasit.

1. Formasi Aluvium

Formasi aluvium merupakan formasi termuda yang berumur kuartar. Formasi ini terdiri atas kerakal, pasir, lanau, dan lempung sepanjang sungai yang besar dan dataran pantai. Formasi Aluvium berupa endapan-endapan serta berhubungan dengan aluvium rombakan bahan vulkanik gunung api (Rahardjo *et al.*, 1995).

2. Formasi Kebo Butak

Formasi Kebo Butak atau disebut juga Andesit Tua 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 (Rahardjo *et al.*, 1995). Formasi Kebo Butak ini memiliki ketebalan mencapai 500 meter dan berada di atas Formasi Nanggulan. Batuan penyusun formasi ini berasal dari aktivitas vulkanik di daerah tersebut. Formasi ini menyusun Pegunungan Kulon Progo dan merupakan hasil aktivitas dari Gunung Api Andesit Tua yang terdiri dari Gunung Gajah di bagian tengah pegunungan, Gunung Ijo di bagian selatan serta Gunung Menoreh di bagian utara (Bammelen, 1949). Formasi ini pada bagian bawah sebagai Kebo *Beds* yang terdiri atas serpihan batu pasir, konglomerat halus, dengan sisipan retas-lempeng (*sill*) diabas, kemudian Butak *Beds* yang menindih selaras Kebo *Beds*, disusun oleh aglomerat berselingan dengan batu pasir dan serpih. Formasi Kebobutak terbentuk pada Miosen Awal hingga Miosen Tengah (Bothe, 1929).

3. Andesit

Andesit merupakan batuan terobosan yang diperkirakan memiliki umur miosen. Material ini memiliki komposisi andesit hipersten sampai andesit augit hollenblenda dan trakiandesit (Rahadjo *et al.*, 1995).

4. Dasit

Sama halnya dengan Andesit, Dasit merupakan batuan terobosan yang diperkirakan juga memiliki umur miosen. Material ini tersusun dari Dasit yang menerobos ke Andesit (Rahadjo *et al.*, 1995).

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Kegiatan studi literatur dan survei telah dilakukan dari bulan Maret 2017 sampai bulan Agustus 2017 dan pengambilan data dilakukan pada tanggal 6-9 September 2017. Pengambilan data mikroseismik secara langsung dilakukan di kawasan Kecamatan Bagelen Kabupaten Purworejo yang terletak pada koordinat geografis $7^{\circ}46'40,58''-7^{\circ}49'23,99''$ LS dan $110^{\circ}1'22,65''-110^{\circ}3'33,46''$ BT. Pengambilan data ini mencakup 8 desa yaitu Kalirejo, Clapar, Hargorejo, Soko, Semagung, Semono, Sokoagung, dan Somorejo.

B. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini berupa perangkat keras dan perangkat lunak. Adapun perangkatnya adalah sebagai berikut:

1. Perangkat keras (*Hardware*)

Perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

a. *Seismograph*

Seismograph merupakan instrumen yang digunakan sebagai alat perekam sinyal seismik. *Seismograph* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Digital Portable Seismograph* yang terdiri dari seismometer, *digitizer*, antena GPS, dan

kabel penghubung. Sketsa rangkaian alat saat pengambilan data ditunjukkan pada Gambar 12.

1) Seismometer merk Taide tipe TDV-23S.

Seismometer merupakan instrumen yang digunakan untuk merekam getaran tanah yang dihasilkan oleh sumber alami dan buatan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11(a). Seismometer memiliki tiga detektor yang terletak di bagian bawah seismometer untuk mendeteksi getaran tanah (Meyers, 2011).

2) *Digitizer* merk Taide tipe TDL-303S

Digitizer yang terhubung pada seismometer berfungsi untuk mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital. *Digitizer* ditunjukkan pada Gambar 11(b).

3) Antena GPS

Antena GPS yang ditunjukkan pada Gambar 11(c) terhubung ke *digitizer* yang berfungsi untuk menerima data lokasi dan waktu dari satelit.

4) Kabel penghubung

Kabel penghubung berfungsi untuk menghubungkan seismometer, *digitizer* dan laptop yang ditunjukkan pada Gambar 11(d).

b. Laptop yang berfungsi untuk merekam data mikrotremor yang dihubungkan dengan *digitizer*.

c. *Global Positioning System* (GPS) merk Garmin tipe 78S digunakan untuk menentukan posisi pada setiap titik penelitian, dan untuk menandai koordinat lokasi.

- d. Peta Geologi Regional Yogyakarta dan Sekitarnya yang digunakan sebagai bahan analisis geologi.
- e. Kompas digunakan untuk menentukan arah pada saat memasang seismometer.
- f. *UPS* sebanyak tiga *unit* yang digunakan sebagai sumber baterai jika baterai *digitizer* habis.
- g. Lembar *check list survey* mikrotremor yang digunakan untuk mencatat keadaan lingkungan pada saat melakukan pengambilan data.
- h. Sekop yang digunakan untuk meratakan tanah sebelum meletakkan sensor.
- i. *Camera* ponsel digunakan untuk dokumentasi.
- j. Sel surya digunakan untuk cadangan jika baterai *digitizer* dan *UPS* habis.



(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 11. Set alat *Digital Portable Seismograph* (a) Seismometer merk Taide tipe TDV-23S, (b) *Digitizer* merk Taide tipe TDL-303S, (c) Antena GPS, (d) Kabel penghubung.



Gambar 12. Rangkaian alat pengambilan data (Wibowo *et al.*, 2018)

2. Perangkat Lunak (*software*)

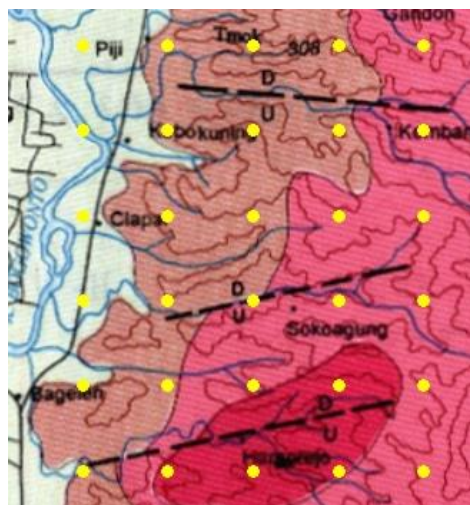
Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

- a. Google Earth digunakan untuk memperkirakan kondisi lokasi penelitian dan menentukan titik pengambilan data.
- b. Global Mapper 13 dari Blue Marble Geographics digunakan untuk memasukkan titik koordinat penelitian ke GPS dan memotong peta.
- c. Sesarray Geopsy versi 2.9.1 digunakan untuk mengolah data sinyal mikrotremor sehingga didapatkan kurva H/V dan H/V *rotate*.
- d. Program Dinver pada *software* Sesarray Geopsy digunakan untuk menganalisis kurva H/V menggunakan metode *ellipticity curve* (inversi gelombang Rayleigh) untuk mendapatkan nilai V_s .
- e. Surfer 11 digunakan untuk membuat rancangan desain survei maupun membuat mikrozonasi.
- f. Rockwork 16 digunakan untuk *modelling* 3D struktur bawah permukaan pada titik penelitian dan penggambaran arah amplifikasi dengan diagram *rose*.
- g. Excel digunakan untuk membuat grafik penampang seismik kurva H/V.

C. Teknik Pengambilan Data

1. Tahap Pembuatan Desain Survei

Pada tahap ini dilakukan survei lapangan ke daerah yang akan dilakukan penelitian yaitu Kecamatan Bagelen Kabupaten Purworejo dengan tujuan untuk mengetahui kondisi daerah penelitian dan mencari informasi terkait daerah penelitian seperti data administrasi, data kejadian bencana dan sebagainya. Selanjutnya membuat desain survei yang mencakup tiga sesar yang terdiri dari empat formasi yang berbeda-beda sehingga ditetapkan jumlah titik penelitian sebanyak 30 titik dengan jarak antar titik 1 km yang ditunjukkan pada Gambar 13.

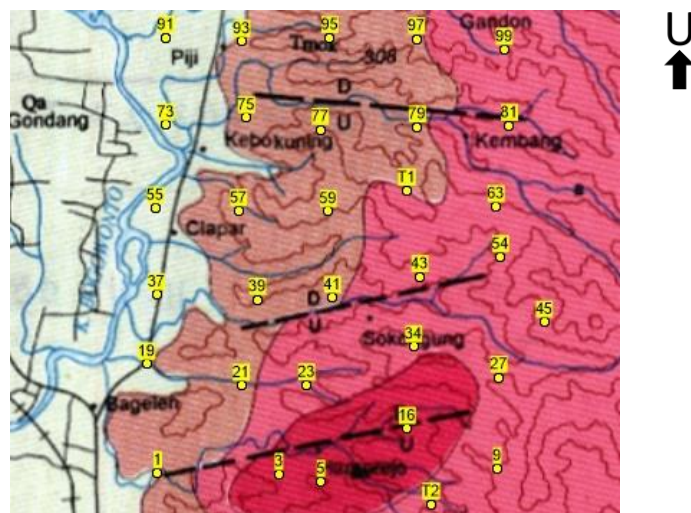


Gambar 13. Desain survei titik pengambilan data di Kecamatan Bagelen Kabupaten Purworejo

2. Survei Lokasi

Tahap selanjutnya setelah menentukan desain survei adalah melakukan survei lokasi. Survei ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui keadaan lokasi yang akan digunakan untuk pengambilan data mikrotremor dan mengetahui medan

yang dilalui agar lebih efisien saat pengambilan data. Setelah dilakukan survei lokasi, terdapat beberapa pergeseran titik lokasi penelitian dan penambahan titik lokasi penelitian dari desain awal. Hal ini dikarenakan pada desain awal terdapat beberapa lokasi titik penelitian yang tidak dapat dijangkau seperti bukit dan jurang, titik yang terletak di jalan atau di dekat tambang pasir sehingga dapat menyebabkan *noise*, titik yang terletak di sungai dan titik yang terletak di rumah warga. Desain survei setelah dilakukan survei lokasi menjadi 32 titik dengan titik lokasi penelitian ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14. Titik pengambilan data di Kecamatan Bagelen Kabupaten Purworejo

3. Pengambilan Data di Titik Penelitian

Pengambilan data dilakukan pada semua titik penelitian sebanyak 32 titik dengan frekuensi *sampling* 100 Hz selama ± 30 menit. Durasi tersebut mengacu pada durasi pengukuran yang disarankan oleh SESAME (2004) yang ditunjukkan pada Tabel 8. Namun pengambilan data lebih dari 30 menit dilakukan pada beberapa titik yang berlokasi di tempat yang terdapat banyak *noise*.

Tabel 8. Persyaratan teknis survei mikrotremor di lapangan (SESAME, 2004).

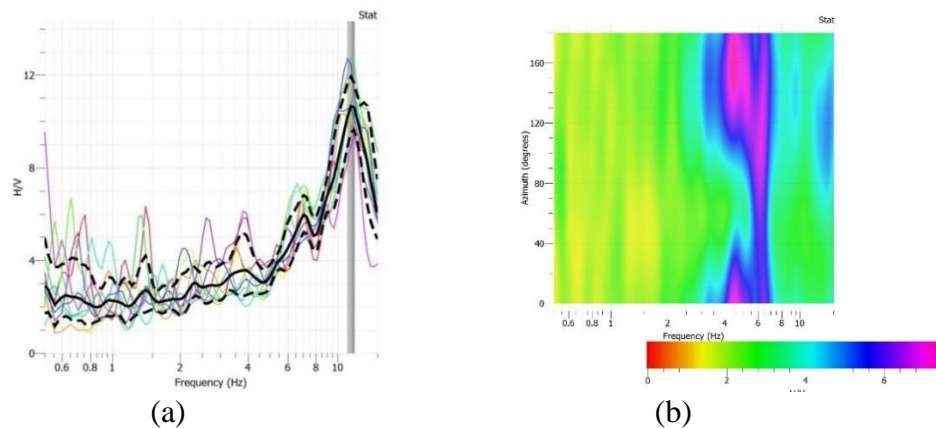
Jenis parameter	Saran yang dianjurkan	
	<i>fg</i> minimum yang diharapkan (Hz)	Durasi pencatatan minimum yang disarankan (menit)
Durasi pencatatan	0,2	30
	0,5	20
	1	10
	2	5
	5	3
	10	2
	<i>Coupling soilsensor</i> alami (insitu)	<ul style="list-style-type: none"> • Tempatkan sensor langsung pada permukaan tanah • Hindari menempatkan sensor seismograf pada permukaan tanah lunak (lumpur, semak-semak) atau tanah lunak setelah hujan.
<i>Coupling soilsensor</i> buatan atau artifisial	<ul style="list-style-type: none"> • Hindari lempengan yang terbuat dari material lunak seperti karet atau busa. • 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	<ul style="list-style-type: none"> • Hindari pengukuran dekat dengan bangunan, gedung bertingkat, dan pohon yang tinggi, jika tiupan angin di atas ± 5 m/detik. Kondisi ini sangat mempengaruhi hasil analisa HVSR yang ditunjukkan dengan kemunculan frekuensi rendah pada kurva. • Hindari pengukuran di lokasi tempat parkir, pipa air dan gorong-gorong. 	
Kondisi Cuaca	<ul style="list-style-type: none"> • Angin: Lindungi sensor dari angin (lebih cepat dari 5 m/s). • Hujan: Hindari pengukuran pada saat hujan lebat. Hujan ringan tidak memberikan gangguan berarti. • Suhu: Mengecek kondisi sensor dan mengikuti instruksi pabrik. 	
Gangguan	<ul style="list-style-type: none"> • Sumber monokromatik: hindari pengukuran mikrotremor dekat dengan mesin, industri, pompa air, generator yang sedang beroperasi. • 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 setelah gangguan tersebut hilang. 	

Hasil dari pengukuran secara otomatis tersimpan pada *digitizer* berupa data mentah sinyal getaran mikrotremor dalam fungsi waktu yang dapat ditampilkan pada laptop menggunakan *software* Monost. Sinyal getaran ini terdiri dari 3 komponen, yaitu 2 komponen horizontal dan 1 komponen vertikal. Komponen horizontal terdiri dari sinyal *North-South* dan sinyal *East-West*, sedangkan komponen vertikal merupakan sinyal getaran *Up and Down*.

D. Teknik Analisis Data

Teknis analisis data dilakukan beberapa tahap yaitu :

1. Analisis Sinyal Mikrotremor



Gambar 15. (a) Kurva H/V sebagai fungsi frekuensi dan faktor amplifikasi (b) Kurva H/V *Rotate*

Sinyal mikrotremor yang didapat dari hasil pengukuran dianalisis menggunakan *software* Sesarray Geopsy. Selanjutnya dilakukan proses *windowing* yaitu pemilihan sinyal tanpa *noise* dan *cutting* yaitu memotong sinyal untuk dianalisis menggunakan metode HVSR sehingga didapatkan kurva H/V seperti

pada Gambar 15(a). Dari kurva H/V didapatkan nilai frekuensi dominan (f_0) dan nilai faktor amplifikasi (A_0). Selain itu sinyal mikrotremor dari hasil *cutting* juga dianalisis menggunakan H/V *Rotate* agar didapat nilai amplifikasi beserta arahnya dalam derajat yang ditunjukkan pada Gambar 15(b).

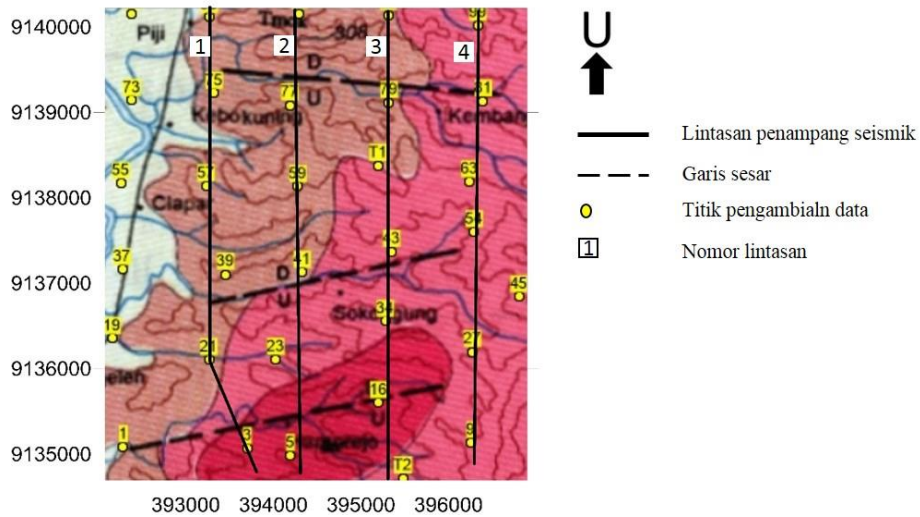
2. Mikrozonasi Nilai Frekuensi Dominan (f_0) dan Faktor Amplifikasi (A_0)

Nilai frekuensi dominan dan faktor amplifikasi yang didapat dari kurva H/V pada setiap titiknya menjadi *input* untuk membuat mikrozonasi atau pemetaan. Dalam pembuatan mikrozonasi digunakan *software* Surfer dengan *overlay* titik koordinat, nilai f_0 atau A_0 , peta topografi dan koordinat sesar. Hasil dari mikrozonasi berupa *contour* warna pada lokasi penelitian yang menggambarkan nilai f_0 ataupun A_0 .

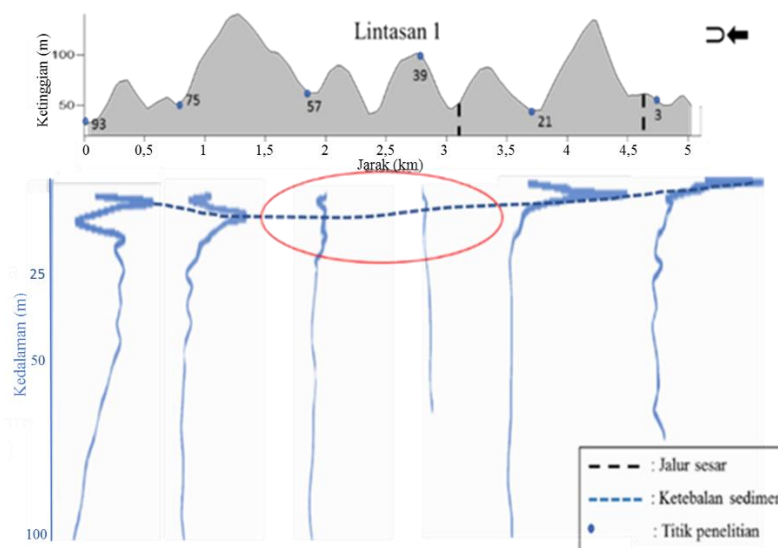
3. Analisis Penampang Seismik Kurva H/V

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 dari hasil analisis menggunakan metode *ellipticity curve* menjadi data *input*. Data f_0 diubah menjadi T_0 selanjutnya dianalisis dengan mengacu pada persamaan (14), domain periode dapat diubah menjadi domain kedalaman. Hasil dari analisis masing-masing titik penelitian digabung menjadi lintasan penampang seismik. Lintasan ini dibuat dengan melakukan penyayatan titik-titik penelitian yang berpotongan dengan sesar seperti pada Gambar 16, sehingga memudahkan dalam mengidentifikasi sesar pada lintasan penampang seismik tersebut. Hasil dari

penggabungan kurva H/V yang membentuk sebuah penampang dalam lintasan ditunjukkan pada Gambar 17.



Gambar 16. Sayatan jalur penampang seismik kurva H/V

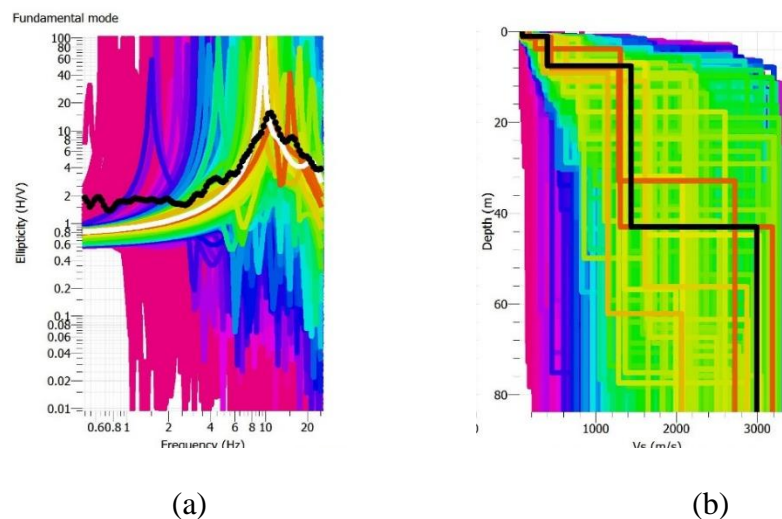


Gambar 17. Lintasan penampang seismik kurva H/V pada daerah penelitian

4. Analisis Lapisan Bawah Permukaan dengan Metode *Ellipticity Curve*

Hasil pengolahan sinyal mikrotremor dengan metode HVSR disimpan dalam bentuk .hv yang selanjutnya dianalisis menggunakan program Dinver pada software Sesarray Geopsy dengan metode *ellipticity curve*. Selain kurva H/V,

terdapat parameter model awal yang menjadi masukan dalam pengolahan ini. Parameter tersebut 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 pengolahan ini 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. Nilai V_s dan kedalamannya pada setiap lapisan menjadi data *input* dalam pengolahan selanjutnya. Hasil analisis menggunakan program Dinver ditunjukkan pada Gambar 18.



Gambar 18. (a) *Ellipticity curve* dengan garis hitam adalah model terbaik (b) *Ground profiles V_s*

5. Pemodelan 3D Struktur Bawah Permukaan Berdasar Nilai V_s Menggunakan *Software* Rockwork 16

Data nilai kecepatan gelombang geser (V_s) dan kedalamannya yang didapat dari *ground profiles* hasil pengolahan menggunakan metode *ellipticity curve* digunakan sebagai *input* pemodelan 3D menggunakan *software* RockWork 16. Pemodelan ini akan mempermudah dalam mengidentifikasi sesar dengan

menganalisis struktur bawah permukaannya. Penyayatan *solid model* secara vertikal juga dilakukan untuk memudahkan dalam mengidentifikasi sesar secara lebih detail.

6. Analisis H/V *Rotate* di Kawasan Sesar

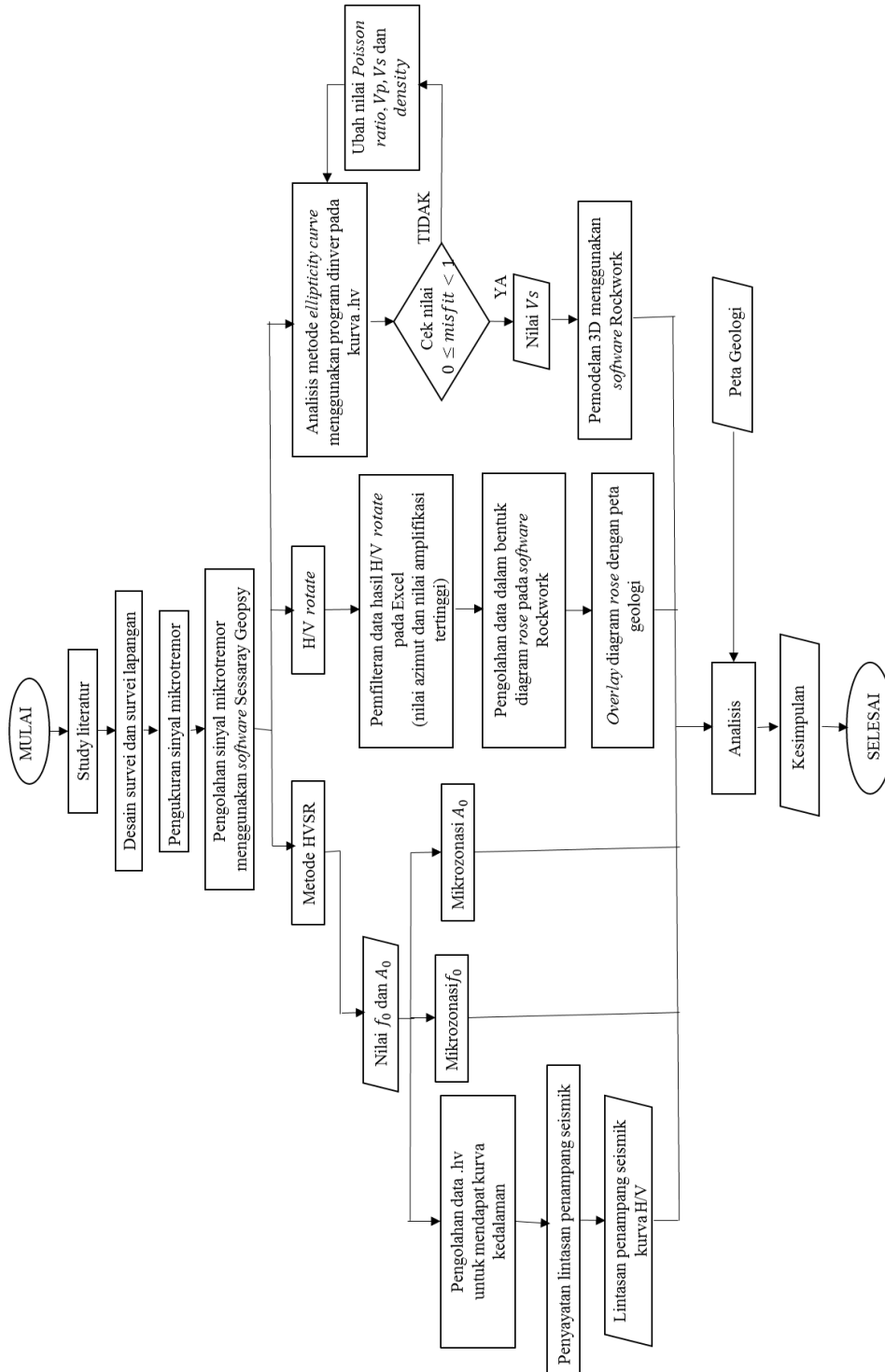
Hasil pengolahan sinyal mikrotremor menggunakan H/V *rotate* pada *software* Sesarray Geopsy disimpan dalam bentuk .txt dan dibuka pada *software* Excel untuk mendapatkan data nilai amplifikasi dan nilai derajat azimuthnya. Data dengan nilai amplifikasi tinggi beserta nilai derajat azimuthnya akan menjadi *input* untuk pengolahan selanjutnya yaitu pengolahan diagram *rose*. Diagram *rose* yang dihasilkan pada pengolahan menggunakan *software* Rockwork 16 dapat memudahkan dalam merepresentasikan arah sumber gelombang. Pembacaan arah dari diagram *rose* pada tiap titik menggunakan 16 arah mata angin agar lebih terspesifikasi arahnya, 16 arah tersebut ditunjukkan pada Gambar 19. Diagram *rose* pada setiap titik penelitian yang terletak di kawasan sesar kemudian dipetakan agar terlihat polanya.



Gambar 19. Nama 16 arah mata angin beserta derajatnya

E. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 20.



Gambar 20. Diagram alir penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Lokasi penelitian ini berada pada Kecamatan Bagelen Kabupaten Purworejo yang merupakan daerah pegunungan yang terbentang dalam gugusan Lereng Menoreh. Secara fisiografi, daerah penelitian merupakan bagian dari daerah pengangkatan yang membentuk *dome* (kubah) yang luas, disebut sebagai *oblong dome*. Kondisi geologi lokasi penelitian terdiri dari empat formasi batuan, yaitu endapan Aluvium, Formasi Kebo Butak, Formasi Andesit dan Formasi Dasit. Selain formasi batuan yang kompleks, pada lokasi penelitian juga terdapat 3 dugaan jalur sesar minor yang saling sejajar membentang dari timur ke barat. Ketiga sesar ini tepatnya berada pada Desa Kalirejo, Clapar, Hargorejo, Soko, Semagung, Sokoagung, Semono, dan Somorejo.

Identifikasi kemungkinan adanya ketiga jalur sesar tersebut dikaji dengan metode mikroseismik yaitu dengan melakukan karakterisasi sinyal mikrotremor pada kawasan sesar menggunakan beberapa parameter. Parameter tersebut adalah frekuensi dominan (f_0), faktor amplifikasi (A_0), nilai kecepatan gelombang geser (V_s), arah sumber gelombang dan penampang seismik. Parameter-parameter tersebut dikembangkan menjadi model yang dapat dianalisis dan dapat diinterpretasikan kemungkinan adanya ketiga sesar di lokasi penelitian.

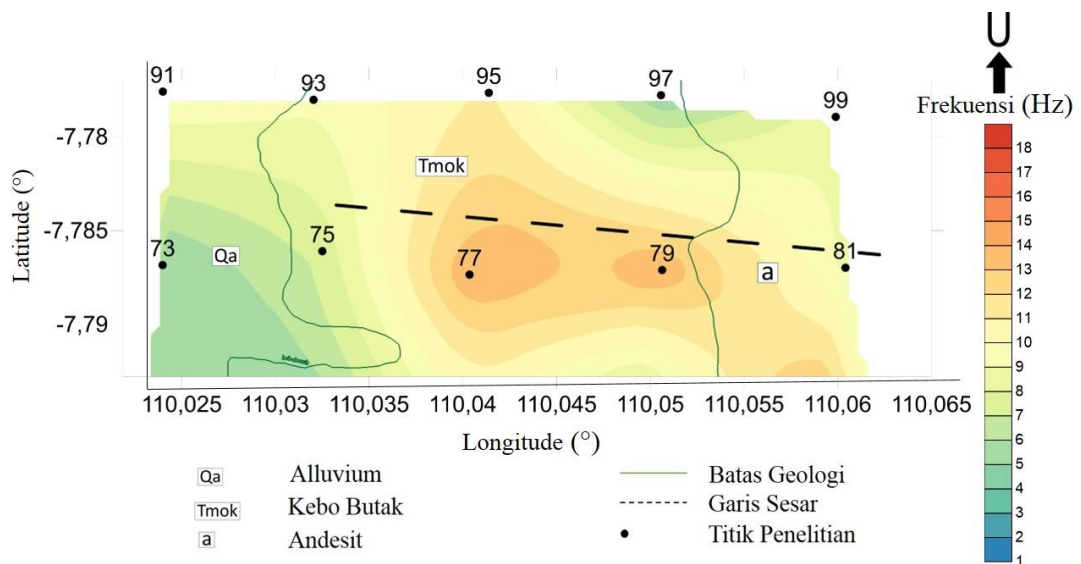
A. Mikrozonasi Frekuensi Predominan (f_0), Faktor Amplifikasi (A_0) dan Penampang Seismik Kurva H/V

Frekuensi dominan dan faktor amplifikasi merupakan parameter berdasarkan kurva H/V yang dihasilkan dari pengolahan sinyal mikrotremor dengan metode HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*). Kurva H/V mempunyai kriteria yang merujuk pada standar yang ditetapkan dalam SESAME *European Research Project*. Kriteria tersebut berupa kriteria *reliable* dan *clear peak* (SESAME, 2004). Kriteria *reliable* dan *clear peak* dikaji dari hasil pengolahan metode HVSR di tiap titik penelitian untuk mengetahui apakah kurva H/V hasil pengolahan memenuhi standar berdasarkan SESAME *European Research Project*. Kriteria *reliable* dan *clear peak* pada masing-masing titik penelitian ditunjukkan pada Lampiran 1. Informasi yang diperoleh dari kurva H/V seperti pada Gambar 15(a) dapat merepresentasikan kondisi geologi setempat dalam bentuk parameter frekuensi dominan dan faktor amplifikasi. Nilai frekuensi dominan dan faktor amplifikasi pada setiap titik penelitian dapat dibuat peta mikrozonasi.

1. Mikrozonasi Frekuensi Predominan (f_0)

Frekuensi dominan merupakan parameter yang mencerminkan kondisi fisik tanah. Nilai frekuensi dominan berkaitan dengan kedalaman bidang pantul suatu gelombang di bawah permukaan. Bidang pantul tersebut merupakan batas antara sedimen dengan batuan keras. Nilai frekuensi dominan yang tinggi menggambarkan sedimen pada daerah tersebut tipis, sedangkan nilai frekuensi dominan rendah mengindikasikan sedimen atau tanah lunak pada daerah

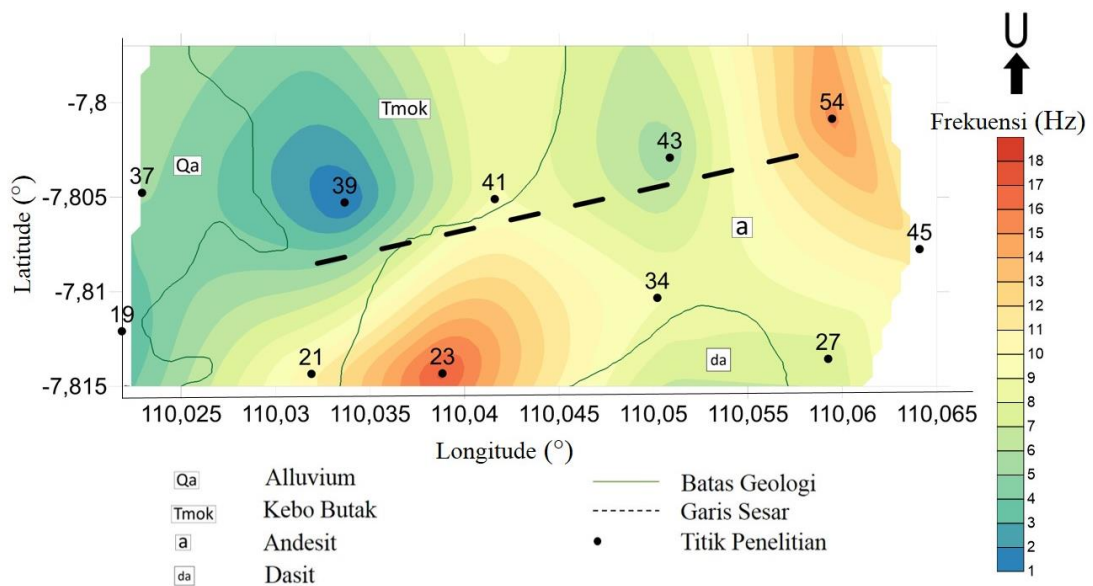
tersebut tebal (Pratama, 2017). Mikrozonasi frekuensi dominan disajikan menjadi tiga bagian berdasarkan daerah sesar, yaitu sesar utara pada Gambar 21, sesar tengah pada Gambar 22, dan sesar selatan pada Gambar 23.



Gambar 21. Mikrozonasi nilai f_0 pada kawasan sesar utara daerah penelitian

Nilai frekuensi dominan pada kawasan sesar utara cenderung lebih tinggi dibandingkan daerah sekitarnya. Persebaran nilai frekuensi dominan pada kawasan tersebut bervariasi dengan *range* nilai 4,67Hz - 13,97 Hz. Berdasarkan klasifikasi Kanai pada Tabel 1, nilai frekuensi dominan yang digambarkan dengan warna hijau pada peta mikrozonasi tergolong pada tanah jenis II yang ketebalan sedimen permukaannya masuk dalam kategori menengah yaitu 5 – 10 meter. Area tersebut merupakan endapan Aluvium yang terdiri dari kerakal, kerikil, pasir dan lumpur. Area tengah jalur sesar utara mempunyai nilai frekuensi dominan yang lebih tinggi dibanding daerah sekitarnya yang divisualisasikan dengan warna *cream* hingga *orange*. Berdasarkan klasifikasi Kanai, area tersebut tergolong pada tanah jenis I yang mempunyai ketebalan sedimen sangat tipis dan

didominasi oleh batuan keras. Pada peta geologi, area tersebut berada pada Formasi Kebobutak yang terdiri dari batuan tuff, aglomerat, lava andesit dan breksi andesit. Batuan-batuan tersebut merupakan batuan dengan umur yang berbeda-beda. Area tersebut terletak pada topografi yang tinggi sehingga sedimen pada kawasan tersebut tipis.

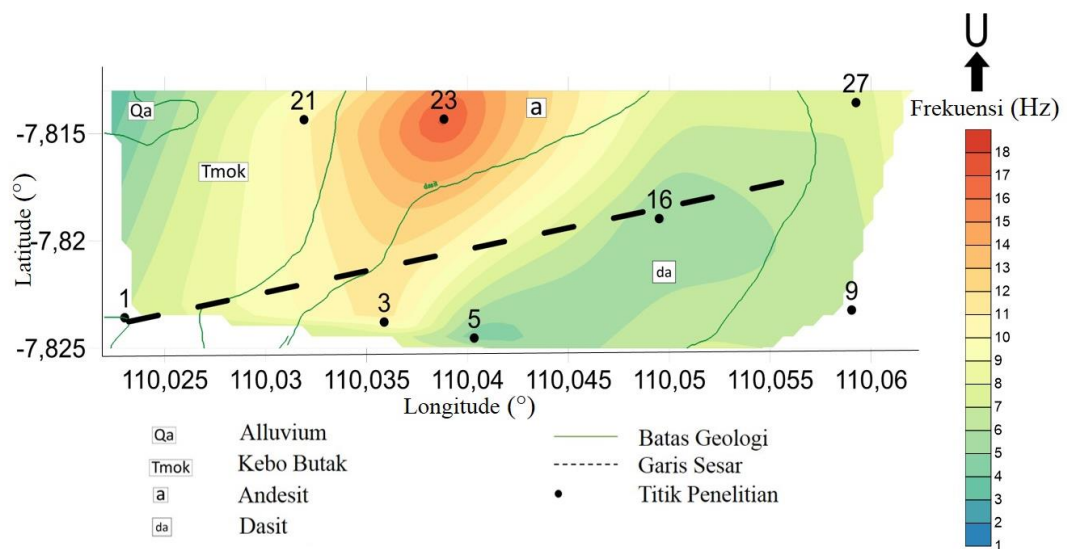


Gambar 22. Mikrozonasi nilai f_0 pada kawasan sesar tengah daerah penelitian

Pola persebaran nilai frekuensi dominan pada kawasan sesar tengah daerah penelitian bervariasi dengan *range* nilai yang besar yaitu 0,78 Hz - 17,43 Hz. Berdasarkan klasifikasi Kanai, area titik 39 yang digambarkan dengan warna biru hingga biru kehijauan tergolong dalam tanah jenis IV dimana ketebalan sedimennya sangat besar yaitu lebih dari 30 m. Area ini berada pada Formasi Kebobutak dan Aluvium dengan topografi yang datar. Area titik 23, dan area titik 54 tergolong dalam tanah jenis I yang ketebalan sedimennya sangat tipis. Area ini berada pada Formasi Andesit. Formasi Andesit merupakan intrusi batuan yang

tergolong dalam batuan keras sehingga nilai frekuensi dominan cenderung tinggi dan sedimen permukaannya tipis.

Terdapat perbedaan nilai frekuensi dominan yang signifikan antara area utara jalur sesar bagian barat dengan area selatan jalur sesar bagian barat. Hal ini menandakan adanya perbedaan kedalaman lapisan di bawahnya, sehingga dimungkinkan adanya patahan atau sesar di antara kedua kawasan tersebut.



Gambar 23. Mikrozonasi nilai f_0 pada kawasan sesar selatan daerah penelitian

Persebaran nilai frekuensi dominan pada kawasan sesar selatan mempunyai *range* 4,34 – 17, 44 Hz. Berdasarkan klasifikasi Kanai, area titik 23 tergolong dalam tanah jenis I yaitu ketebalan sedimennya sangat tipis. Titik ini berada di tengah antara sesar tengah dan sesar selatan. Area titik 5 dan titik 16 tergolong dalam tanah jenis II dimana ketebalan sedimen pada jenis tanah ini adalah 5 – 10 meter. Area tersebut berada pada batuan Dasit yang merupakan batuan intrusi atau terobosan dari batuan di sekitarnya. Batuan ini merupakan batuan keras yang mempunyai umur lebih muda dibandingkan batuan sekitarnya yang seharusnya

mempunyai ketebalan sedimen sangat tipis, sehingga adanya sedimen yang cukup tebal pada area tersebut bisa diduga disebabkan oleh terjadinya pelapukan pada batuan.

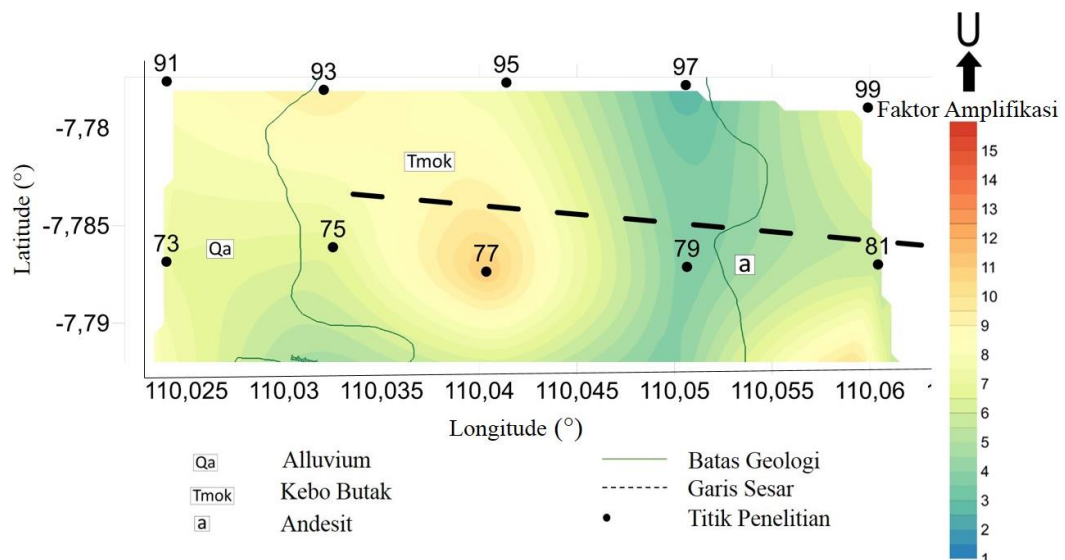
Persebaran nilai frekuensi dominan di kawasan jalur sesar selatan menunjukkan perbedaan yang signifikan antara area sebelah utara jalur sesar dan area sebelah selatan jalur sesar. Perbedaan nilai frekuensi dominan ini menunjukkan ketebalan sedimen yang berbeda secara signifikan sehingga dapat dimungkinkan adanya keberadaan jalur sesar pada kawasan tersebut.

2. Mikrozonasi Faktor Amplifikasi (A_0)

Faktor amplifikasi (A_0) merupakan parameter yang didapat dari pengolahan sinyal mikroseismik dengan metode HVSR. Faktor amplifikasi berhubungan dengan kerapatan batuan. Faktor amplifikasi berbanding terbalik dengan kecepatan gelombang geser (V_s), dimana semakin kecil kecepatan gelombang maka faktor amplifikasi semakin besar. Nilai amplifikasi dipengaruhi oleh variasi formasi geologi, ketebalan dan sifat-sifat fisika lapisan tanah dan batuan, seperti batuan mengalami deformasi (pelapukan, pelipatan, dan pergeseran) yang mengubah sifat fisik batuan, sehingga adanya patahan atau sesar dapat mempengaruhi nilai amplifikasi (Partono *et al.*, 2013). Mikrozonasi faktor amplifikasi disajikan dalam tiga bagian berdasarkan kawasan sesar yaitu sesar utara pada Gambar 24, sesar tengah pada Gambar 25, dan sesar selatan pada Gambar 26.

Gambar 24 merupakan mikrozonasi nilai faktor amplifikasi pada kawasan sesar utara di daerah penelitian dengan persebaran yang bervariasi dari 2,76 – 11,21.

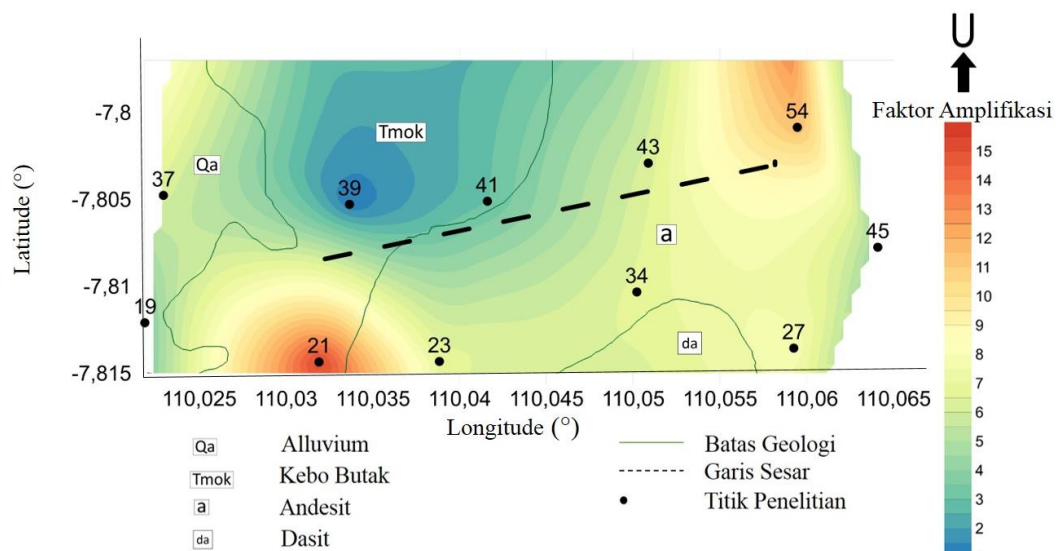
Area titik 77 dan 93 yang digambarkan dengan *contour* warna *cream* memiliki nilai faktor amplifikasi 9,55 - 11,21. Berdasarkan klasifikasi Ratdomopurbo yang ditunjukkan pada Tabel 2, area tersebut termasuk pada klasifikasi sangat tinggi ($A_0 \geq 9$). Kawasan tersebut sangat rentan jika terjadi gempa bumi, dimana gelombang yang merambat dari sumber akan diperbesar saat mencapai permukaan. Pada pembahasan mikrozonasi frekuensi dominan, area titik 77 mempunyai sedimen yang sangat tipis dan didominasi oleh batuan keras, sehingga nilai faktor amplifikasi yang tinggi kemungkinan disebabkan karena batuan mengalami perubahan fisik akibat adanya patahan atau sesar.



Gambar 24. Mikrozonasi nilai A_0 pada kawasan sesar utara daerah penelitian

Gambar 25 merupakan mikrozonasi faktor amplifikasi pada kawasan sesar tengah di daerah penelitian dengan persebaran nilai faktor amplifikasi yang bervariasi dan *range* yang signifikan yaitu 1,02 – 15,05. Area titik 21 dan 23 yang berada di selatan jalur sesar mempunyai nilai faktor amplifikasi 10,65 – 15,50. Area tersebut tergolong dalam kategori sangat tinggi. Area titik 54 juga tergolong dalam

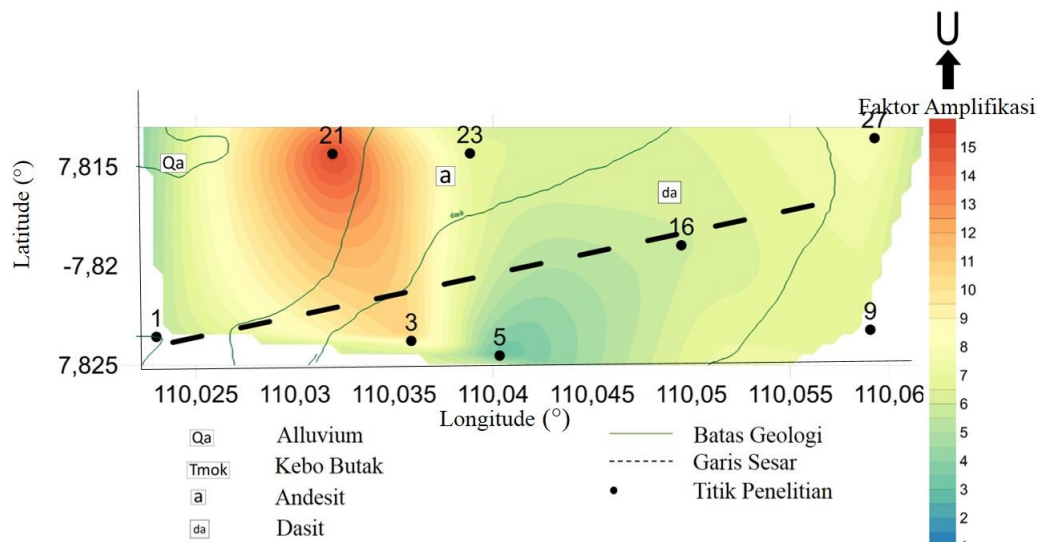
kategori sangat tinggi dengan nilai faktor amplifikasi 11,71, sedangkan area titik 39 dan 41 tergolong dalam kategori rendah dengan nilai faktor amplifikasi 1,02 – 2,96. Pola persebaran nilai ini hampir sama dengan persebaran nilai frekuensi predomannya dimana area utara jalur sesar bagian barat dengan area selatan jalur sesar bagian barat mempunyai perbedaan nilai yang signifikan, sedangkan kedua area ini berada pada formasi yang sama yaitu Formasi Kebobutak, sehingga dimungkinkan terdapat adanya jalur sesar pada area tersebut.



Gambar 25. Mikrozonasi nilai A_0 pada kawasan sesar tengah daerah penelitian

Gambar 26 merupakan mikrozonasi nilai faktor amplifikasi pada kawasan sesar selatan daerah penelitian dengan persebaran nilai yang bervariasi dan *range* yang cukup signifikan yaitu 2,97 – 15,51. Area titik 21 dan S23 yang tergolong dalam kategori sangat tinggi berada di utara sesar dimana area tersebut termasuk dalam Formasi Kebobutak. Daerah selatan sesar pada area titik 5 tergolong dalam kategori rendah. Area tersebut terletak pada batuan Dasit, dimana Dasit merupakan intrusi atau terobosan batuan berupa batuan keras sehingga kerapatan batumannya

tinggi sehingga nilai faktor amplifikasinya rendah. Pada kawasan sesar ini, tidak terlihat dengan jelas adanya pola persebaran yang merepresentasikan kemungkinan adanya jalur sesar.



Gambar 26. Mikrozonasi nilai A_0 pada kawasan sesar selatan daerah penelitian

Beberapa kawasan yang telah dikaji berdasarkan mikrozonasi nilai frekuensi dominan dan nilai faktor amplifikasi pada keadaan geologi tertentu merepresentasikan kemungkinan adanya keberadaan sesar. Namun representasi tersebut kurang bisa menjelaskan secara detail mengenai letak jalur sesar, panjang sesar maupun kedalaman, sehingga hanya sebatas mengetahui kemungkinan adanya jalur sesar.

3. Penampang Seismik Kurva H/V

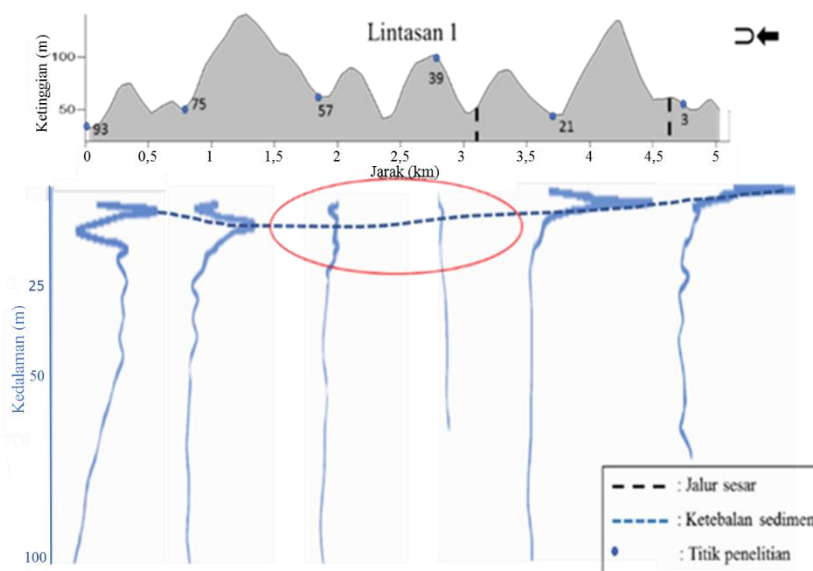
Kurva H/V hasil analisis pada *software* Sessaray Geopsy dapat merepresentasikan keadaan geologi daerah penelitian. Selain nilai frekuensi dominan dan faktor amplifikasi yang dapat memberikan informasi keadaan

geologi bawah permukaan lokasi penelitian, kurva H/V juga dapat dianalisis menjadi penampang seismik. Penampang seismik diinterpretasikan berdasarkan hubungan antara tiga parameter, yaitu ketebalan sedimen, periode dominan (T_0) dan kecepatan gelombang geser (V_s). Ketebalan sedimen di permukaan berkaitan langsung dengan nilai periode dominan, sehingga spektrum dalam domain periode dapat diubah ke dalam domain kedalaman untuk merepresentasikan ketebalan lapisan sedimen dan faktor amplifikasi di titik pengukuran.

Sayatan pada peta geologi yang dibuat menjadi lintasan seperti pada Gambar 16 menggambarkan keadaan topografi pada area yang disayat, sedangkan spektrum penampang seismik kurva H/V menggambarkan ketebalan sedimen bawah permukaan. Penggabungan lintasan dengan spektrum kedalamannya membentuk penampang seismik kurva H/V. Penampang seismik kurva H/V untuk masing-masing lintasan penelitian ditunjukkan pada Gambar 27, 28, 29, dan 30.

Gambar 27 menunjukkan penampang seismik pada lintasan 1, yaitu lintasan paling timur daerah penelitian. Lintasan 1 membentang dari utara ke selatan dan memotong dua sesar penelitian yaitu sesar tengah dan sesar selatan. Lintasan ini melalui keempat formasi pada daerah penelitian yaitu Aluvium, Formasi Kebobutak, Andesit, dan Dasit. Puncak kurva penampang seismik pada tiap titik menunjukkan batas antara sedimen dengan batuan. Sedimen pada lintasan ini bervariasi namun tidak signifikan, yaitu kurang dari 20 meter. Bagian selatan lintasan ini memiliki ketebalan sedimen yang lebih tipis dibandingkan pada bagian utara. Hal ini dikarenakan kawasan tersebut termasuk pada Formasi Andesit dan Dasit, yaitu formasi yang didominasi oleh batuan keras. Struktur kontrol pada

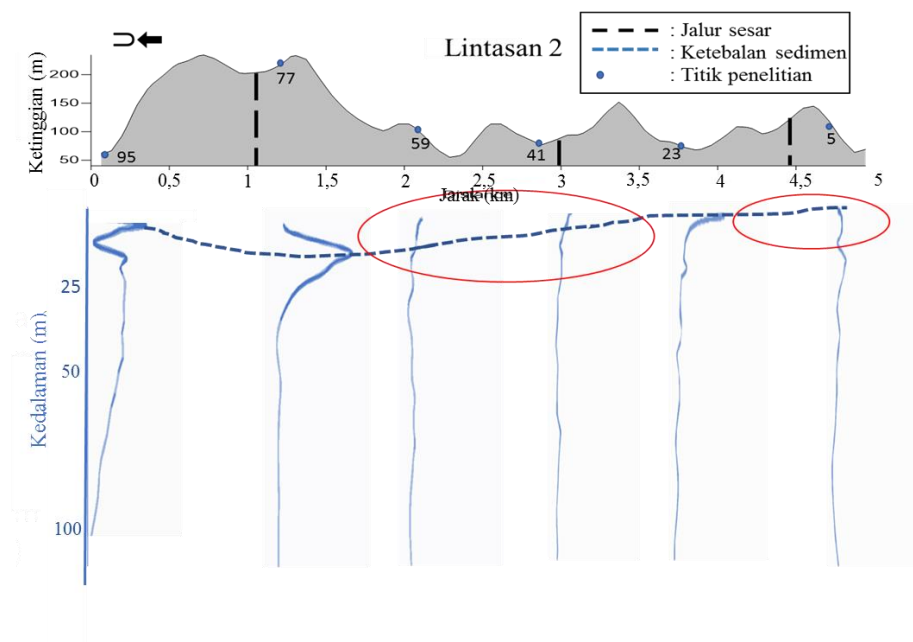
penampang seismik yang merepresentasikan keberadaan jalur sesar ditunjukkan oleh tidak jelasnya pola puncak kurva. Pola kurva H/V pada titik 39 dan 57 menunjukkan kontrol struktur yang merepresentasikan kemungkinan adanya jalur sesar tengah dengan tidak jelasnya puncak kurva. Daerah yang dimungkinkan terdapat jalur sesar ditandai dengan lingkaran berwarna merah yang berada pada jalur sesar tengah. Sedangkan pada kawasan jalur sesar selatan, pola puncak kurva H/V tidak merepresentasikan adanya jalur sesar.



Gambar 27. Penampang seismik kurva H/V lintasan 1 daerah penelitian

Gambar 28 merupakan penampang seismik pada lintasan 2 daerah penelitian. Lintasan ini membentang dari utara ke selatan yang memotong ketiga sesar pada daerah penelitian. Lintasan 2 melalui Formasi Kebobutak, Andesit dan Dasit. Ketebalan sedimen pada lintasan ini bervariasi, dengan ketebalan kurang dari 25 meter. Bagian utara lintasan memiliki ketebalan sedimen yang lebih besar dibandingkan bagian selatannya. Hal ini dikarenakan kawasan ini berada pada Formasi Kebobutak yang tergolong pada formasi dengan sedimen sedang.

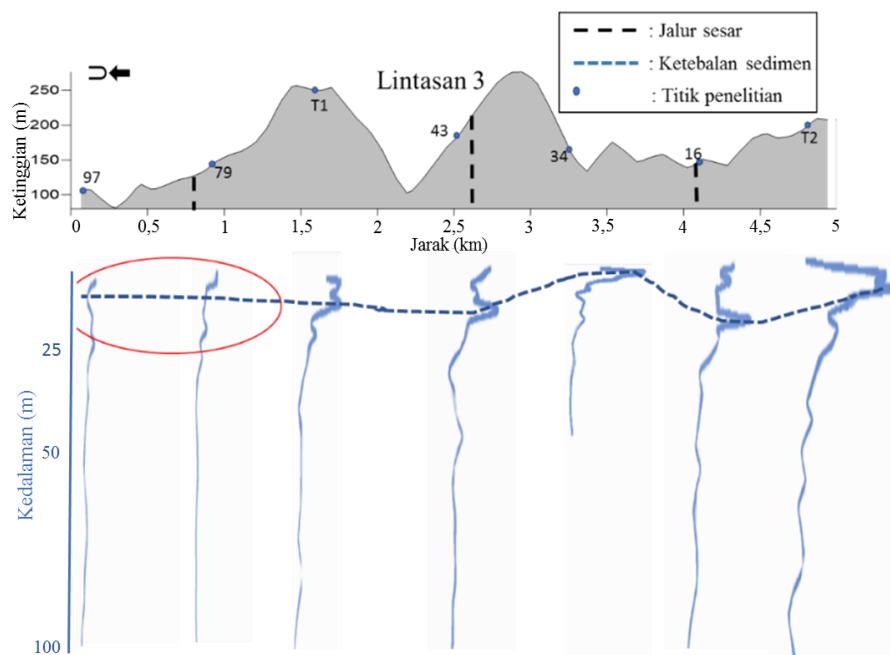
Sedangkan pada bagian selatan lintasan mempunyai ketebalan sedimen sangat tipis karena kawasan tersebut termasuk pada Formasi Andesit dan Dasit. Berdasarkan pola puncak kurva H/V penampang seismik, terdapat dua kawasan yang merepresentasikan kemungkinan adanya jalur sesar yaitu kawasan yang terletak pada titik 41 dan 59, serta kawasan di titik 5. Kedua kawasan ini berada pada jalur sesar berdasarkan peta geologi, yaitu sesar tengah dan sesar selatan. Pada jalur sesar utara, pola puncak kurva H/V tidak merepresentasikan adanya jalur sesar.



Gambar 28. Penampang seismik kurva H/V lintasan 2 daerah penelitian

Gambar 29 merupakan lintasan ketiga penampang seismik daerah penelitian yang membentang dari utara ke selatan dan memotong ketiga sesar daerah penelitian. Lintasan tersebut melalui Formasi Kebobutak, Andesit dan Dasit. Ketebalan sedimen pada lintasan tersebut bervariasi dan cukup signifikan, namun secara keseluruhan kedalaman sedimen kurang dari 25 meter. Pada bagian selatan lintasan ketebalan sedimennya tergolong sedang, meskipun kawasan ini termasuk

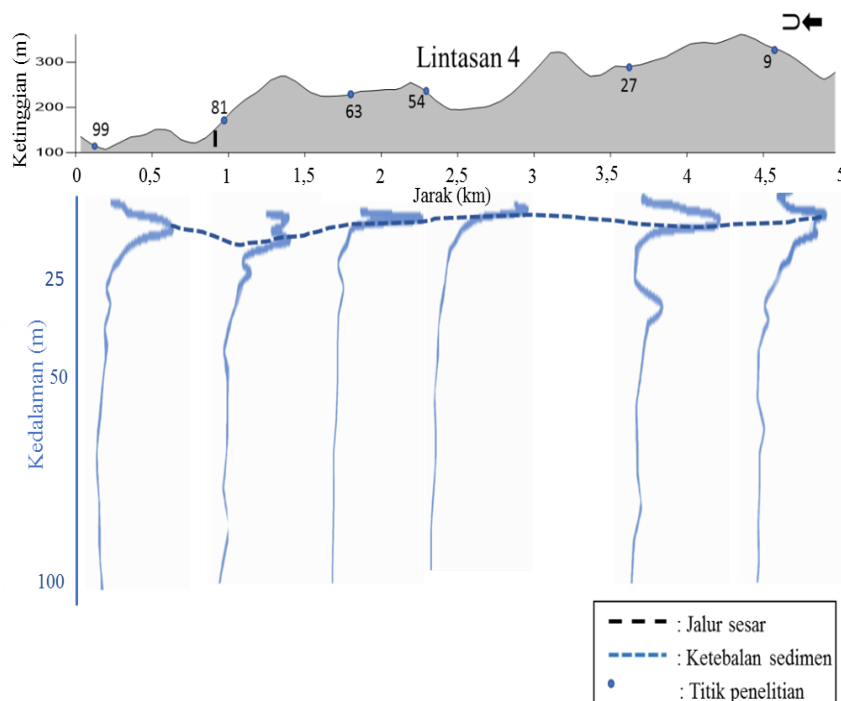
pada Formasi Dasit dimana formasi tersebut didominasi batuan keras. Ketebalan sedimen yang tergolong sedang dapat terjadi akibat batuan yang mengalami perubahan fisik karena terjadinya pelapukan atau deformasi berupa patahan atau sesar. Perbedaan ketebalan sedimen yang signifikan pada daerah titik 43, 34 dan 16 juga dapat dimungkinkan oleh adanya jalur sesar, namun pola puncak kurva H/V pada titik-titik tersebut tidak merepresentasikan adanya jalur sesar sehingga dimungkinkan jalur sesar tidak terletak pada jalur sesar yang tercantum di peta geologi. Sedangkan kawasan titik 97 dan 79 merepresentasikan kemungkinan adanya jalur sesar yang dicerminkan dari pola puncak kurva H/V yang menunjukkan kontrol struktur di kawasan tersebut. Kawasan ini berada pada jalur sesar utara berdasarkan peta geologi.



Gambar 29. Penampang seismik kurva H/V lintasan 3 daerah penelitian

Gambar 30 merupakan lintasan keempat yaitu lintasan paling barat pada daerah penelitian. Lintasan ini membentang dari utara ke selatan dan memotong

satu garis sesar yaitu sesar utara daerah penelitian. Lintasan 4 hanya melalui Formasi Dasit saja sehingga ketebalan sedimen pada lintasan ini hampir homogen dengan kedalaman kurang dari 20 meter. Berdasarkan pola puncak kurva H/V tidak ditemukan adanya titik yang merepresentasikan kemungkinan adanya jalur sesar. Titik 81 mempunyai ketebalan sedimen paling besar di antara yang lain, hal ini dimungkinkan karena adanya perubahan fisik batuan berupa pelapukan.



Gambar 30. Penampang seismik kurva H/V lintasan 4 daerah penelitian

B. Analisis Struktur Bawah Permukaan dan H/V *Rotate* di Kawasan Sesar

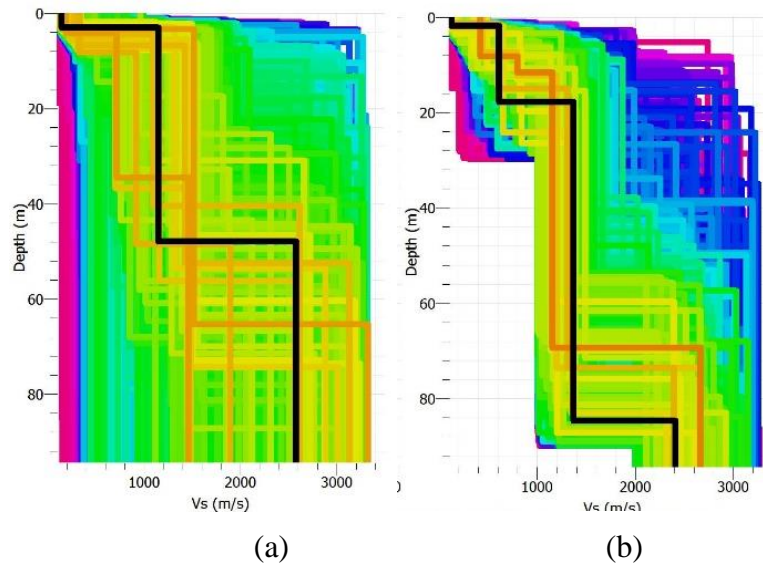
1. Analisis Struktur Bawah Permukaan

Ellipticity curve merupakan metode inversi untuk mengetahui struktur bawah permukaan (*ground profiles*) berdasarkan kurva H/V (Novianita, 2009). Penentuan parameter merupakan awal yang penting dilakukan sebagai inisialisasi

dalam metode ini. Parameter model yang dijadikan inputan yaitu V_s (kecepatan gelombang S), V_p (kecepatan gelombang P), *Poisson ratio*, dan massa jenis (densitas) batuan. Penentuan nilai parameter berbeda beda pada setiap titik karena didasarkan pada formasi geologi daerah penelitian. Berdasarkan informasi penyusun formasi batuan pada daerah penelitian, banyaknya lapisan pada pemodelan ini adalah 3 lapisan (*layer*) dan 4 lapisan (*layer*).

Pada kurva *ellipticity curve* yang ditunjukkan pada Gambar 18(a) terlihat beberapa macam warna garis yang menunjukkan macam model kurva dengan nilai *misfit* yang berbeda. Semakin kecil nilai *misfit* maka model kurva semakin mendekati model kurva referensi sehingga mendekati kondisi sebenarnya. Kurva dengan garis hitam menunjukkan kurva H/V sebagai model referensi untuk metode *ellipticity curve*, dan kurva dengan garis putih menunjukkan kurva hasil dari metode *ellipticity curve* dengan nilai *misfit* terkecil. Kurva pada *ellipticity curve* merupakan kurva yang merepresentasikan data dari nilai frekuensi dan nilai eliptisitas gelombang Rayleigh yang dapat digunakan untuk pemodelan *ground profiles* berdasarkan nilai V_s

Ground profiles merupakan hasil dari pengolahan data dengan metode *ellipticity curve* yang menggambarkan keadaan bawah permukaan berdasarkan nilai V_s . Nilai V_s pada setiap titik berbeda pada tiap lapisannya (*layer*), bergantung pada batuan yang tersusun pada titik tersebut. Banyaknya lapisan (*layer*) pada tiap titik penelitian juga berbeda, ditentukan dari informasi geologi daerah tersebut untuk kedalaman 100 meter.

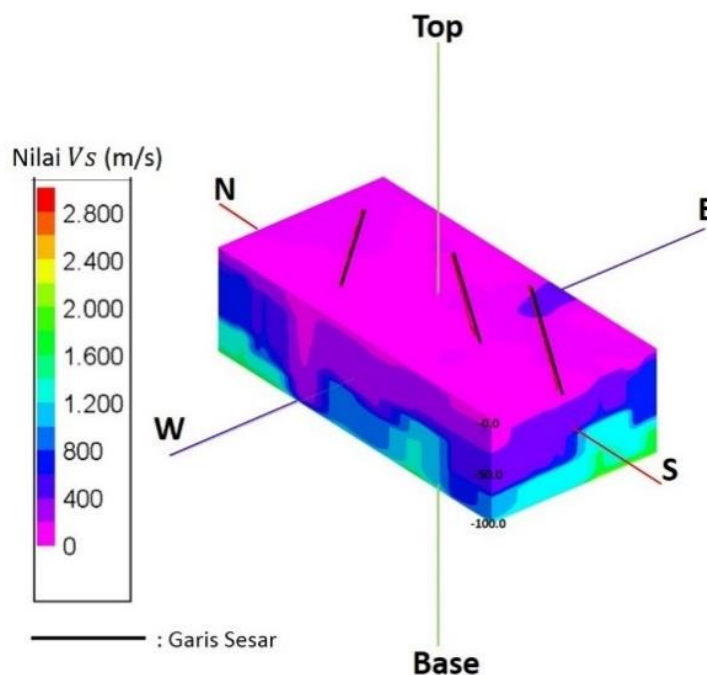


Gambar 31. *Ground profiles* V_s dengan variasi lapisan (a) *Ground profiles* dengan 3 lapisan pada titik 3 (b) *Ground profiles* dengan 4 lapisan pada titik 45 daerah penelitian.

Gambar 31 menunjukkan *ground profiles* V_s dengan jumlah lapisan yang berbeda. Gambar 31(a) adalah *ground profiles* V_s dengan 3 lapisan yang terletak pada titik 3 sedangkan 31(b) adalah *ground profiles* V_s dengan 4 lapisan yang terletak pada titik 45. Sumbu mendatar pada *ground profiles* menunjukkan nilai kecepatan gelombang geser (V_s) dengan satuan m/s dan sumbu vertikal menunjukkan kedalaman dengan satuan meter. Nilai V_s di tiap lintasan pada *ground profiles* menunjukkan perbedaan jenis material di bawah permukaan. Nilai V_s berbanding lurus dengan kerapatan (densitas) batuan atau material. Semakin rapat kerapatan batuan maka semakin besar nilai V_s dan begitu sebaliknya. Kerapatan batuan atau material berhubungan dengan jenis batuan sehingga metode ini memudahkan peneliti untuk mengetahui profil atau struktur di bawah permukaan. Nilai V_s beserta kedalamannya untuk semua titik selanjutnya menjadi data *input* pada pengolahan *Solid Model 3D*.

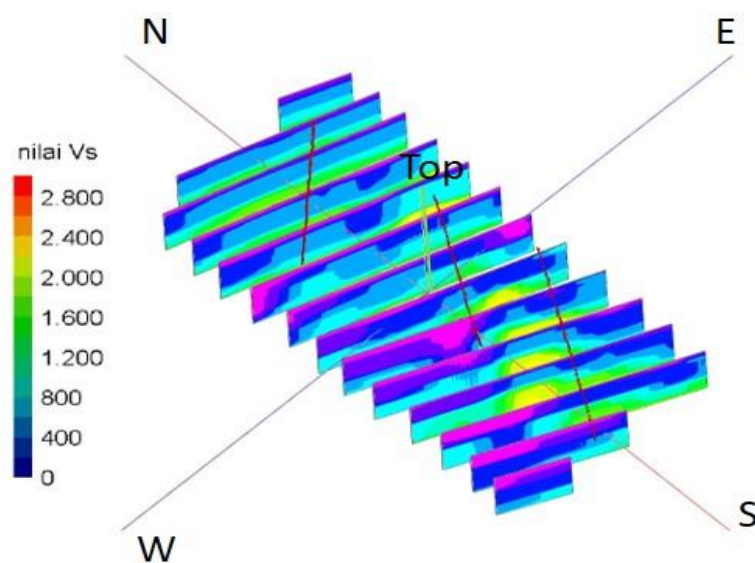
Data hasil *ground profiles* beserta nilai V_s di daerah penelitian secara lengkap terdapat pada Lampiran 3. Nilai V_s tertinggi terletak pada titik 34 dengan nilai sebesar 3215,25 m/s. Berdasarkan Tabel 6, nilai tersebut tergolong dalam batuan keras. Sedangkan nilai terendah pada daerah penelitian terletak pada titik 73 dengan nilai sebesar 47,113 m/s, dan tergolong pada tanah lunak. Maka dapat disimpulkan bahwa penyusun material pada daerah penelitian berupa tanah lunak hingga batuan keras.

Pemodelan 3D nilai V_s hasil dari metode *ellipticity curve* menggambarkan struktur bawah permukaan secara menyeluruh pada daerah penelitian. Hal tersebut memudahkan untuk melihat struktur bawah permukaan daerah penelitian sehingga dapat diketahui kemungkinan keberadaan jalur patahan atau sesar dari strukturnya. Pemodelan 3D yang mencakup 32 titik ditunjukkan pada Gambar 32.



Gambar 32. Model 3D nilai V_s daerah penelitian hasil metode *ellipticity curve*

Gambar 32 merupakan pemodelan struktur bawah permukaan secara 3D di daerah penelitian berdasarkan nilai V_s dengan kedalaman 100 meter. Nilai V_s divisualisasikan dengan skala warna dari warna ungu sebagai nilai terendah hingga merah sebagai nilai tertinggi. Berdasarkan Tabel 6, daerah penelitian terdiri dari tanah lunak ($V_s < 175$ m/s) hingga batuan keras ($V_s \geq 1500$ m/s). Garis berwarna hitam pada permukaan model, merupakan garis sesar berdasarkan peta geologi, dimana terdapat 3 jalur sesar minor yang tercakup dalam daerah penelitian. Berdasarkan Gambar 32, seluruh permukaan pada lokasi penelitian berupa sedimen, sehingga belum bisa diketahui keberadaan sesar jika ditinjau dari kondisi struktur tanah pada permukaan.



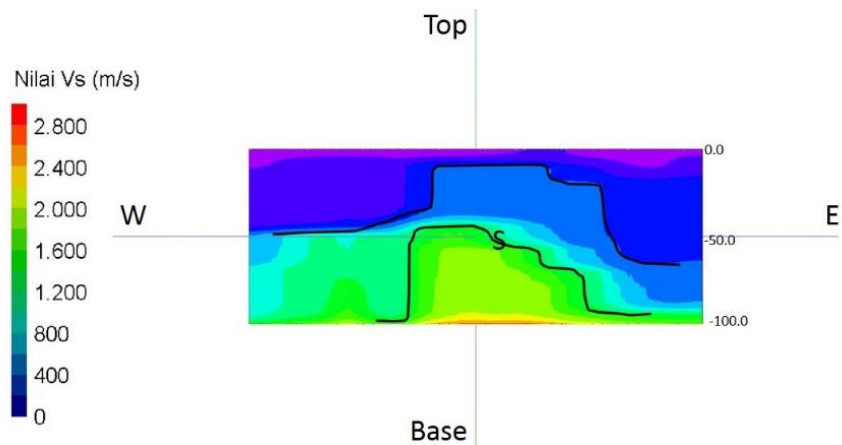
Gambar 33. 12 sayatan *solid model* 3D nilai V_s hasil metode *ellipticity curve*

Penyayatan pada *solid model* dilakukan untuk mempermudah dalam mengidentifikasi struktur bawah permukaan dengan lebih detail. Gambar 33 merupakan *solid model* nilai V_s dengan 12 sayatan yang arahnya tegak lurus

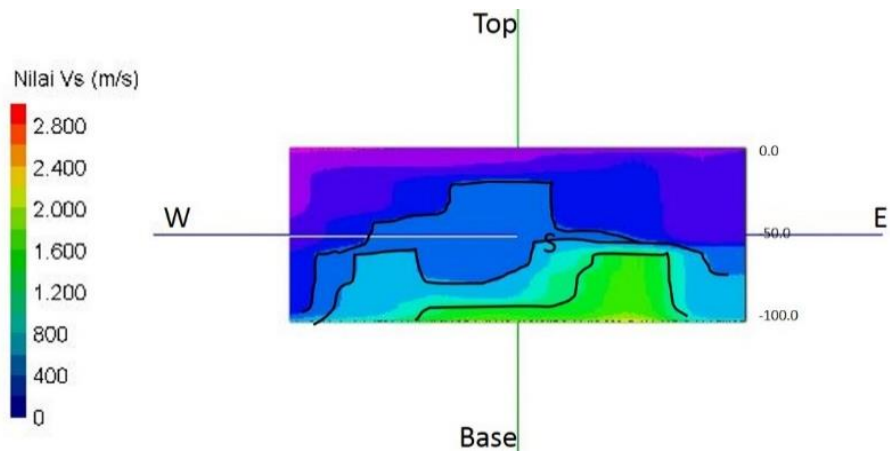
terhadap sesar. Pada penampang sayatan terlihat adanya perbedaan kedalaman antara batuan satu dengan yang lainnya. Hal tersebut dapat divisualisasikan dari perbedaan ketinggian warnanya.

Gambar 34(a) merupakan sayatan ke empat dari selatan yang memotong sesar selatan daerah penelitian. Warna hijau yang menunjukkan batuan keras pada sayatan mempunyai variasi kedalaman yang signifikan dimana pada area tengah penampang sayatan batuan kerasnya berada pada kedalaman 50 meter sedangkan sebelah barat dan timurnya berada pada kedalaman 100 meter. Hal tersebut diduga sebagai patahan atau sesar yang berupa sesar naik, sesar ini terjadi apabila *hanging wall* relatif bergerak naik terhadap *foot wall*. *Hanging wall* (warna hijau) yang bergerak naik mengakibatkan batuan berada pada kedalaman yang lebih dangkal dibanding *foot wall* yaitu area sebelah barat dan timurnya. Umumnya sesar naik tidak pernah berdiri sendiri atau berkembang tunggal. Sesar naik selalu membentuk suatu zona, sehingga pada zona sesar dijumpai sejumlah bidang sesar (Sambodo, 2012) Jalur sesar selatan merupakan patahan sebelah timur dari *hanging wall*.

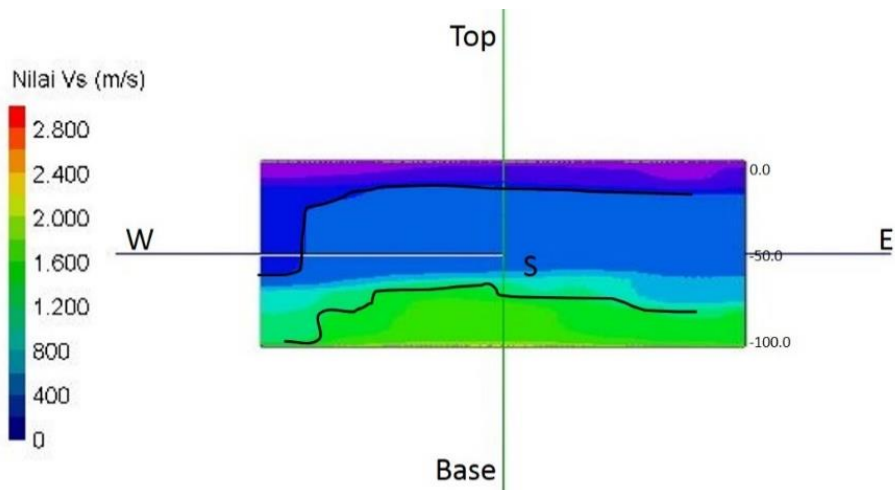
Gambar 34(b) merupakan sayatan bagian tengah daerah penelitian yaitu sayatan kedelapan dari selatan yang memotong sesar tengah. *Hanging wall* yang berada pada bagian timur penampang sayatan terdapat pada kedalaman 60 meter sedangkan *foot wall* yang berada pada bagian tengah berada pada kedalaman 90 meter di bawah permukaan. Sesar tengah merupakan patahan sebelah barat dari *hanging wall* yang sama dengan sesar selatan, sehingga sesar tersebut masih dalam satu zona dengan sesar selatan daerah penelitian.



a)



b)



(c)

Gambar 34. Penampang struktur bawah permukaan yang disayat secara vertikal, (a) Sayatan bagian selatan, (b) Sayatan bagian tengah, (c) Sayatan bagian utara

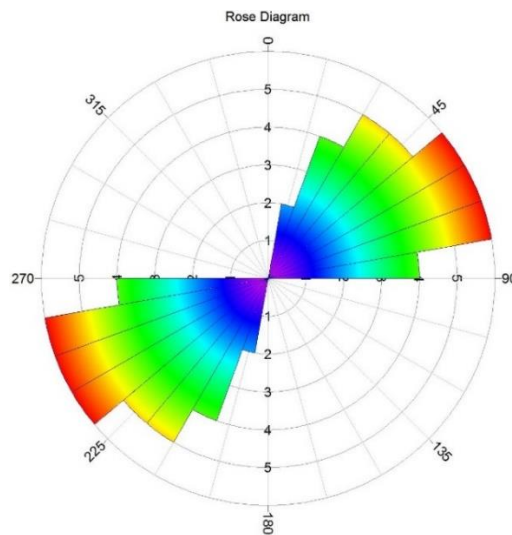
Gambar 34(c) merupakan sayatan yang memotong sesar utara. Pada sayatan tersebut terdapat perbedaan kedalaman batuan di bagian barat. Sedangkan daerah yang memotong garis sesar tidak teridentifikasi adanya perbedaan kedalaman batuan, sehingga pada sayatan ini diinterpretasikan bahwa letak dan panjang jalur sesar tidak sama seperti yang tercantum pada peta geologi .

Berdasarkan identifikasi sesar dengan mengkaji struktur bawah permukaan dimungkinkan bahwa keberadaan jalur sesar pada daerah penelitian berupa segmen-segmen sehingga jalur sesar tidak sepanjang garis sesar yang tercantum pada peta geologi. Jalur sesar utara bergeser ke selatan dari garis sesar yang tercantum pada peta geologi.

2. H/V Rotate pada Kawasan Sesar

Amplifikasi merupakan pembesaran amplitudo gelombang seismik yang terjadi pada permukaan tanah akibat jenis tanah tertentu. Gelombang seismik mengalami peningkatan amplitudo saat merambat dari media yang keras ke media yang lebih lunak. Amplifikasi berhubungan dengan kerapatan suatu material atau media. Jika suatu batuan terdapat rekahan yang menyebabkan kerapatan batuan rendah, maka modulus elastisitas yang berkurang secara lokal menyebabkan penguatan gelombang (amplifikasi) di zona sesar (Pischiutta *et al.*, 2017). Kerapatan yang kontras antara batuan normal dengan patahan atau rekahannya menghasilkan gelombang yang terperangkap yang akan memperlama durasi gelombang merambat, sehingga arah dari amplifikasi dapat mengindikasikan adanya sesar.

Nilai azimuth sumber amplifikasi pada pengukuran gelombang mikroseismik dapat diketahui dengan menganalisis polarisasi arah sumber gelombang melalui pengolahan menggunakan H/V *Rotate*. H/V *Rotate* merupakan salah satu metode pengolahan sinyal mikrotremor pada *software* Sesarray Geopsy yang menghitung ulang sinyal mikrotremor dengan memutar dua komponen horizontal dari 0° sampai 180°, sehingga dapat diketahui sejauh mana gerakan horizontal diperkuat dibandingkan gerakan vertikal. Hasil dari pengolahan ini berupa kurva seperti pada Gambar 15(b), dimana arah horizontal adalah nilai frekuensi, arah vertikal adalah polarisasi dalam bentuk sudut, dan spektrum warna adalah nilai amplifikasi. Nilai amplifikasi tertinggi ditandai oleh warna ungu, dan data yang digunakan adalah 2 angka nilai amplifikasi tertinggi beserta besar sudutnya. Data kurva H/V *rotate* pada setiap titik secara lengkap terdapat pada Lampiran 3.



Gambar 35. Diagram *rose* titik 3 daerah penelitian dari hasil pengolahan H/V *Rotate*

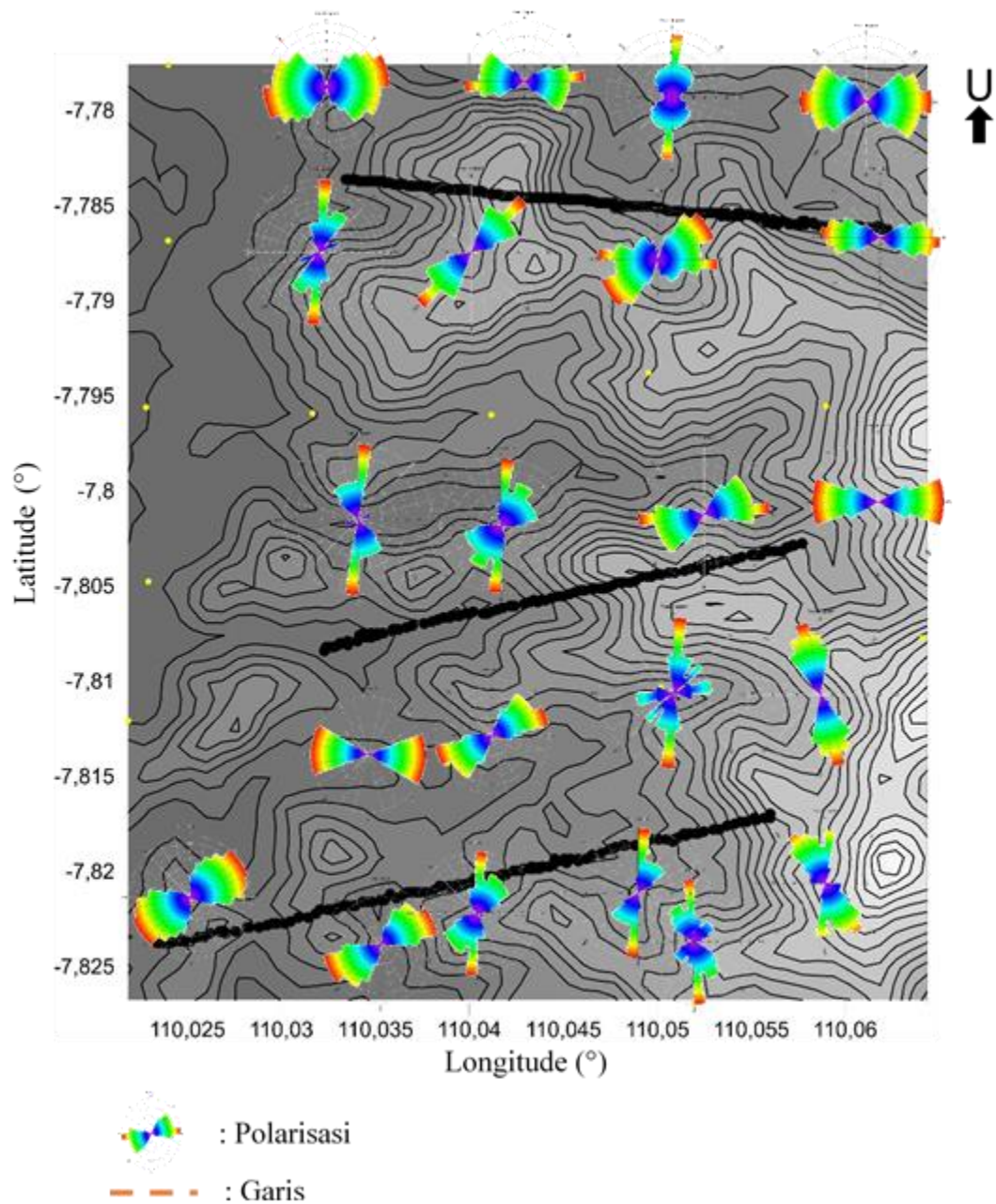
Gambar 35 merupakan pengolahan lanjutan menggunakan data hasil dari kurva H/V *Rotate*. Data yang dimasukkan berupa nilai amplifikasi beserta besar

arah azimutnya. Besar sudut 0° merepresentasikan arah utara, sudut 90° merepresentasikan arah timur, dan sudut 180° merepresentasikan arah selatan. Karena gelombang bergerak pada dua arah, maka sudut 0° dapat merepresentasikan kemungkinan adanya jalur sesar pada arah utara atau selatan, begitu seterusnya. Pada diagram *rose* terdapat beberapa spektrum warna yang merepresentasikan nilai amplifikasi, dimana warna merah mewakili nilai amplifikasi tertinggi pada titik penelitian tersebut.

Gambar 36 merupakan visualisasi arah sumber gelombang yang *dioverlay* dengan garis sesar berdasarkan peta geologi. Arah sumber gelombang pada daerah sesar utara cenderung bersifat random. Arah amplifikasi menyebar dari arah UTL-SBD, TL-BD, hingga T-B. Jika terdapat suatu rekahan sesar, arah sumber gelombang mengarah tegak lurus terhadap sesar, namun arah sumber gelombang pada titik-titik penelitian tidak semuanya mengarah tegak lurus terhadap garis sesar. Hanya beberapa titik yang mengarah tegak lurus terhadap sesar yaitu UTL-SBD, sedangkan arah lainnya tidak merepresentasikan adanya rekahan sesar pada garis tersebut. Seperti identifikasi berdasarkan penampang seismik kurva H/V dan struktur bawah permukaan, hal tersebut dimungkinkan karena adanya sesar yang geser ke selatan terhadap garis sesar yang tercantum di peta geologi dan sesar yang ada berupa segmen-segmen sesar.

Pada sesar tengah di daerah penelitian, arah sumber gelombang di titik-titik penelitian sekitar garis sesar mengarah U-S, UTL-SBD, hingga T-B. Arah sumber gelombang garis sesar kedua pada bagian barat mengarah U-S yang mengindikasikan adanya sesar pada daerah tersebut, sedangkan di bagian selatan

garis sesar dominan mengarah ke TTL-BBD karena adanya perpaduan atau pengaruh dari sesar selatan. Ditinjau dari arah sumber gelombangnya dimungkinkan sesar tengah tidak sepanjang seperti yang tercantum pada peta geologi namun berupa segmen-segmen sesar.



Gambar 36. Pola persebaran arah sumber gelombang di kawasan sesar

Pada sesar selatan di daerah penelitian, arah sumber gelombang pada titik-titik penelitian di daerah garis sesar dominan mengarah pada U-S, UBL-ST, dan TTL-BBD. Arah amplifikasi U-S dan UBL-ST mengindikasikan adanya rekahan atau sesar pada daerah tersebut, sedangkan arah TTL-BBD merupakan paduan dari sesar tengah dan sesar selatan.

Pengidentifikasian keberadaan ketiga jalur sesar berdasarkan arah sumber gelombang dapat memperkuat identifikasi sesar dengan metode lain pada daerah penelitian. Sesar yang ada pada daerah penelitian diduga merupakan sesar naik yang berbentuk segmen-segmen sesar. Hal ini karena tidak semua arah sumber gelombang pada kawasan sesar merepresentasikan adanya sesar. Daerah penelitian merupakan zona sesar dimana terdapat banyak sesar yang merupakan segmen-segmen sesar.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Kecamatan Bagelen Kabupaten Purworejo memiliki nilai frekuensi dominan dan faktor amplifikasi yang persebarannya bervariasi. Nilai frekuensi dominan antara 0,77 – 17,43 Hz dengan kategori jenis tanah I - IV dan nilai faktor amplifikasi antara 1,01 – 15,50 dengan kategori rendah hingga sangat tinggi. Beberapa pola persebaran nilai frekuensi dominan dan faktor amplifikasi merepresentasikan adanya jalur sesar namun belum secara detail. Pola penampang seismik kurva H/V pada daerah penelitian menunjukkan ketebalan sedimen yang bervariasi namun tidak signifikan. Kurva penampang seismik pada kawasan sesar menunjukkan kontrol struktur yang merepresentasikan kemungkinan keberadaan ketiga jalur sesar yaitu sesar utara, sesar tengah, dan sesar selatan.
2. Berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser, struktur bawah permukaan pada daerah penelitian terdiri dari tanah lunak hingga batuan keras dengan nilai terendah 47,11 m/s dan tertinggi 3215,25 m/s. Berdasarkan analisis struktur bawah permukaan, teridentifikasi kemungkinan adanya jalur sesar yang berupa sesar naik yang tidak berdiri sendiri melainkan berupa zona sesar. Sesar-sesar tersebut tidak sepanjang seperti yang tercantum pada peta geologi lembar

Yogyakarta melainkan hanya berupa segmen-segmen sesar. Letak jalur sesar juga bergeser dari garis sesar yang tercantum pada peta geologi lembar Yogyakarta.

3. Pola arah sumber gelombang berdasarkan model H/V *rotate* pada kawasan sesar daerah penelitian bervariasi dari UTL-SBD hingga T-B. Berdasarkan pola arah sumber gelombang yang tidak semua merepresentasikan adanya sesar maka dimungkinkan sesar pada daerah penelitian berupa segmen sesar.

B. Saran

Beberapa hal yang perlu dilakukan untuk penelitian selanjutnya antara lain:

1. Perlu dilakukan penelitian menggunakan metode lain khususnya metode untuk pengkajian struktur bawah permukaan serta identifikasi sesar seperti metode *gravity* ataupun geomagnet untuk membandingkan dan menarik kesimpulan terkait struktur bawah permukaan serta identifikasi 3 jalur sesar tersebut.
2. Melakukan penelitian yang lebih detail terkait keberadaan 3 jalur sesar berdasarkan arah sumber gelombang dengan cara merapatkan atau memperkecil jarak antar titik pengambilan data.

DAFTAR PUSTAKA

- Ammon, Charles J. 2005. *An Introduction to Earthquakes*. Pennsylvania: PennState Department of Geosciences
- Arai, H and Tokimatsu H. 2004. *S-Wave Velocity Profiling by Microtremor H/V Spectrum*. America: Bulletin of the Seismological of America Vol. 94, No, 1.
- Asri, Budi. 2006. *Geologi Struktur Teknik Pertambangan*. Diakses melalui <https://www.scribd.com/document/367251132/patahan-dan-sesar> pada tanggal 29 Juni 2018, jam 20.00 WIB.
- Arifin, S.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 Yogyakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa dan Struktur Bangunan Gedung dan non Gedung*. Jakarta: BSN, SNI 1726:2012.
- BAKORNAS PBP (Badan Koordinasi Nasional Penanggulangan Bencana dan Penanganan Pengungsi). 2006. *Laporan Perkembangan Penanganan Bencana Gempa Bumi Di Jogjakarta Dan Jawa Tengah*. Jakarta.
- Bammelen, van R.W. 1949. *The Geology of Indonesia*. Nederland: Martinus Nyhoff, The Haque.
- BMKG, 2015. *Indonesia Tsunami Early Warning System- InaTEWS*. Diakses dari http://inatews.bmkg.go.id/new/tentang_eq.php pada tanggal 3 Juli 2018, jam 08:00 WIB.
- Bothe, A.CH.G., 1929, *Jiwo Hills and Southern Range, Excurcion Guide*. IVth Pacific Sci. Cong. Bandung.
- Bour, M., Fouissac, D., Dominique, P., and Martin, C. 1998. *On the Use of Microtremor Recording in Seismic Microzonation*. France: Soil Dynamics and Earthquake Engineering 17 PII:S0267-7261(98)00014-1.
- BPBD. 2014. *Data Bencana Kabupaten Purworejo*. Purworejo.
- Burger, H.R. 1992. *Exploration Geophysics of the Shallow Subsurface*. Englewood Cliffs. NJ
- Daryono, Sutikno, Prayitni, dan Setio, B. 2009. *Data Mikrotremor dan Pemanfaatannya untuk Pengkajian Bahaya Gempabumi*. Yogyakarta: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.

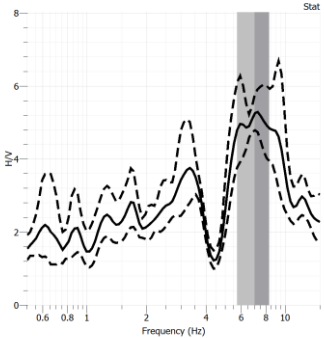
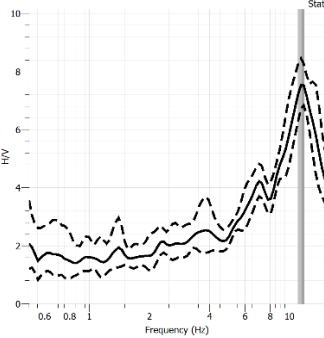
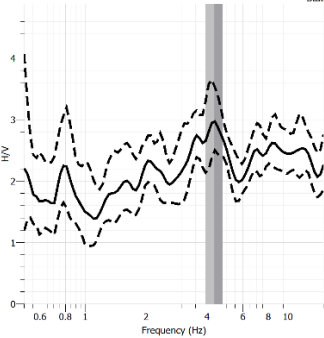
- Daryono. 2011. *Indeks Kerentanan Seismic Berdasarkan Mikrotremor Pada Setiap Satuan Bentuk Lahan Di Zona Graben Bantul Daerah Istimewa Yogyakarta*. Disertasi, Fakultas Geografi: Universitas Gadjah Mada.
- Dentith, Michael and Stephen Mudge. 2014. *Geophysics for the Mineral Exploration Geoscientist*. New York: Cambridge University Press.
- Dewi, T. S., Kusumayudha, S. B., Purwanto, H. S., 2017. *Zonasi Rawan Bencana Tanah Longsor dengan Metode Analisis GIS: Studi Kasus Daerah Semono dan Sekitarnya, Kecamatan Bagelen Kabupaten Purworejo Jawa Tengah*. Jurusan Teknik Geologi: UPN “Veteran” Yogyakarta.
- Elnashai, S. A. dan Sarno, D. L. 2008. *Fundamental of Earthquake Engineering*. Wiley. Hongkong.
- Febriani, Yeza., Daruwati, Ika, Hatika, R. G. 2013. *Analisis Nilai Peak Ground Acceleration dan Indeks Kerentanan Seismik Berdasarkan Data Mikroseismik pada Daerah Rawan Gempabumi di Kota Bengkulu*. Bengkulu : Universitas Pasir Pengaraian.
- 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.
- Hall, Robert., dan Morley K.C. 2004. *Continent Ocean Interactions within East Asia Marginal Seas*: American Geophysical Union.
- Hidayati, S. 2010. *Pengenalan Seismologi Gunungapi. Diklat Pelaksana Pemula Pengamat Gunungapi Baru*. Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi. Bandung.
- Ibrahim, G., & Subardjo. 2005. *Pengetahuan Seismologi*. Jakarta: Badan Meteorologi dan Geofisika.
- Kanai, K., 1983. *Engineering Seismology*. Japan: University of Tokyo Press.
- Kanli, A. 2011. *Surface Wave Analysis for Site Effect Evaluation*. US: University of California Santa Barbara.
- Kayal, J R. 2008. *Microearthquake Seismology and Seismotectonics of South Asia*. India: Capital Publishing Company.
- Lang, D.H., and Schwarz, J., 2004, *Instrumental Subsoil Classification of Californian Strong Ground Motion Site Based on Single Measurements*, Volume 1, pp.6.
- Manzella, A., 1990. *Geophysical Methods in Geothermal Exploration*. Pisa, Italy: Italian National Research Council International Institute for Geothermal Research.
- Nakamura, Y. 1989. *A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface*. Quarterly Report of the Railway Technology Research Institute. Japan.

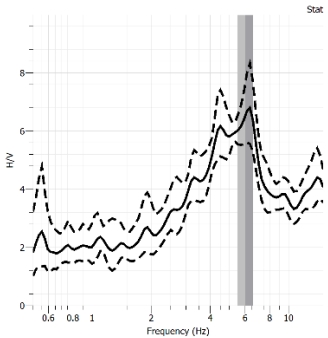
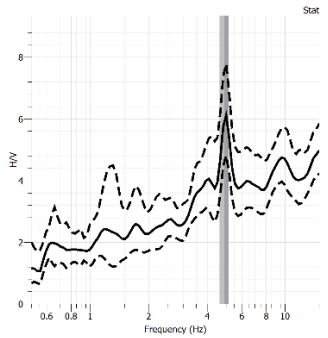
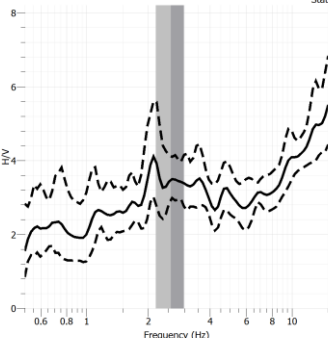
- Nakamura, Y. 2000. *Clear Identification of Fundamental Idea of Nakamura's Technique Its Applications*. Japan: System and Data Research.
- Novianita, A. 2009. *Penggunaan Microtremor Ellipticity Curve Untuk Menentukan Struktur Lapisan Bawah Permukaan Di Daerah Yogyakarta*. Skripsi. Jurusan Fisika: Universitas Diponegoro
- Nur, Alif M. 2010. *Gempa Bumi, Tsunami dan Mitigasinya*. Diakses dari <https://journal.unnes.ac.id/nju/index.php/LG/article/view/92/9320> pada tanggal 1 Juli 2018, jam 17.00 WIB.
- Ostrander, W.J. 1984. *Plane Wave Reflection Coefficients for Gas Sands at Nonnormal Angles of Incidence*. *Geophysics*, 49, 1637-1648.
- Panzer, F., Pischiutta, M., Lombardo, G., Monaco, C., Rovelli, A. 2014. *Wavefield Polarization in Fault Zones of the Western Flank of Mt. Etna: observations and fracture orientation modelling*. *Pure Appl. Geophys.* 171, 3083–3097.
- Partono, Windu., Manshyur, I., Sri Prabandiyani, R.W., Syamsul, M., 2013. *Aplikasi Metode HVSR pada Perhitungan Faktor Amplifikasi Tanah di Kota Semarang*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Patimah, Siti. 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.
- Pemerintah Kecamatan Bagelen. 2017. *Sekilas Tentang Kecamatan Bagelen*. Diakses dari <http://kec-bagelen.purworejokab.go.id/index.php/about-us/> pada tanggal 23 November 2017, jam 11.24 WIB
- Pischiutta, M., Salvini, F., Fletcher, J. B., Rovelli, A., Ben-Zion, Y., 2012. *Horizontal Polarization of Ground Motion in the Hayward Fault Zone at Fremont, California: dominant fault-high-angle polarization and fault-induced cracks*. *Geophys. J. Int.* 188 (3), 1255–1272.
- Pischiutta, M., Fondriest M., Demurtas, M., Magnoni, F., Di Toro, G., Rovelli, A. 2017. *Structural Control on The Directional Amplification of Seismic Noise (Campo Imperatore, Central Italy)*. Manchester: The University of Manchester.
- Pratama, Sigit. 2017. *Karakterisasi site Effect dengan HVSR mikrotremor dan Analisis Bahaya Kegempaan dengan Metode DSHA di Kota Banda Aceh*. Skripsi. Lampung: Universitas Lampung.
- Putri, Y. D. A. 2016. *Mikrozonasi Indeks Kerentanan Seismik di Kawasan Jalur Sesar Opak berdasarkan Pengukuran Mikrotremor*. Skripsi. Yogyakarta: UNY.

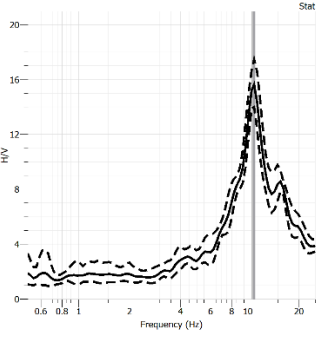
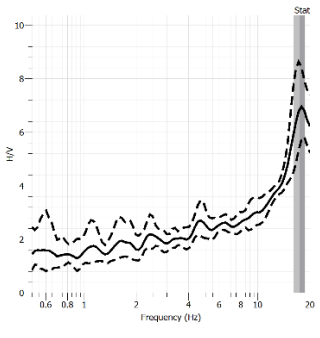
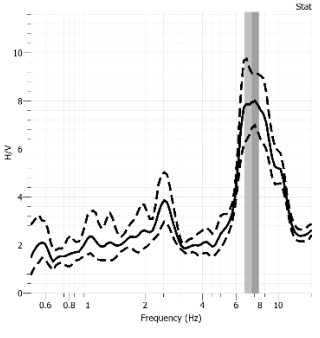
- Raharjo, Wartono, Sukandarrumidi, H.M.D. Rosidi. 1995. *Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa*. Direktorat Geologi, Departemen Pertambangan Republik Indonesia.
- Roosa, J. 2006. *Pretext for Mass Murder*. London: University of WisconsinMadison.
- Sambodo, Endro. 2012. *Sesar/Fault*. Diakses pada <https://endrosambodo1984.wordpress.com/2012/19/sesar-fault/amp> pada tanggal 20 Juli 2018, jam 20.00 WIB
- Satriadi. 2015. *Makalah Geologi Struktur Teknik Pertambangan Semester 3*. Fakultas Teknik Pertambangan: Universitas Kutaikartangara.
- 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.
- Sheriff, R.E. and Geldart, L.P., 1995. *Exploration Seismology*, Second Edition. New York: Cambridge University Press.
- Supartoyo. 2015. *Mengenal Sesar Aktif*. Diakses dari <http://geomagz.geologi.esdm.go.id/mengenal-sesar-aktif/> pada tanggal 26 November 2017, jam 20:56 WIB.
- Sutarno. 2012. *Study Kerentanan Gerakan Massa Batuan dan Daerah Rawan Longsor Lahan di Kabupaten Purworejo*. Fakultas Pertanian: Universitas Sebelas Maret Surakarta
- Telford, W. M, L. P Geldart & R. E. Sheriff. 1990. *Aplied Geophysics*, Second Edition. New York: Cambridge University Press.
- Utami, Zahroh. 2017. *Analisis Indeks Kerentanan Seismik Berdasarkan Pengukuran Sinyal Mikrotremor di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno Kabupaten Klaten*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- 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.

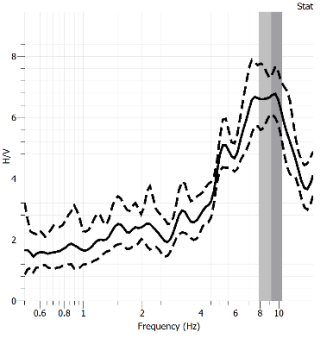
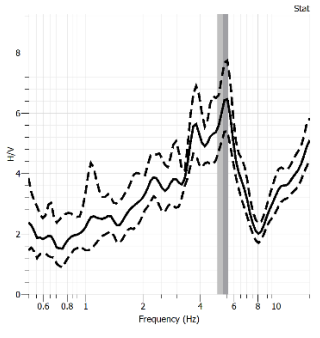
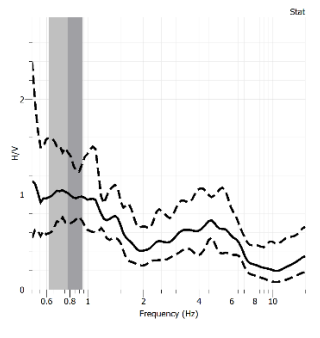
Lampiran 1

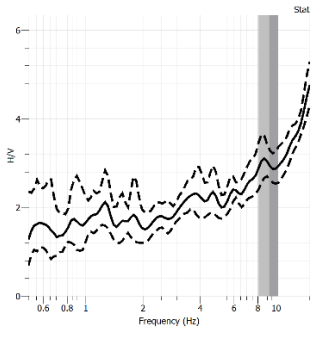
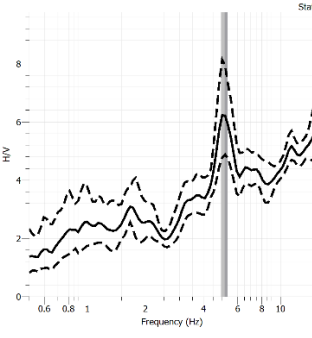
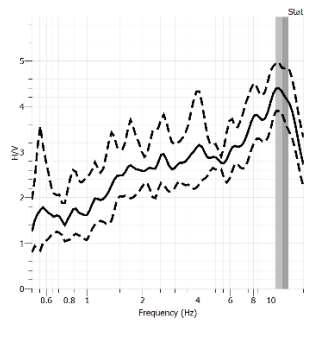
Kurva H/V Hasil Pengolahan Sinyal Mikrotremor

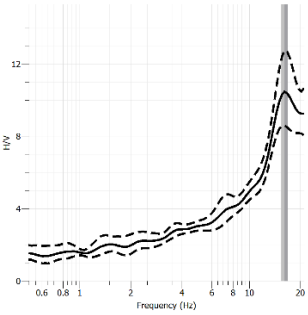
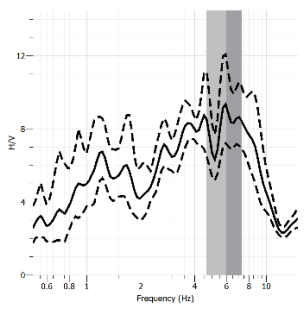
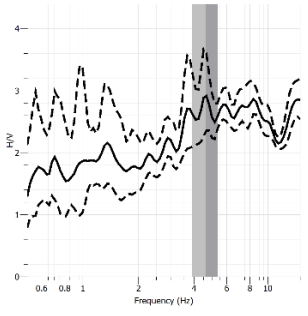
Titik	Kurva HVR	Kriteria
1		$f_0 = 7,0271$ $A_0 = 5,253$ Kriteria <i>Reliable</i> <ol style="list-style-type: none"> 1. Terpenuhi $7,0271 > 0,5$ 2. Terpenuhi $1405.41 > 200$ 3. Terpenuhi $1,2991 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ol style="list-style-type: none"> 1. Tidak terpenuhi $3,0682 > 2,6265$ 2. Tidak terpenuhi $3,6993 > 2,6265$ 3. Terpenuhi $5,253 > 2$ 4. Tidak terpenuhi 5. Terpenuhi $0,0918 < 1,7567$ 6. Terpenuhi $1,2992 < 3$
3		$f_0 = 11,4817$ $A_0 = 10,6546$ Kriteria <i>Reliable</i> <ol style="list-style-type: none"> 1. Terpenuhi $11,4817 > 0,5$ 2. Terpenuhi $2296,34 > 200$ 3. Terpenuhi $1,9595 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ol style="list-style-type: none"> 1. Tidak terpenuhi $5,3273 > 5,001$ 2. Tidak terpenuhi $8,6867 > 5,001$ 3. Terpenuhi $10,6546 > 2$ 4. Tidak terpenuhi 5. Terpenuhi $0,2891 < 2,8704$ 6. Terpenuhi $1,9595 < 3$
5		$f_0 = 4,3456$ $A_0 = 2,9722$ Kriteria <i>Reliable</i> <ol style="list-style-type: none"> 1. Terpenuhi $4,3456 > 0,5$ 2. Terpenuhi $869,118 > 200$ 3. Terpenuhi $0,2981 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ol style="list-style-type: none"> 1. Tidak terpenuhi $2,1304 > 1,4861$ 2. Tidak terpenuhi $2,4168 > 1,4861$ 3. Terpenuhi $2,9722 > 2$ 4. Tidak terpenuhi 5. Terpenuhi $0,0879 < 1,0864$ 6. Terpenuhi $0,2981 < 3$

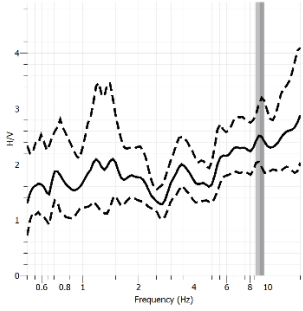
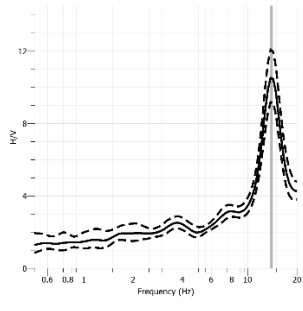
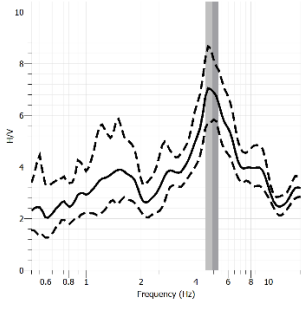
Titik	Kurva HVSR	Kriteria
9		$f_0 = 6,038$ $A_0 = 6,5481$ Kriteria Reliable <ol style="list-style-type: none"> 1. Terpenuhi $6,038 > 0,5$ 2. Terpenuhi $1207,61 > 200$ 3. Terpenuhi $1,0944 < 2$ Kriteria Clear Peak <ol style="list-style-type: none"> 1. Tidak terpenuhi $3,9639 > 3,2741$ 2. Tidak terpenuhi $4,3488 > 3,2741$ 3. Terpenuhi $6,5481 > 2$ 4. Tidak terpenuhi 5. Terpenuhi $0,2851 < 1,5095$ 6. Terpenuhi $1,0944 < 3$
16		$f_0 = 4,8841$ $A_0 = 5,8778$ Kriteria Reliable <ol style="list-style-type: none"> 1. Terpenuhi $4,8841 > 0,5$ 2. Terpenuhi $976,83 > 200$ 3. Terpenuhi $0,8246 < 2$ Kriteria Clear Peak <ol style="list-style-type: none"> 1. Terpenuhi $2,9069 < 2,9389$ 2. Tidak terpenuhi $4,3291 > 2,9389$ 3. Terpenuhi $5,8778 > 2$ 4. Terpenuhi 5. Terpenuhi $0,5955 < 1,2211$ 6. Terpenuhi $0,8246 < 3$
19		$f_0 = 2,5769$ $A_0 = 3,4833$ Kriteria Reliable <ol style="list-style-type: none"> 1. Terpenuhi $2,5769 > 0,5$ 2. Terpenuhi $515,39 > 200$ 3. Terpenuhi $0,4036 < 2$ Kriteria Clear Peak <ol style="list-style-type: none"> 1. Tidak terpenuhi $2,6858 > 1,7417$ 2. Tidak terpenuhi $3,2479 > 1,7417$ 3. Terpenuhi $3,4833 > 2$ 4. Tidak terpenuhi 5. Terpenuhi $0,0333 < 0,6442$ 6. Terpenuhi $0,4036 < 3$

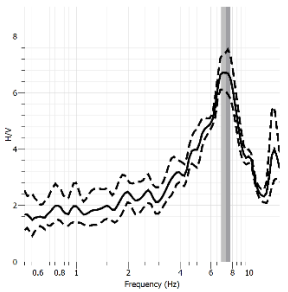
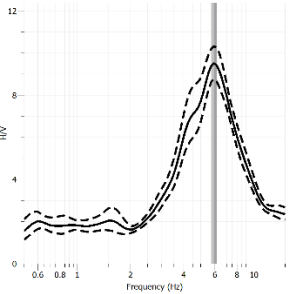
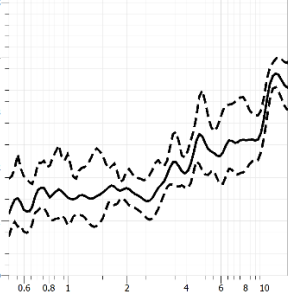
Titik	Kurva HVSr	Kriteria
21		$f_0 = 10,7781$ $A_0 = 6,5481$ Kriteria Reliable <ol style="list-style-type: none"> 1. Terpenuhi $10,7781 > 0,5$ 2. Terpenuhi $2155,62 > 200$ 3. Tidak terpenuhi $3,3993 > 2$ Kriteria Clear Peak <ol style="list-style-type: none"> 1. Terpenuhi $5,0258 < 7,7519$ 2. Terpenuhi $7,4972 < 7,7519$ 3. Terpenuhi $15,5038 > 2$ 4. Tidak terpenuhi 5. Terpenuhi $0,6521 < 2,6945$ 6. Tidak terpenuhi $3,3993 > 3$
23		$f_0 = 17,4365$ $A_0 = 6,8364$ Kriteria Reliable <ol style="list-style-type: none"> 1. Terpenuhi $17,4365 > 0,5$ 2. Terpenuhi $3487,3 > 200$ 3. Terpenuhi $1,4975 < 2$ Kriteria Clear Peak <ol style="list-style-type: none"> 1. Terpenuhi $3,1251 < 3,4182$ 2. Tidak terpenuhi $6,6457 > 3,4182$ 3. Terpenuhi $6,8364 > 2$ 4. Tidak terpenuhi 5. Terpenuhi $0,0955 < 4,3591$ 6. Terpenuhi $1,4975 < 3$
27		$f_0 = 7,2893$ $A_0 = 7,9403$ Kriteria Reliable <ol style="list-style-type: none"> 1. Terpenuhi $7,2893 > 0,5$ 2. Terpenuhi $1457,86 > 200$ 3. Tidak terpenuhi $2,2483 > 2$ Kriteria Clear Peak <ol style="list-style-type: none"> 1. Terpenuhi $3,2687 < 3,9701$ 2. Tidak terpenuhi $4,8114 > 3,9701$ 3. Terpenuhi $7,9403 > 2$ 4. Tidak terpenuhi 5. Terpenuhi $0,0778 < 1,8223$ 6. Terpenuhi $2,2483 < 3$

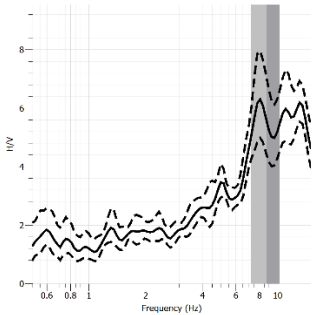
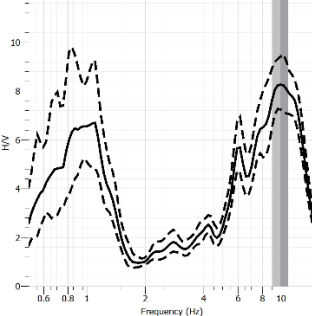
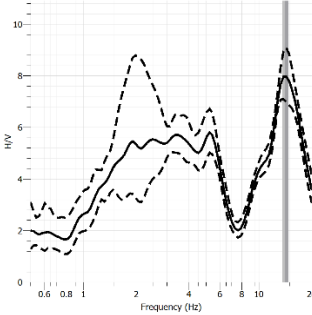
Titik	Kurva HVSR	Kriteria
34		$f_0 = 9,1597$ $A_0 = 6,7096$ Kriteria Reliable <ol style="list-style-type: none"> 1. Terpenuhi $9,1597 > 0,5$ 2. Terpenuhi $1831,94 > 200$ 3. Terpenuhi $1,0652 < 2$ Kriteria Clear Peak <ol style="list-style-type: none"> 1. Tidak terpenuhi $4,1395 > 3,3548$ 2. Tidak terpenuhi $5,0549 > 3,3548$ 3. Terpenuhi $6,7096 > 2$ 4. Tidak terpenuhi 5. Terpenuhi $0,0869 < 2,2899$ 6. Terpenuhi $1,0652 < 3$
37		$f_0 = 5,2528$ $A_0 = 6,202$ Kriteria Reliable <ol style="list-style-type: none"> 1. Terpenuhi $5,2528 > 0,5$ 2. Terpenuhi $1050,56 > 200$ 3. Terpenuhi $1,2827 < 2$ Kriteria Clear Peak <ol style="list-style-type: none"> 1. Tidak terpenuhi $3,8902 > 3,101$ 2. Tidak terpenuhi $3,8429 > 3,101$ 3. Terpenuhi $6,202 > 2$ 4. Tidak terpenuhi 5. Terpenuhi $0,4086 < 1,3132$ 6. Terpenuhi $1,2827 < 3$
39		$f_0 = 0,7778$ $A_0 = 1,0167$ Kriteria Reliable <ol style="list-style-type: none"> 1. Terpenuhi $0,7778 > 0,5$ 2. Terpenuhi $1555,66 > 200$ 3. Terpenuhi $0,13 < 2$ Kriteria Clear Peak <ol style="list-style-type: none"> 1. Tidak terpenuhi $1,0179 > 0,5083$ 2. Tidak terpenuhi $0,6765 > 0,5083$ 3. Tidak terpenuhi $1,0167 < 2$ 4. Tidak terpenuhi 5. Terpenuhi $0,0281 < 0,1944$ 6. Terpenuhi $0,13 < 3$

Titik	Kurva HVSR	Kriteria
41		$f_0 = 9,2019$ $A_0 = 2,962$ Kriteria Reliable <ol style="list-style-type: none"> 1. Terpenuhi $9,2019 > 0,5$ 2. Terpenuhi $1840,39 > 200$ 3. Terpenuhi $0,6959 < 2$ Kriteria Clear Peak <ol style="list-style-type: none"> 1. Tidak terpenuhi $2,2734 > 1,481$ 2. Tidak terpenuhi $3,5081 > 1,481$ 3. Terpenuhi $2,962 > 2$ 4. Tidak terpenuhi 5. Terpenuhi $0,0813 < 2,3$ 6. Terpenuhi $0,6959 < 3$
43		$f_0 = 5,1389$ $A_0 = 6,2204$ Kriteria Reliable <ol style="list-style-type: none"> 1. Terpenuhi $5,1389 > 0,5$ 2. Terpenuhi $1027,78 > 200$ 3. Terpenuhi $1,0279 < 2$ Kriteria Clear Peak <ol style="list-style-type: none"> 1. Terpenuhi $3,0876 < 3,11$ 2. Tidak terpenuhi $4,6892 > 3,11$ 3. Terpenuhi $6,2204 > 2$ 4. Tidak terpenuhi 5. Terpenuhi $0,3608 < 1,2847$ 6. Terpenuhi $1,0279 < 3$
45		$f_0 = 11,5051$ $A_0 = 4,3104$ Kriteria Reliable <ol style="list-style-type: none"> 1. Terpenuhi $11,5051 > 0,5$ 2. Terpenuhi $2301,02 > 200$ 3. Terpenuhi $0,4912 < 2$ Kriteria Clear Peak <ol style="list-style-type: none"> 1. Tidak terpenuhi $3,2557 > 2,1552$ 2. Tidak terpenuhi $4,6993 > 2,1552$ 3. Terpenuhi $4,3104 > 2$ 4. Tidak terpenuhi 5. Terpenuhi $0,1089 < 2,8762$ 6. Terpenuhi $0,4912 < 3$

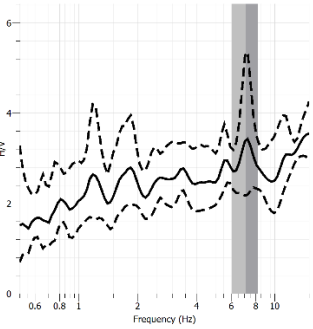
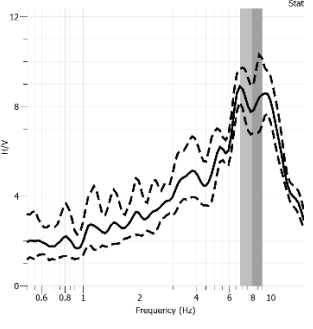
Titik	Kurva HVSR	Kriteria
54		$f_0 = 16,1387$ $A_0 = 10,4569$ Kriteria Reliable <ol style="list-style-type: none"> 1. Terpenuhi $16,1496 > 0,5$ 2. Terpenuhi $3550,51 > 200$ 3. Tidak terpenuhi $2,3652 > 2$ Kriteria Clear Peak <ol style="list-style-type: none"> 1. Terpenuhi $4,8928 < 5,2284$ 2. Tidak terpenuhi $9,76557 > 5,2284$ 3. Terpenuhi $10,4569 > 2$ 4. Tidak terpenuhi 5. Terpenuhi $0,6088 < 4,0346$ 6. Terpenuhi $2,3652 < 3$
55		$f_0 = 5,9829$ $A_0 = 9,2246$ Kriteria Reliable <ol style="list-style-type: none"> 1. Terpenuhi $5,9829 > 0,5$ 2. Terpenuhi $1196,58 > 200$ 3. Terpenuhi $1,7876 < 2$ Kriteria Clear Peak <ol style="list-style-type: none"> 1. Tidak terpenuhi $6,6753 > 4,6123$ 2. Tidak terpenuhi $5,5543 > 4,6123$ 3. Terpenuhi $9,22463 > 2$ 4. Tidak terpenuhi 5. Terpenuhi $0,2678 < 1,4957$ 6. Terpenuhi $1,7876 < 3$
57		$f_0 = 4,6368$ $A_0 = 9,22463$ Kriteria Reliable <ol style="list-style-type: none"> 1. Terpenuhi $4,6368 > 0,5$ 2. Terpenuhi $1112,84 > 200$ 3. Terpenuhi $0,316023 < 2$ Kriteria Clear Peak <ol style="list-style-type: none"> 1. Tidak terpenuhi $2,0998 > 1,45392$ 2. Tidak terpenuhi $2,6172 > 1,45392$ 3. Terpenuhi $2,9078 > 2$ 4. Tidak terpenuhi 5. Terpenuhi $0,1602 < 1,1592$ 6. Terpenuhi $0,3161 < 3$

Titik	Kurva HVSR	Kriteria
59		$f_0 = 9,0746$ $A_0 = 2,507$ Kriteria Reliable <ol style="list-style-type: none"> 1. Terpenuhi $9,0746 > 0,5$ 2. Terpenuhi $2177,91 > 200$ 3. Terpenuhi $0,3111 < 2$ Kriteria Clear Peak <ol style="list-style-type: none"> 1. Tidak terpenuhi $1,882 > 1,2535$ 2. Tidak terpenuhi $2,516 > 1,2535$ 3. Terpenuhi $2,507 > 2$ 4. Tidak terpenuhi 5. Terpenuhi $0,3111 < 2,2686$ 6. Terpenuhi $2,3652 < 3$
63		$f_0 = 14,02$ $A_0 = 10,4971$ Kriteria Reliable <ol style="list-style-type: none"> 1. Terpenuhi $14,02 > 0,5$ 2. Terpenuhi $2804 > 200$ 3. Terpenuhi $2,5508 < 2$ Kriteria Clear Peak <ol style="list-style-type: none"> 1. Terpenuhi $3,5597 < 5,2485$ 2. Tidak terpenuhi $6,8915 > 5,2485$ 3. Terpenuhi $10,4971 > 2$ 4. Tidak terpenuhi 5. Terpenuhi $0,6756 < 3,505$ 6. Terpenuhi $2,5508 < 3$
73		$f_0 = 4,9255$ $A_0 = 6,943$ Kriteria Reliable <ol style="list-style-type: none"> 1. Terpenuhi $4,9255 > 0,5$ 2. Terpenuhi $1182,142 > 200$ 3. Terpenuhi $1,1637 < 2$ Kriteria Clear Peak <ol style="list-style-type: none"> 1. Tidak terpenuhi $4,0597 > 3,4713$ 2. Tidak terpenuhi $4,0241 > 3,4713$ 3. Terpenuhi $6,9427 > 2$ 4. Tidak terpenuhi 5. Terpenuhi $0,2179 < 1,2313$ 6. Terpenuhi $1,1637 < 3$

Titik	Kurva HVSR	Kriteria
75		$f_0 = 7,3495$ $A_0 = 6,7022$ Kriteria Reliable <ol style="list-style-type: none"> 1. Terpenuhi $7,3495 > 0,5$ 2. Terpenuhi $1616,89 > 200$ 3. Terpenuhi $1,31831 < 2$ Kriteria Clear Peak <ol style="list-style-type: none"> 1. Tidak terpenuhi $3,467 > 3,3511$ 2. Tidak terpenuhi $4,025 > 3,3511$ 3. Terpenuhi $6,7022 > 2$ 4. Tidak terpenuhi 5. Terpenuhi $0,3291 < 1,8373$ 6. Terpenuhi $1,3183 < 3$
77		$f_0 = 5,9567$ $A_0 = 9,5005$ Kriteria Reliable <ol style="list-style-type: none"> 1. Terpenuhi $5,9567 > 0,5$ 2. Terpenuhi $1310,48 > 200$ 3. Tidak terpenuhi $2,1831 > 2$ Kriteria Clear Peak <ol style="list-style-type: none"> 1. Terpenuhi $4,1918 < 4,7502$ 2. Tidak terpenuhi $4,9785 > 4,7502$ 3. Terpenuhi $9,5005 > 2$ 4. Tidak terpenuhi 5. Terpenuhi $0,2587 < 1,4892$ 6. Terpenuhi $2,1830 < 3$
79		$f_0 = 13,9617$ $A_0 = 3,6308$ Kriteria Reliable <ol style="list-style-type: none"> 1. Terpenuhi $13,9617 > 0,5$ 2. Terpenuhi $2792,34 > 200$ 3. Terpenuhi $0,5475 < 2$ Kriteria Clear Peak <ol style="list-style-type: none"> 1. Tidak terpenuhi $2,6422 > 1,8154$ 2. Tidak terpenuhi $3,6609 > 1,8154$ 3. Terpenuhi $3,6308 > 2$ 4. Tidak terpenuhi 5. Terpenuhi $0,4812 < 3,4904$ 6. Terpenuhi $0,5477 < 3$

Titik	Kurva HVSr	Kriteria
81		$f_0 = 8,766$ $A_0 = 5,5333$ Kriteria Reliable <ol style="list-style-type: none"> 1. Terpenuhi $8,76602 > 0,5$ 2. Terpenuhi $1753,2 > 200$ 3. Terpenuhi $1,2794 < 2$ Kriteria Clear Peak <ol style="list-style-type: none"> 1. Tidak terpenuhi $3,0276 > 2,766$ 2. Tidak terpenuhi $5,5493 > 2,766$ 3. Terpenuhi $5,5333 > 2$ 4. Tidak terpenuhi 5. Terpenuhi $0,3908 < 2,1915$ 6. Terpenuhi $1,2794 < 3$
91		$f_0 = 9,9494$ $A_0 = 8,2609$ Kriteria Reliable <ol style="list-style-type: none"> 1. Terpenuhi $9,9494 > 0,5$ 2. Terpenuhi $2586,86 > 200$ 3. Terpenuhi $1,8521 < 2$ Kriteria Clear Peak <ol style="list-style-type: none"> 1. Terpenuhi $3,8092 < 4,1304$ 2. Tidak terpenuhi $6,1866 > 4,1304$ 3. Terpenuhi $8,2609 > 2$ 4. Tidak terpenuhi 5. Terpenuhi $0,4484 < 2,4873$ 6. Terpenuhi $1,8521 < 3$
93		$f_0 = 14,1544$ $A_0 = 7,9659$ Kriteria Reliable <ol style="list-style-type: none"> 1. Terpenuhi $14,1544 > 0,5$ 2. Terpenuhi $3397,05 > 200$ 3. Terpenuhi $1,9747 < 2$ Kriteria Clear Peak <ol style="list-style-type: none"> 1. Tidak terpenuhi $4,6850 > 3,9829$ 2. Tidak terpenuhi $6,0581 > 3,9829$ 3. Terpenuhi $7,9659 > 2$ 4. Tidak terpenuhi 5. Terpenuhi $0,5331 < 3,5386$ 6. Terpenuhi $1,9747 < 3$

Titik	Kurva HCSR	Kriteria
95		$f_0 = 11,1289$ $A_0 = 7,3794$ Kriteria Reliable <ol style="list-style-type: none"> 1. Terpenuhi $11,1289 > 0,5$ 2. Terpenuhi $2893,51 > 200$ 3. Terpenuhi $1,555 < 2$ Kriteria Clear Peak <ol style="list-style-type: none"> 1. Terpenuhi $3,0331 < 3,6897$ 2. Tidak terpenuhi $4,9846 > 3,6897$ 3. Terpenuhi $7,3794 > 2$ 4. Tidak terpenuhi 5. Terpenuhi $0,4971 < 2,7822$ 6. Terpenuhi $1,555 < 3$
S97		$f_0 = 4,6699$ $A_0 = 2,7636$ Kriteria Reliable <ol style="list-style-type: none"> 1. Terpenuhi $4,6699 > 0,5$ 2. Terpenuhi $933,99 > 200$ 3. Terpenuhi $0,2875 < 2$ Kriteria Clear Peak <ol style="list-style-type: none"> 1. Tidak terpenuhi $1,8774 > 1,3818$ 2. Tidak terpenuhi $2,3129 > 1,3818$ 3. Terpenuhi $2,7636 > 2$ 4. Tidak terpenuhi 5. Terpenuhi $0,2105 < 1,1674$ 6. Terpenuhi $0,2875 < 3$
99		$f_0 = 8,6199$ $A_0 = 7,4245$ Kriteria Reliable <ol style="list-style-type: none"> 1. Terpenuhi $8,6199 > 0,5$ 2. Terpenuhi $1723,98 > 200$ 3. Terpenuhi $1,6286 < 2$ Kriteria Clear Peak <ol style="list-style-type: none"> 1. Terpenuhi $3,4225 < 3,7122$ 2. Tidak terpenuhi $4,9295 > 3,7122$ 3. Terpenuhi $7,4245 > 2$ 4. Tidak terpenuhi 5. Terpenuhi $0,3776 < 2,1549$ 6. Terpenuhi $1,6286 < 3$

Titik	Kurva HVSR	Kriteria
T1		$f_0 = 7,1445$ $A_0 = 3,3999$ Kriteria Reliable <ol style="list-style-type: none"> 1. Terpenuhi $7,1445 > 0,5$ 2. Terpenuhi $1428,91 > 200$ 3. Terpenuhi $0,3175 < 2$ Kriteria Clear Peak <ol style="list-style-type: none"> 1. Tidak terpenuhi $2,6028 > 1,6999$ 2. Tidak terpenuhi $3,0121 > 1,6999$ 3. Terpenuhi $3,3999 > 2$ 4. Tidak terpenuhi 5. Terpenuhi $0,3181 < 1,7861$ 6. Terpenuhi $0,3175 < 3$
T2		$f_0 = 7,9273$ $A_0 = 7,7972$ Kriteria Reliable <ol style="list-style-type: none"> 1. Terpenuhi $7,9273 > 0,5$ 2. Terpenuhi $1585,47 > 200$ 3. Terpenuhi $1,8232 < 2$ Kriteria Clear Peak <ol style="list-style-type: none"> 1. Tidak terpenuhi $5,2281 > 3,8986$ 2. Tidak terpenuhi $6,1657 > 3,8986$ 3. Terpenuhi $7,7972 > 2$ 4. Tidak terpenuhi 5. Terpenuhi $0,1673 < 1,9818$ 6. Terpenuhi $1,8232 < 3$

Lampiran 2

Hasil Kriteria Kurva *Reliable* dan Kurva *Clear Peak* berdasarkan SESAME European Research Project

Titik	n_w	f_0	A	Reliable			Clear Peak					
				1	2	3	1	2	3	4	5	6
1	10	7,027	5,253	V	V	V	-	-	V	-	V	V
3	10	11,4817	10,6546	V	V	V	-	-	V	-	V	V
5	10	4,34559	2,97229	V	V	V	-	-	V	-	V	V
9	10	6,03801	6,54816	V	V	V	-	-	V	-	V	V
16	10	4,88417	5,87789	V	V	V	V	-	V	V	V	V
19	10	2,57699	3,48334	V	V	V	-	-	V	-	V	V
21	10	10,7781	15,5038	V	V	-	V	V	V	-	V	-
23	10	17,4365	6,8364	V	V	V	V	-	V	-	V	V
27	10	7,28934	7,9403	V	V	-	V	V	V	-	V	-
34	10	9,15974	6,70965	V	V	V	-	-	V	-	V	V
37	10	5,25281	6,20205	V	V	V	-	-	V	-	V	V
39	10	0,7778	1,01674	V	V	V	-	-	-	-	V	V
41	10	9,201995	2,96202	V	V	V	-	-	V	-	V	V
43	10	5,13893	6,22047	V	V	V	V	-	V	-	V	V
45	10	11,5051	4,3104	V	V	V	-	-	V	-	V	V
54	10	16,1496	11,7135	V	V	-	V	-	V	-	V	V
55	10	5,98294	9,22463	V	V	V	-	-	V	-	V	V
57	12	4,63683	2,90784	V	V	V	-	-	V	-	V	V
59	12	9,07465	2,50703	V	V	V	-	-	V	-	V	V
63	10	14,2503	13,5457	V	V	-	V	-	V	-	V	V
73	12	4,92559	6,94271	V	V	V	-	-	V	-	V	V
75	11	7,34952	6,70227	V	V	V	-	-	V	-	V	V
77	10	5,97722	11,2007	V	V	-	V	V	V	-	V	V
79	10	13,9617	3,63087	V	V	V	-	-	V	-	V	V
81	10	8,76602	5,53333	V	V	V	-	-	V	-	V	V
91	13	9,94949	8,26095	V	V	V	V	-	V	-	V	V
93	10	9,20195	9,5519	V	V	-	V	-	V	-	V	V
95	13	11,1289	7,37946	V	V	V	V	-	V	-	V	V
97	10	4,66999	2,76369	V	V	V	-	-	V	-	V	V
99	10	8,61994	7,42457	V	V	V	V	-	V	-	V	V
T2	10	7,14454	3,39998	V	V	V	-	-	V	-	V	V
T1	10	7,9273	7,7972	V	V	V	-	-	V	-	V	V

Tanda (V) menunjukkan bahwa syarat terpenuhi dan tanda (-) menunjukkan bahwa syarat tidak terpenuhi,

Keterangan Syarat:

Kriteria untuk Kurva HVSR yang *Reliable*

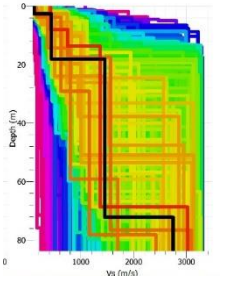
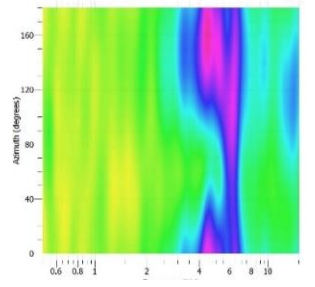
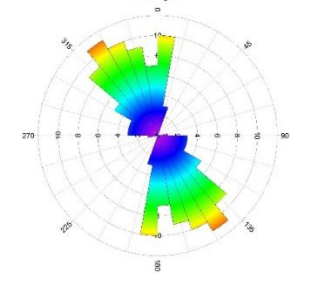
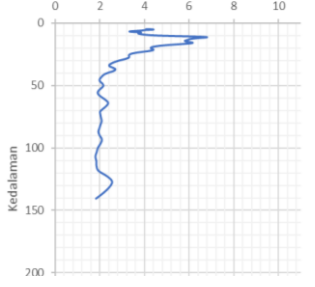
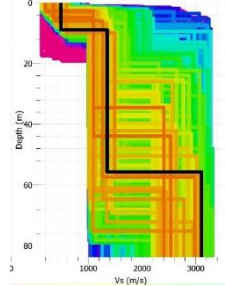
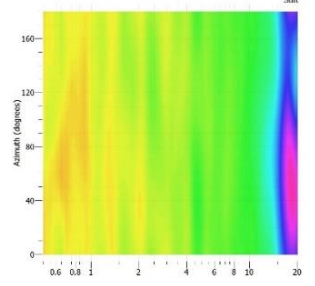
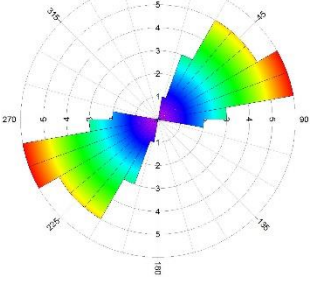
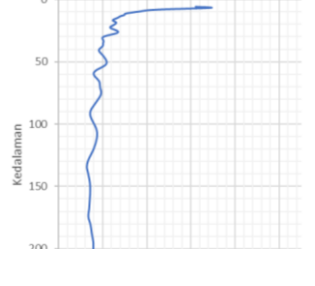
1. $f_0 > 10/l_w$
2. $n_c(f_0) > 200$ dimana $n_c = n_w l_w f_0$
3. $\sigma_A(f) < 2$ untuk $0,5f_0 < f < 2f_0$ jika $f_0 > 0,5$ Hz atau
 $\sigma_A(f) < 3$ untuk $0,5f_0 < f < 2f_0$ jika $f_0 < 0,5$ Hz

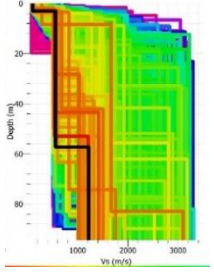
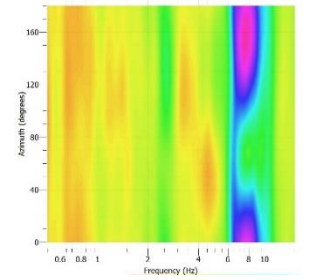
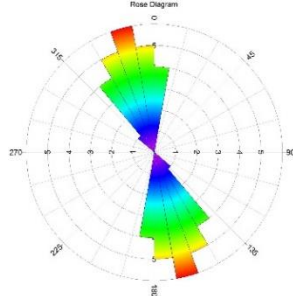
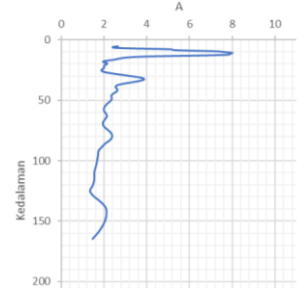
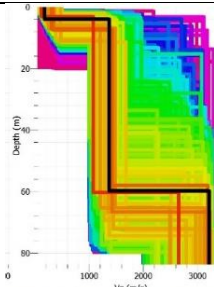
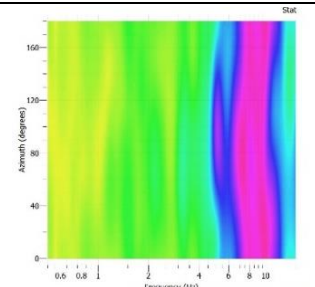
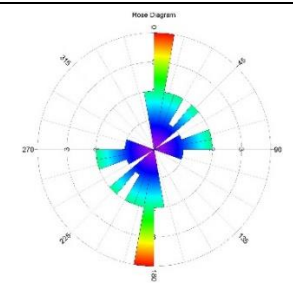
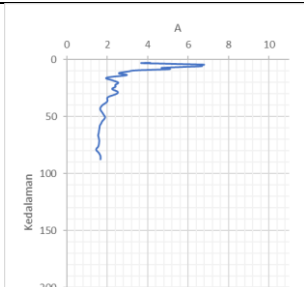
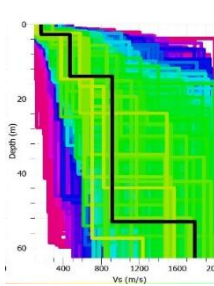
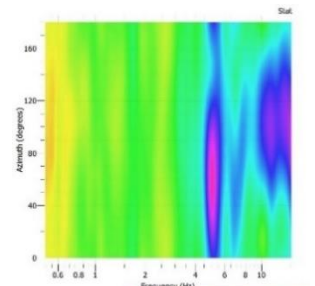
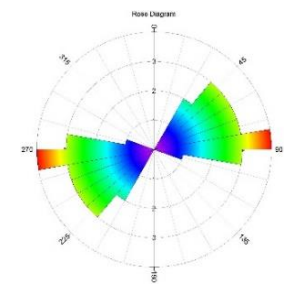
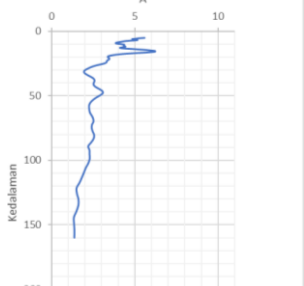
Kriteria untuk Kurva HVSR yang *Clear Peak*

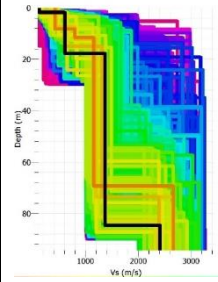
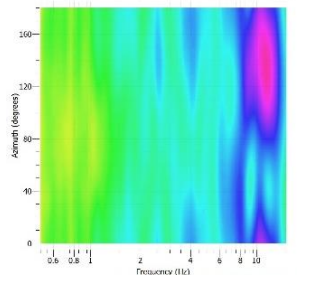
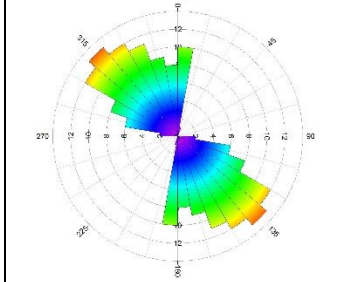
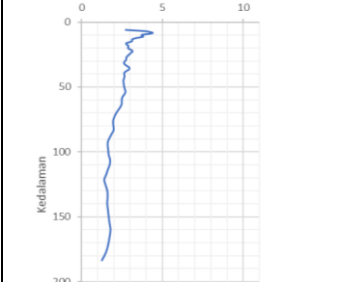
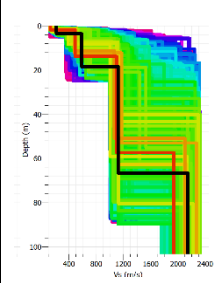
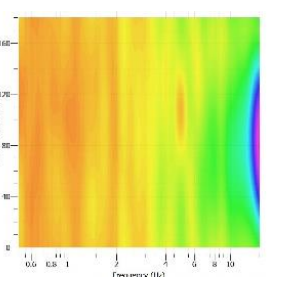
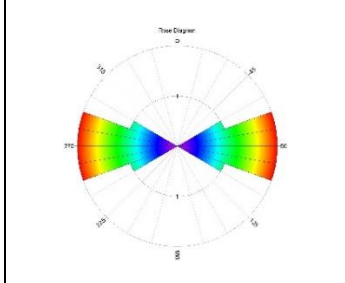
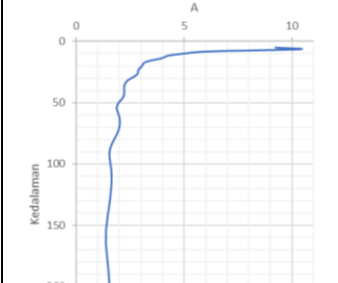
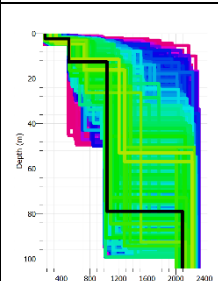
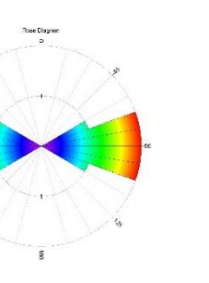
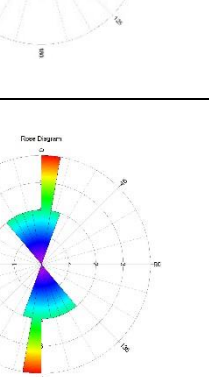
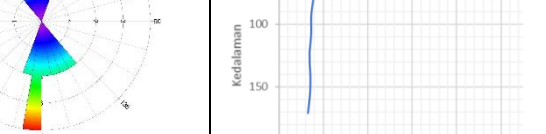
1. $\exists f^- \in [f_0/4, f_0] | A_{HV}(f^-) < A_0/2$
2. $\exists f^+ \in [f_0, 4f_0] | A_{HV}(f^+) < A_0/2$
3. $A_0 > 2$
4. $f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$
5. $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
6. $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$

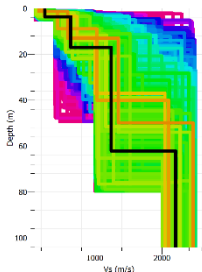
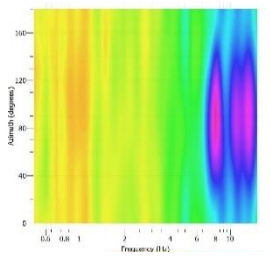
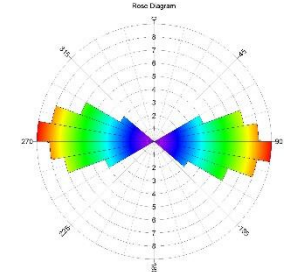
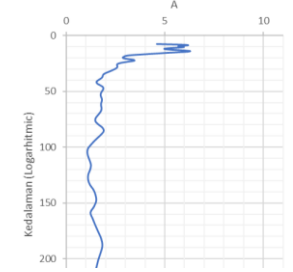
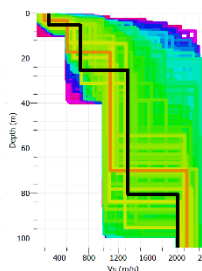
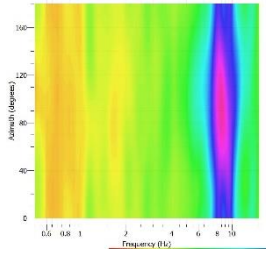
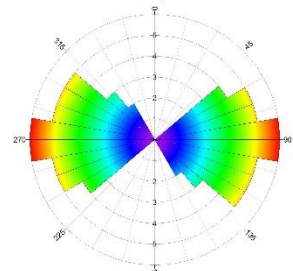
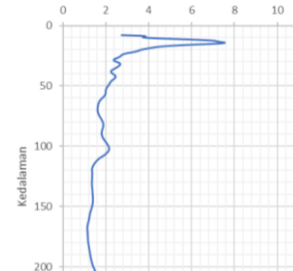
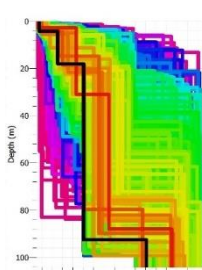
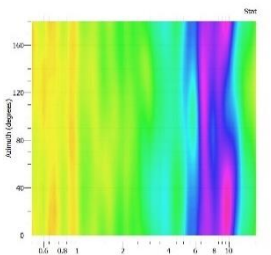
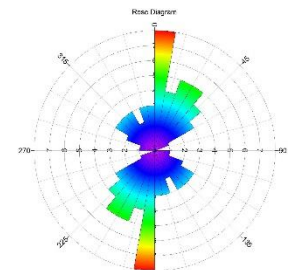
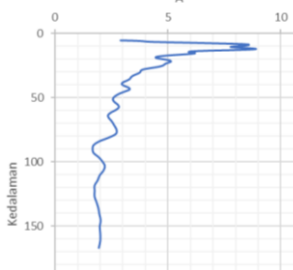
Lampiran 3

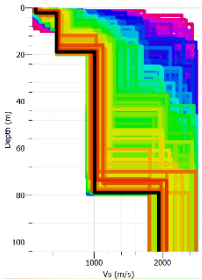
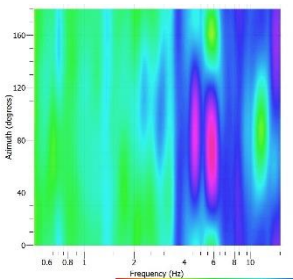
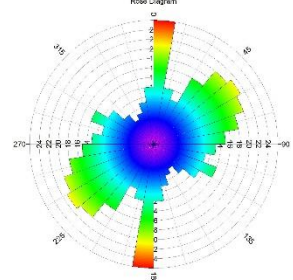
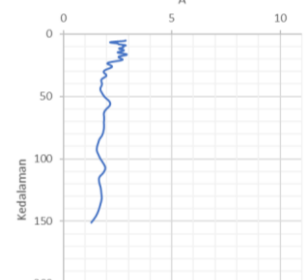
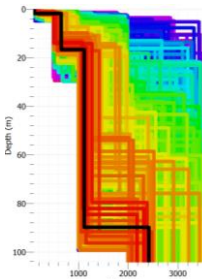
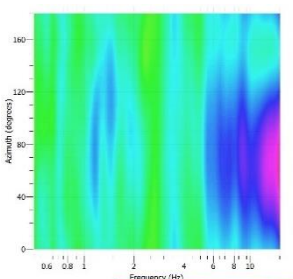
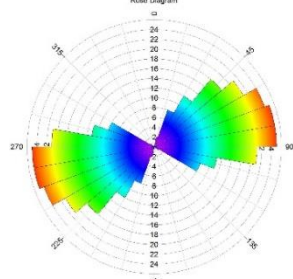
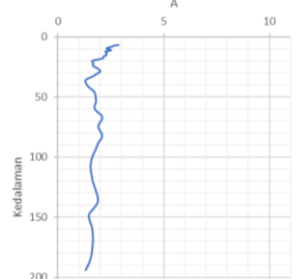
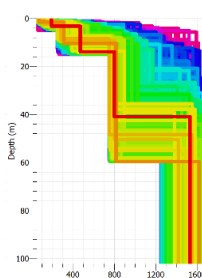
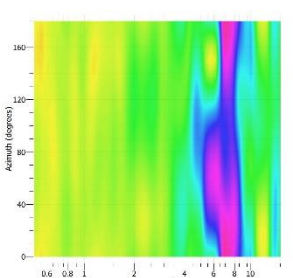
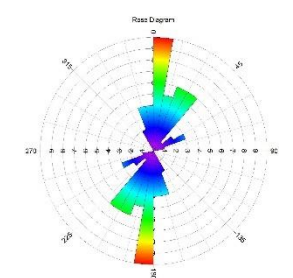
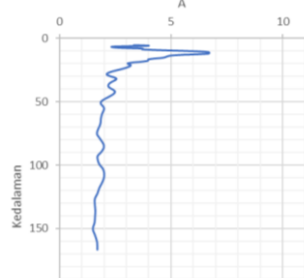
Hasil Analisis nilai V_s dengan metode inversi, arah sumber gelombang dengan H/V Rotate, dan Spektrum penampang kurva H/V

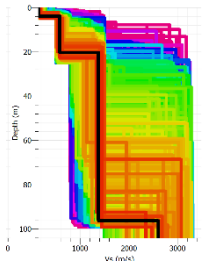
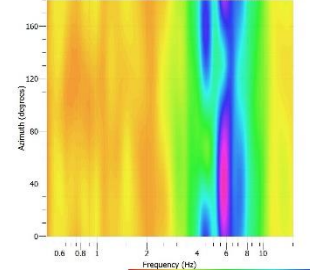
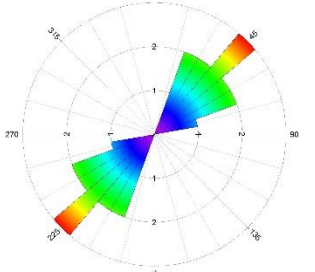
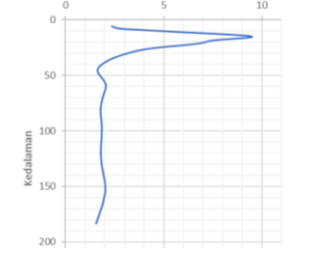
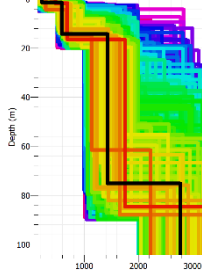
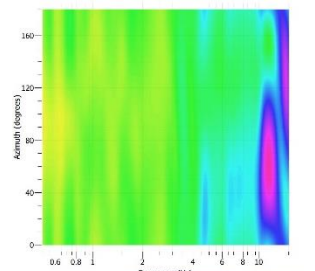
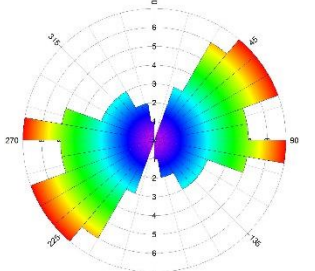
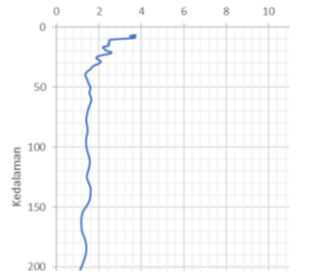
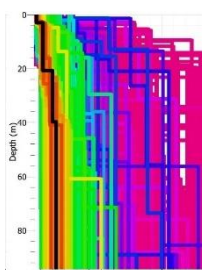
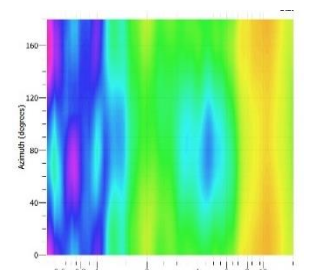
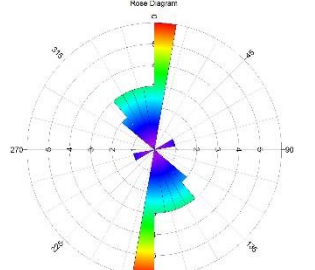
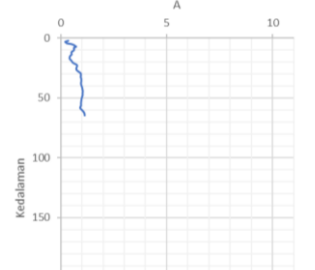
Titik	Metode Inversi				Arah Sumber Gelombang		Spektrum Lintasan Penampang Seismik
	Misfit	Ground Profiles	v_s (m/s)	Kedalaman (m)	H/V Rotate	Diagram Rose	
S9	0,289		119,35	2,61			
			441,96	18,09			
			1454,62	72,18			
			2744,06	100			
S23	0,212		488,03	8,92			
			1349,68	55,7			
			3109,39	100			

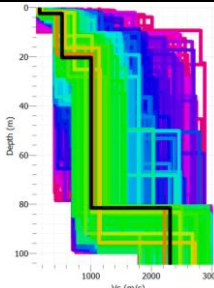
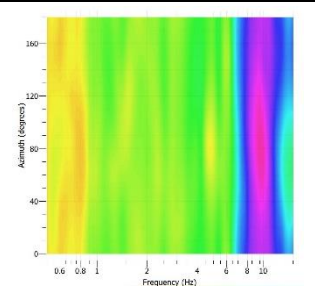
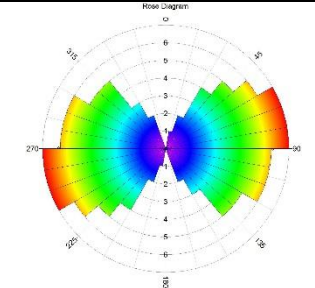
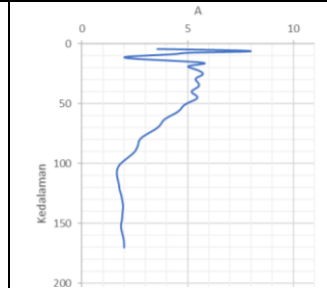
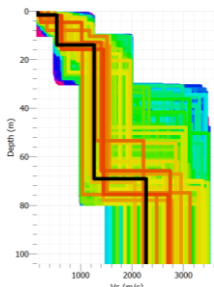
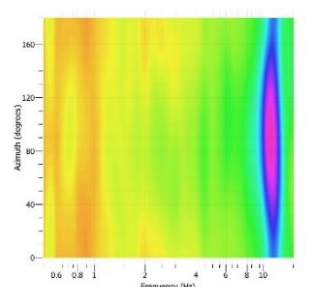
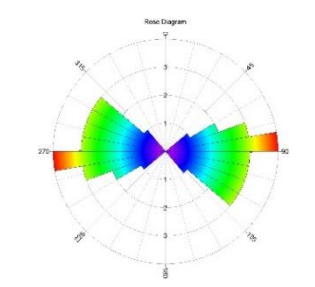
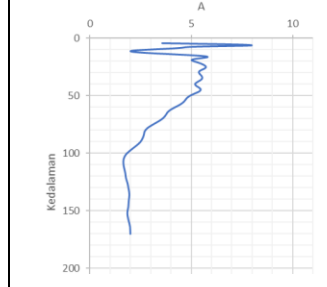
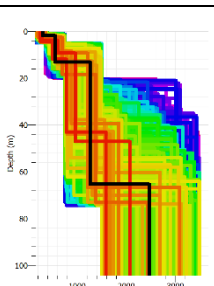
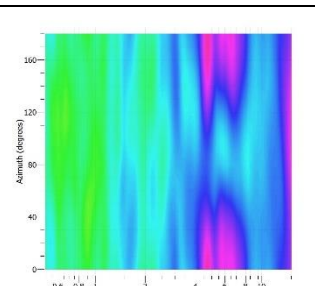
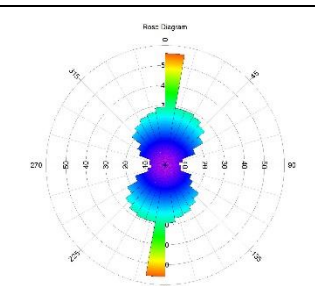
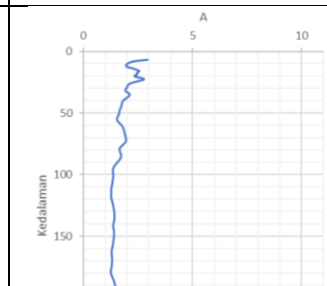
Titik	Metode Inversi				Arah Sumber Gelombang		Spektrum Lintasan Penampang Seismik
	Misfit	Ground Profiles	v_s (m/s)	Kedalaman (m)	H/V Rotate	Diaagram Rose	
S27	0,256		101,97	3,14			
			556,99	57,4			
			1217,72	100			
S34	0,247		174,93	3,98			
			1370,05	59,7			
			3215,25	100			
S43	0,258		169,50	2,70			
			469,82	13,97			
			915,59	53,02			
			1784,63	100			

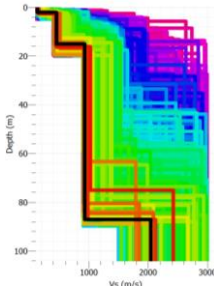
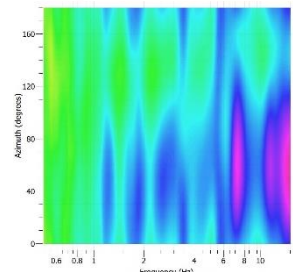
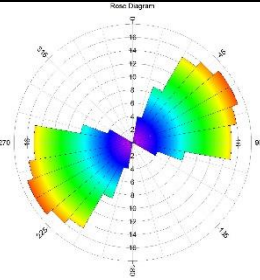
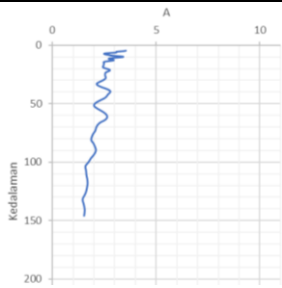
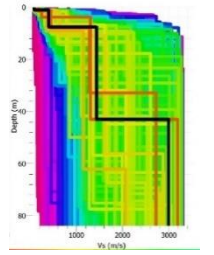
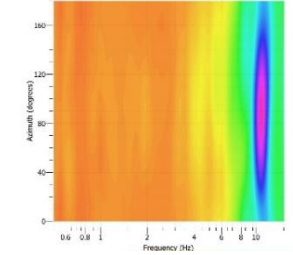
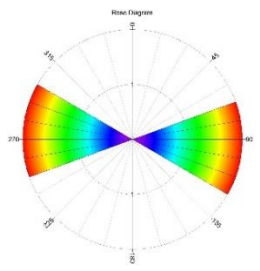
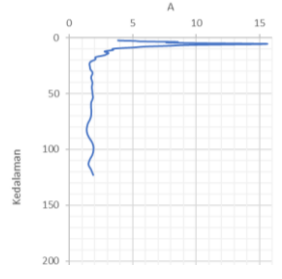
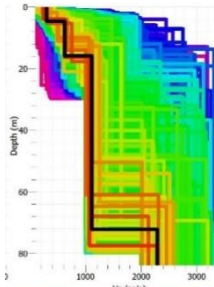
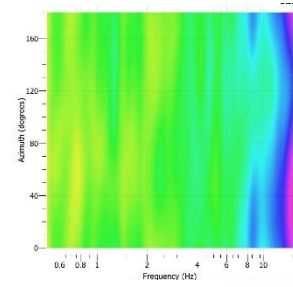
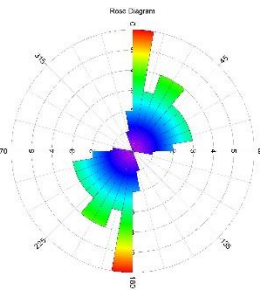
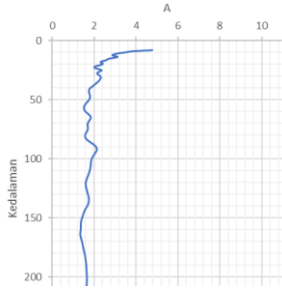
Titik	Metode Inversi				Arah Sumber Gelombang		Spektrum Lintasan Penampang Seismik
	Misfit	Ground Profiles	v_s (m/s)	Kedalaman (m)	H/V Rotate	Diagram Rose	
S45	0,224		124,46	1,74			
			610,8	17,74			
			1372,76	84,63			
			2413,43	100			
S54	0,201		215,462	3,573			
			585,623	18,462			
			1122,93	66,657			
			2143,66	100			
S63	0,129		176,189	2,306			
			507,552	16,649			
			1040,79	78,942			
			2092,01	100			

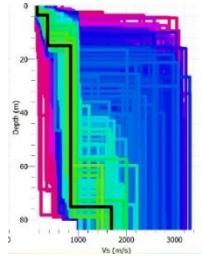
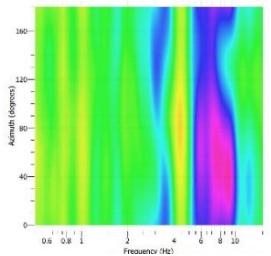
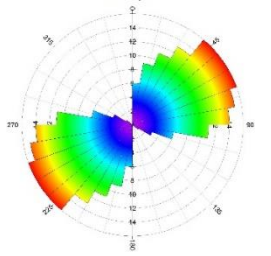
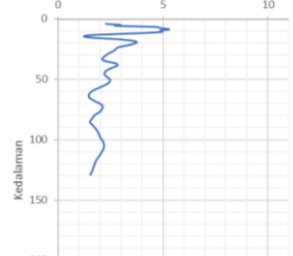
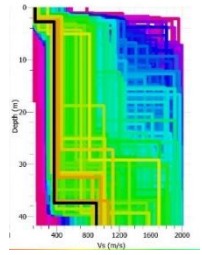
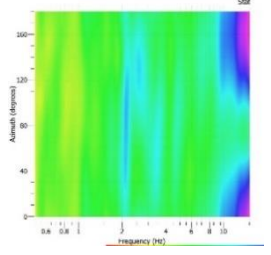
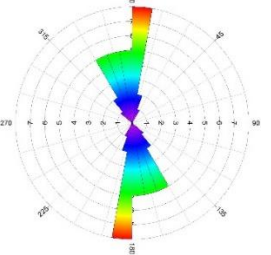
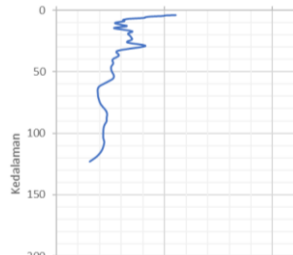
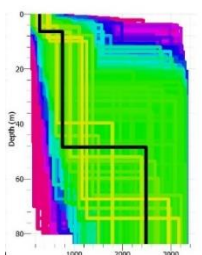
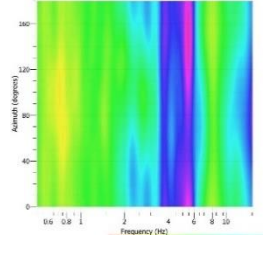
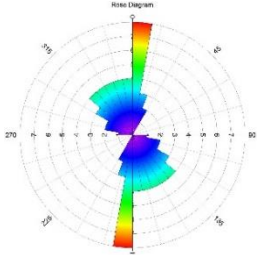
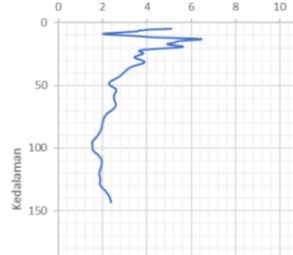
Titik	Metode Inversi				Arah Sumber Gelombang		Spektrum Lintasan Penampang Seismik
	Misfit	Ground Profiles	v_s (m/s)	Kedalaman (m)	H/V Rotate	Diagram Rose	
S81	0,159		252,621	3,719			
			640,486	17,005			
			1245,94	62,172			
			2201,41	100			
S99	0,152		258,188	5,268			
			681,606	25,384			
			1333,56	80,528			
			2008,01	100			
T2	0,209		157,58	4,23			
			510,23	18,09			
			1007,02	92,56			
			2216,82	100			

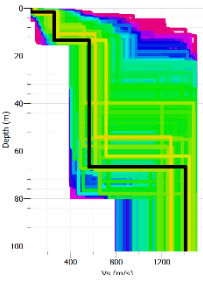
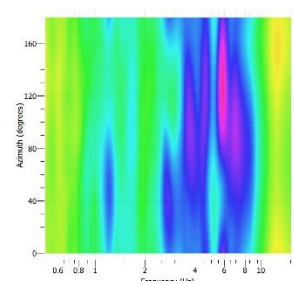
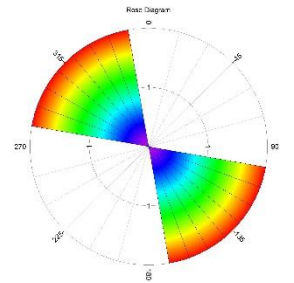
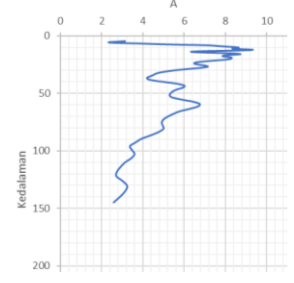
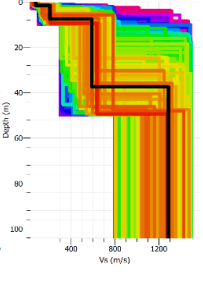
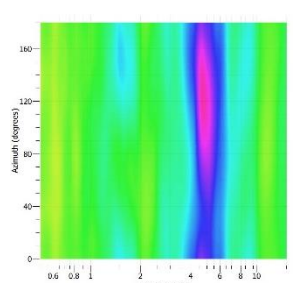
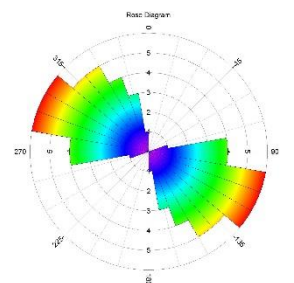
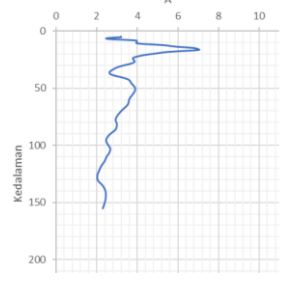
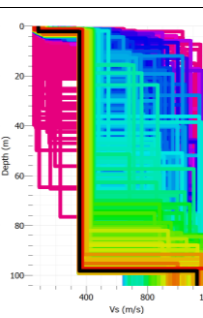
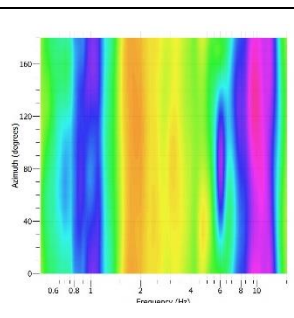
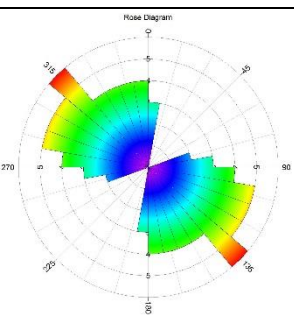
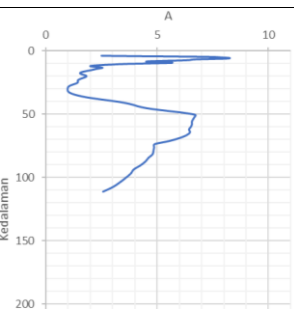
Titik	Metode Inversi				Arah Sumber Gelombang		Spektrum Lintasan Penampang Seismik
	Misfit	Ground Profiles	v_s (m/s)	Kedalaman (m)	H/V Rotate	Diagram Rose	
S57	0,157		153,45	2,280			
			450,80	18,829			
			1005,91	78,94			
			1945,46	100			
S59	0,167		120,19	1,798			
			656,85	16,713			
			1120,69	89,843			
			2420,68	100			
S75	0,191		194,483	3,235			
			471,135	13,973			
			800,343	40,935			
			1535,70	100			

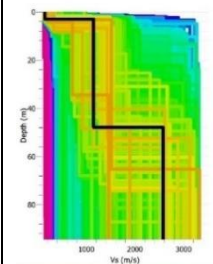
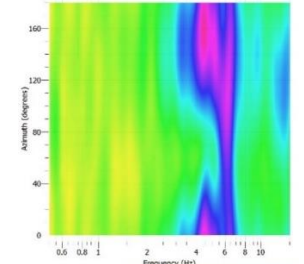
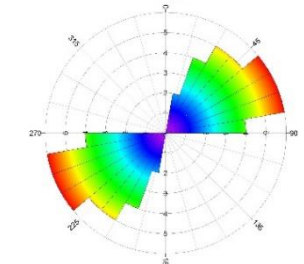
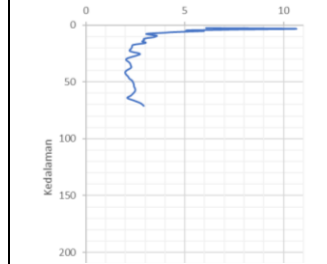
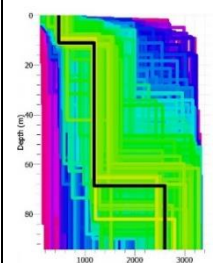
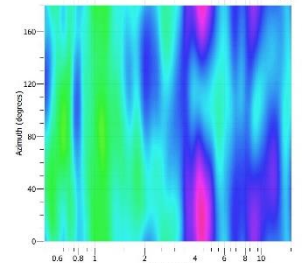
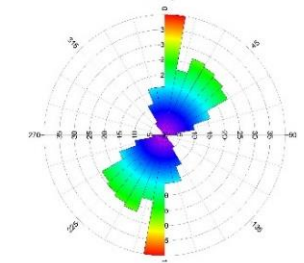
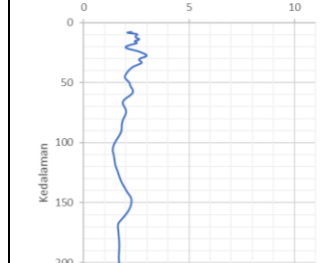
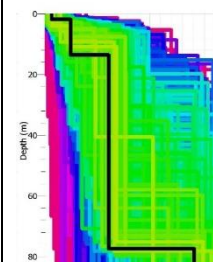
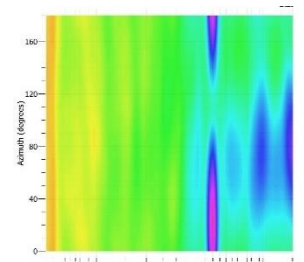
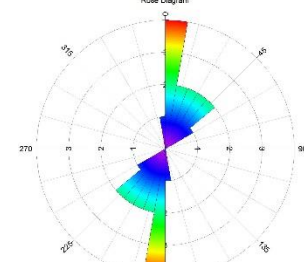
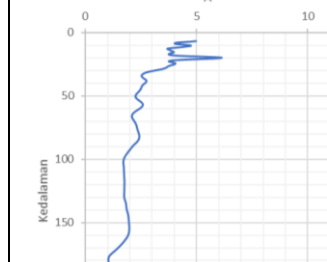
Titik	Metode Inversi				Arah Sumber Gelombang		Spektrum Lintasan Penampang Seismik
	Misfit	Ground Profiles	v_s (m/s)	Kedalaman (m)	H/V Rotate	Diagram Rose	
S77	0,217		151,352	3,831			
			583,201	20,393			
			1337,93	96,324			
			2604,37	100			
S79	0,116		220,836	1,375			
			588,469	14,253			
			1128,78	75,111			
			2775,91	100			
S39	0,093		66,74	3,017			
			122	20,80			
			200,3	39,73			
			231,303	100			

Titik	Metode Inversi				Arah Sumber Gelombang		Spektrum Lintasan Penampang Seismik
	Misfit	Ground Profiles	v_s (m/s)	Kedalaman (m)	H/V Rotate	Diagram Rose	
S93	0,322		154,308	2,400			
			525,489	20,471			
			1005,16	81,608			
			2313,27	100			
S95	0,164		164,612	1,596			
			541,081	14,026			
			1266,02	69,201			
			2277,91	100			
S97	0,13		301,656	1,871			
			554,298	13,126			
			1263,72	65,354			
			2477,41	100			

Titik	Metode Inversi				Arah Sumber Gelombang		Spektrum Lintasan Penampang Seismik
	Misfit	Ground Profiles	v_s (m/s)	Kedalaman (m)	H/V Rotate	Diagram Rose	
T1	0,178		130,196				
			452,778	15,130			
			932,041	87,201			
			2046	100			
S21	0,24		90,62	1,06			
			400,41	7,61			
			1437,25	43,02			
			2996,32	100			
S41	0,156		300,55	4,58			
			627,61	15,90			
			1113,97	72,17			
			2293,51	100			

Titik	Metode Inversi				Arah Sumber Gelombang		Spektrum Lintasan Penampang Seismik
	Misfit	Ground Profiles	v_s (m/s)	Kedalaman (m)	H/V Rotate	Diagram Rose	
S1	0,176		147,84	3,502			
			369,51	14,98			
			846,19	75,10			
			1693,41	100			
S19	0,296		125,21	2,78			
			366,56	37,42			
			907,35	100			
S37	0,266		286,473	5,42			
			760,82	48,46			
			2485,67	100			

Titik	Metode inversi				Arah Sumber Gelombang		Spektrum Lintasan Penampang Seismik
	Misfit	Ground Profiles	v_s (m/s)	Kedalaman (m)	H/V Rotate	Diagram Rose	
S55	0,378		53,57	1,549			
			254,858	13,427			
			560,762	66,657			
			1407,16	100			
S73	0,334		47,113	1,2447			
			193,608	7,768			
			690,520	59,154			
			1454,72	100			
S91	0,329		88,035	2,173			
			357,424	98,235			
			1125,18	100			

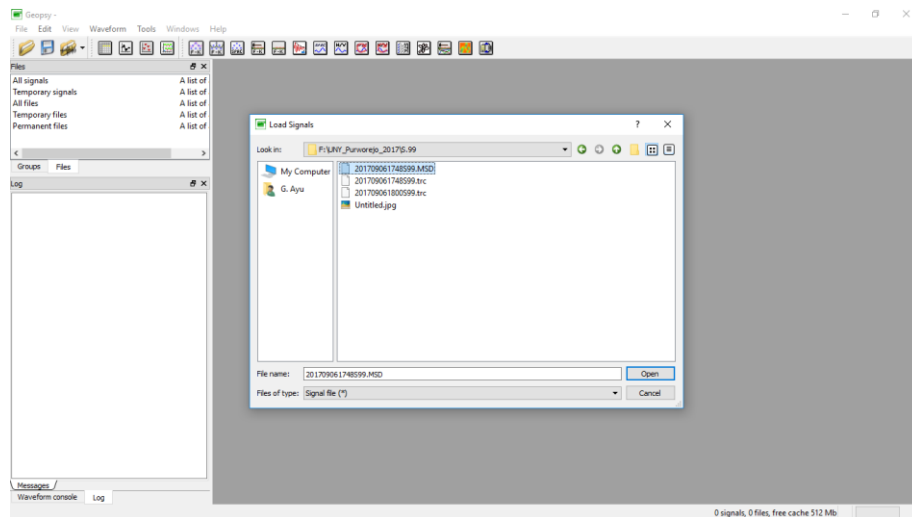
Titik	Metode Inversi				Arah Sumber Gelombang		Spektrum Lintasan Penampang Seismik
	Misfit	Ground Profiles	v_s (m/s)	Kedalaman (m)	H/V Rotate	Diagram Rose	
S3	0,209		142,30	2,98			
			1150,12	47,98			
			2573,96	100			
S5	0,18		472,668	11,11			
			1186,30	68,65			
			2605,08	100			
S16	0,228		219,36	19,09			
			565,07	13,56			
			1262,14	77,38			
			2816,27	100			

Lampiran 4

Langkah-Langkah Pengolahan Sinyal Mikrotremor

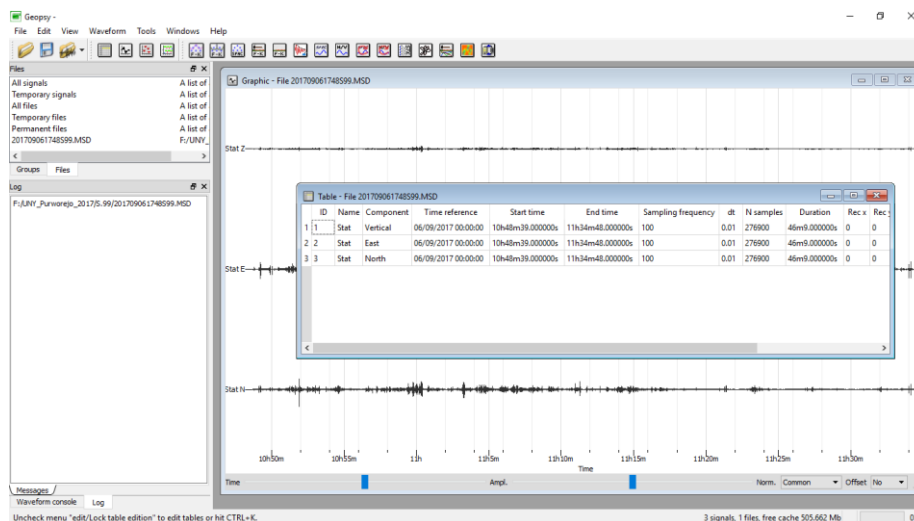
A. Pengolahan Sinyal Mikrotremor dengan *Software Geopsy*

1. Buka *software* Geopsy → klik *OK* pada jendela *preferences*.
2. Masukkan sinyal mikrotremor dengan cara klik *Import Signal* kemudian memilih data yang sudah tersimpan dalam format *.MSD*.



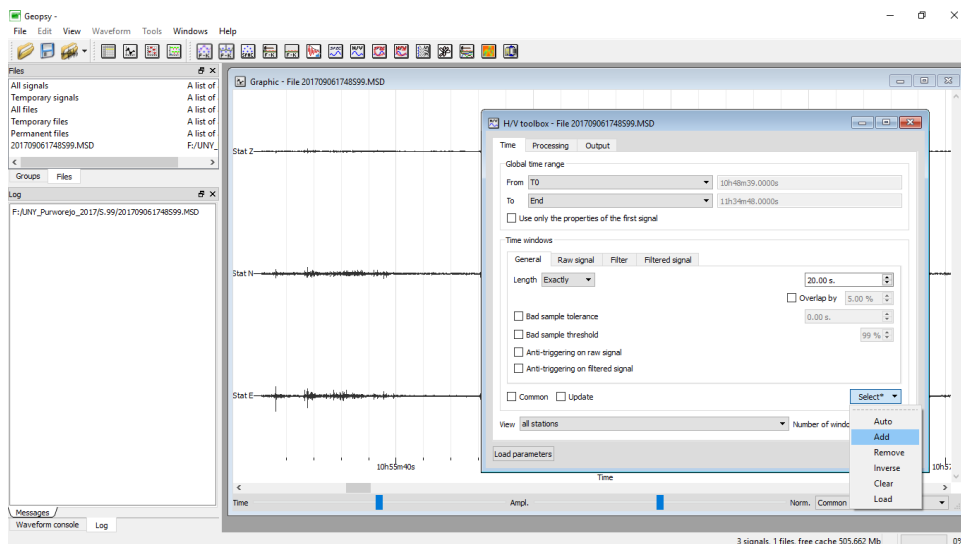
Gambar L1. Tampilan proses *Import Signal*

3. Data yang telah diimport akan muncul seperti pada Gambar L2.



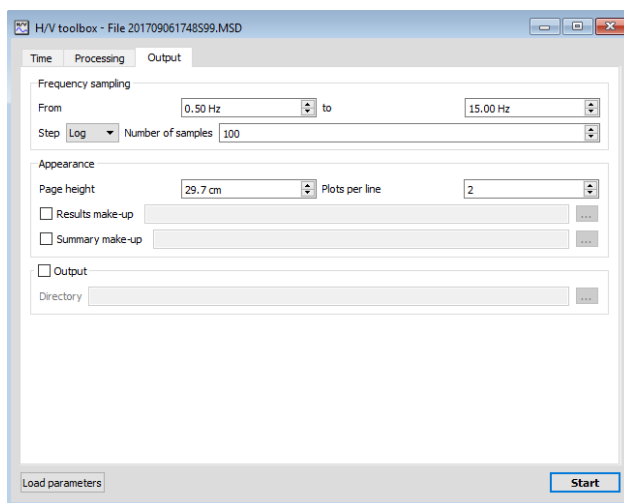
Gambar L2. Tampilan sinyal yang telah diimport pada *software* Geopsy

- Klik H/V pada *toolbar*, untuk *Length Window* dipilih 20 detik, → *Start* → *Add* untuk memulai *windowing*.

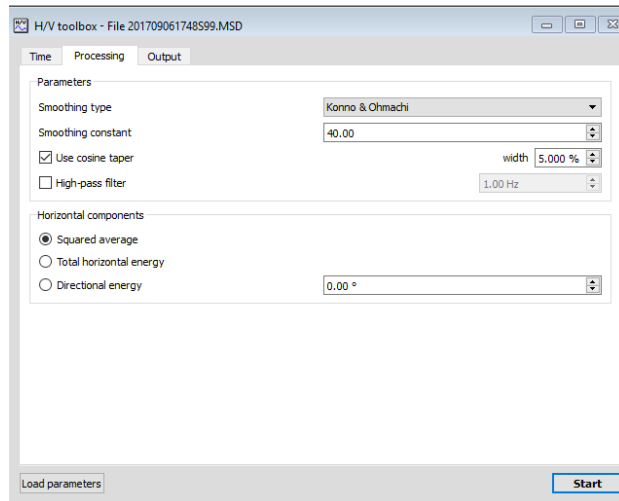


Gambar L3. Tampilan pengaturan dalam *H/V Toolbox*

- Melakukan *windowing* sebanyak 10 *window* → kembali ke menu *H/V toolbox* → *Output* → *Frequency Sampling* (dari 0,5 Hz hingga 15 Hz atau 20 Hz). Sedangkan pada bagian *Processing* → *Konno Omachi*, *Smoothing* → 40,00, dan *Horizontal Components* → *Square Average*.

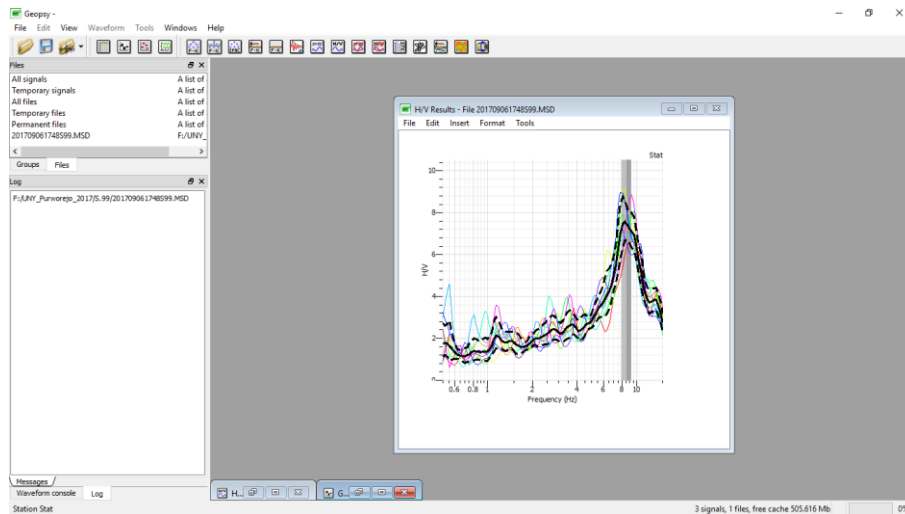


Gambar L4. Tampilan *H/V Toolbox* pada bagian *Output*



Gambar L5. Tampilan *H/V Toolbox* pada bagian *Processing*

- b. Pilih *Start* hingga muncul hasil pengolahan sinyal mikrotremor menjadi kurva H/V seperti pada Gambar L6.

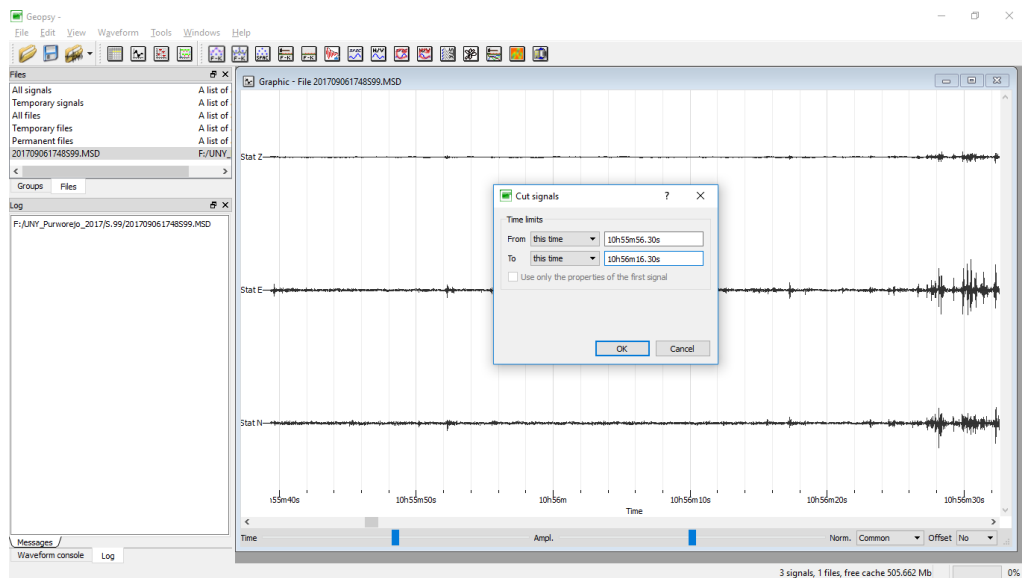


Gambar L6. Tampilan Kurva H/V

- c. Kurva H/V disimpan dengan cara memilih menu *Tools* → *Save Result*, atau bisa dengan klik kanan pada kurva H/V → *Properties* → *Save Layer File* disimpan dalam format *.hv*.
- d. Kurva H/V juga disimpan dalam bentuk gambar dengan cara memilih menu *File* → *Export*, dan *file* disimpan dalam format *.jpg*.

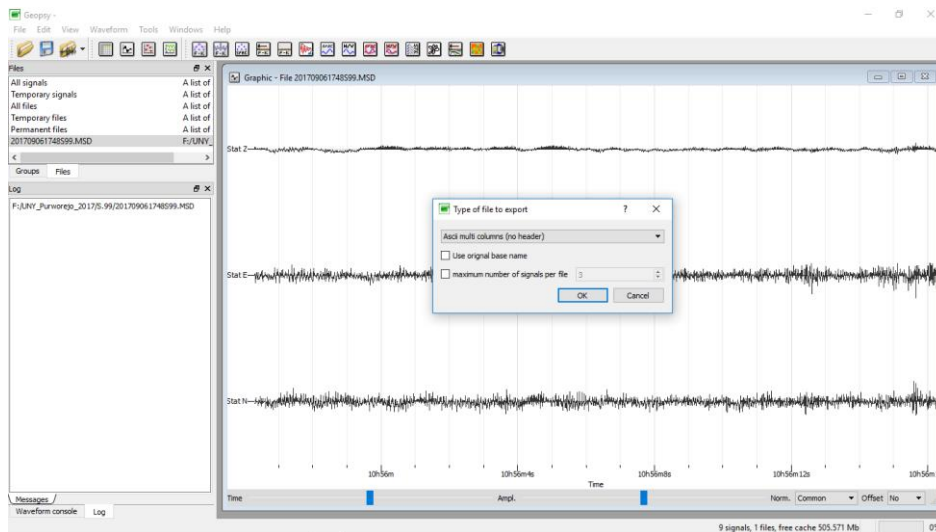
B. Cutting Sinyal Mikrotremor dengan *Software Geopsy* dan *Command Prompt*

1. Buka sinyal mikrotremor yang akan dicutting.
2. Pilih menu *Waveform* → *Cut* atau menekan tombol *Ctrl+Alt+C*. Pada jendela *Cut Signals*, pada *Time Level* → *from this time* dan *to this time* agar bisa diisi batasan waktu sinyal yang ingin dicutting seperti pada Gambar L7. Pengisian waktu tersebut disesuaikan dengan waktu pada sebuah *window* yang dipilih saat melakukan pengolahan kurva H/V → klik *OK*.



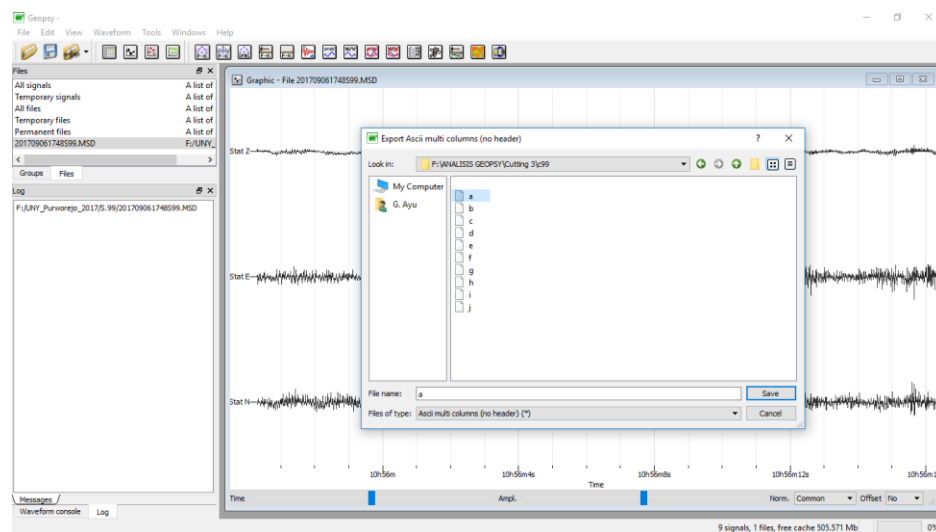
Gambar L7. Tampilan jendela *Cut Signals*

3. Simpan hasil *cutting* tersebut dengan memilih menu *File* → *Export* → pilih format penyimpanan *file* → *Ascii multi coloumns (no header)* → *OK*.



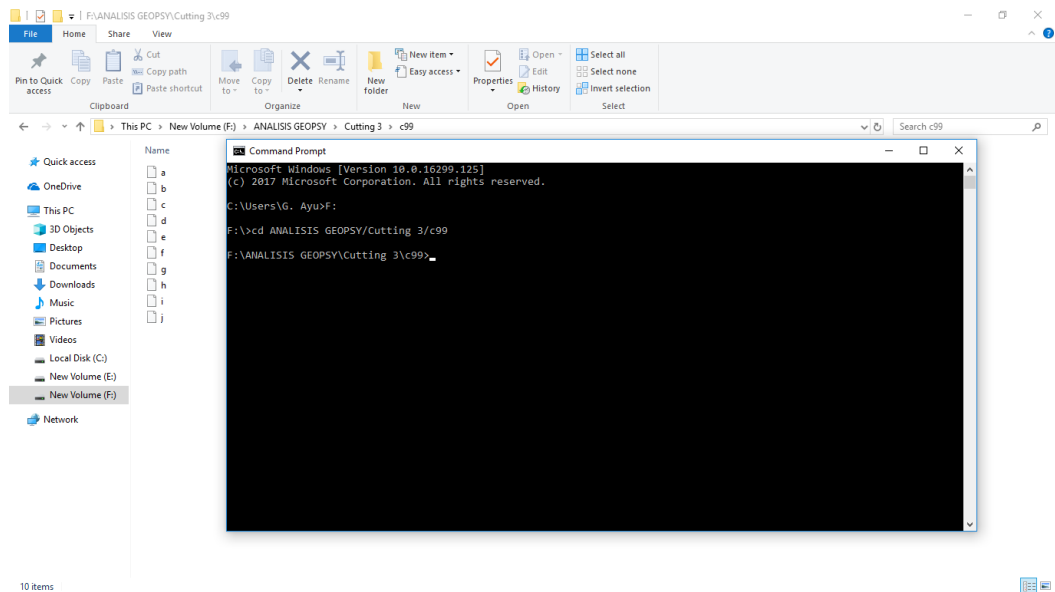
Gambar L8. Tampilan jendela pemilihan tipe penyimpanan *file*

4. Pilih lokasi dan nama *file* yang akan disimpan → *Save*.



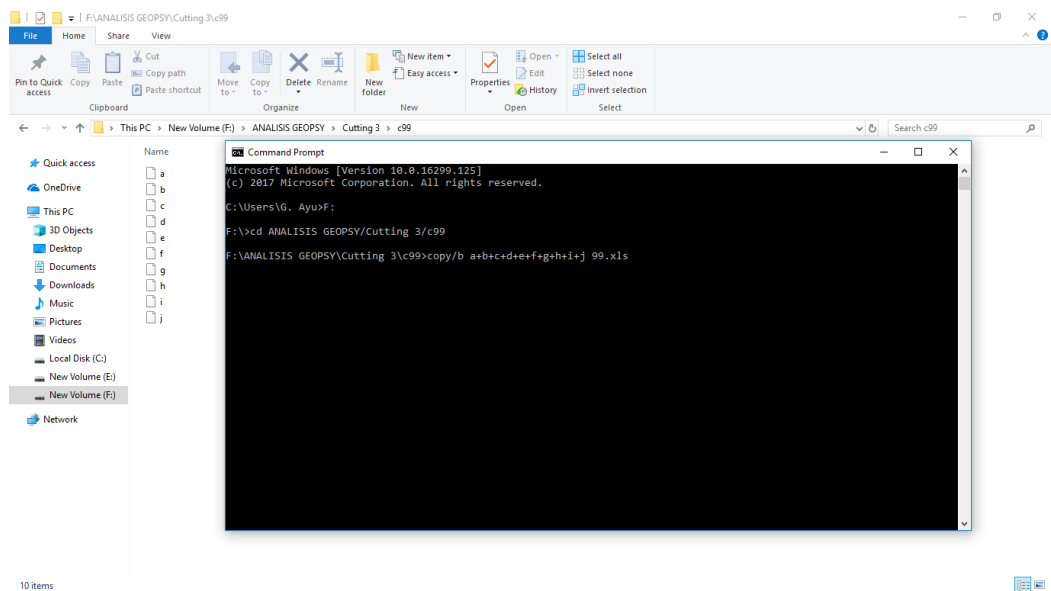
Gambar L9. Tampilan *file* hasil *cutting*

5. Lakukan langkah 4 sampai 5 pada semua *window* yang dipilih dalam pengolahan sinyal mikrotremor.
6. Setelah proses *cutting* selesai, dilakukan proses penggabungan *file* dengan *Command Prompt*. Buka *Command Prompt* → ubah direktori ke lokasi *file-file* hasil *cutting* tersimpan.



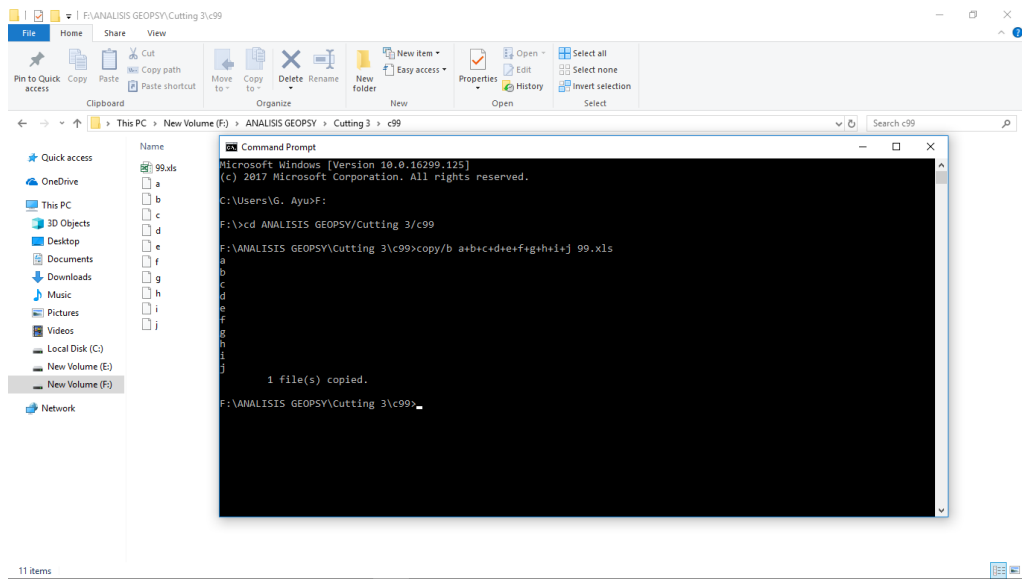
Gambar L10. Tampilan perubahan direktori pada *Command Prompt*

7. Tulis program penggabungan *file* → `copy/b` (spasi) nama *file* pertama+nama *file* kedua+nama *file* ketiga+...+nama *file* terakhir (spasi) nama *file* yang akan disimpan. Hasil gabungan dalam format `.xls`.



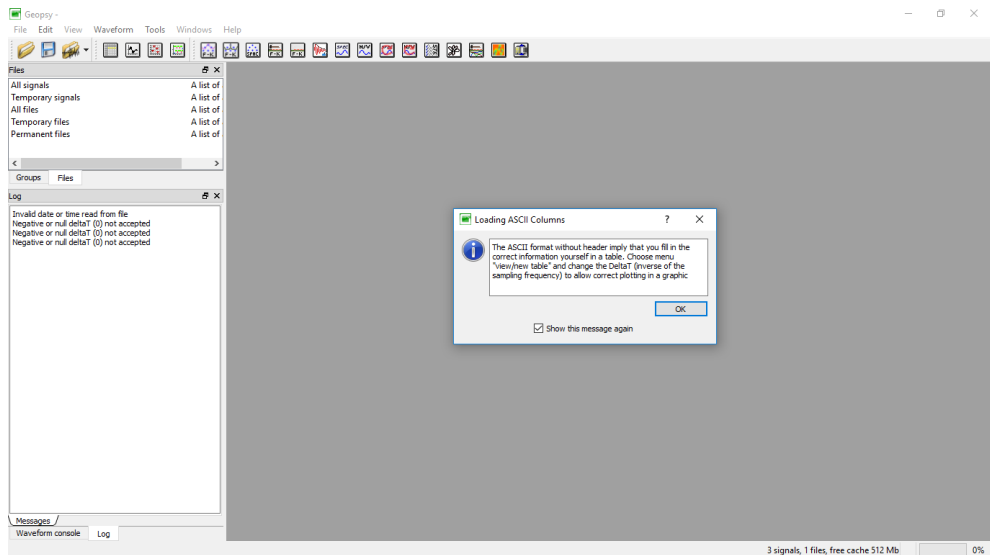
Gambar L11. Tampilan penulisan program penggabungan *file*

8. Setelah selesai, klik *Enter* maka *file* gabungan akan masuk ke direktori yang sama dengan lokasi *file-file* hasil *cutting*.



Gambar L12. Tampilan hasil penggabungan *file*

9. Untuk melihat hasil penggabungan sinyal yang telah *dicutting*, masukkan sinyal yang telah digabung tersebut di *software* Geopsy → muncul jendela *Loading ASCII Columns* → klik *OK*.

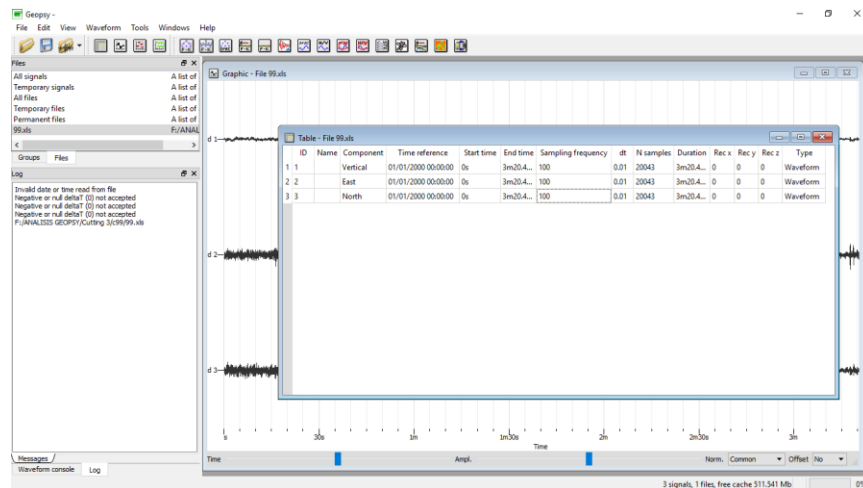


Gambar L13. Tampilan jendela *Loading ASCII Columns*

10. Sinyal yang muncul akan kosong, maka pengaturan pada tabel perlu diubah.

Pilih menu *Edit* → hilangkan centang pada *Lock Table Adition*.

11. Pada bagian komponen sinyal diisi sesuai dengan urutan sinyal mikrotremor pengukuran, yaitu *Vertical*, *East*, dan *North*. Selain itu digunakan *Sampling Frequency* sebesar 100.



Gambar L14. Tampilan pengisian tabel sinyal yang telah dimasukkan

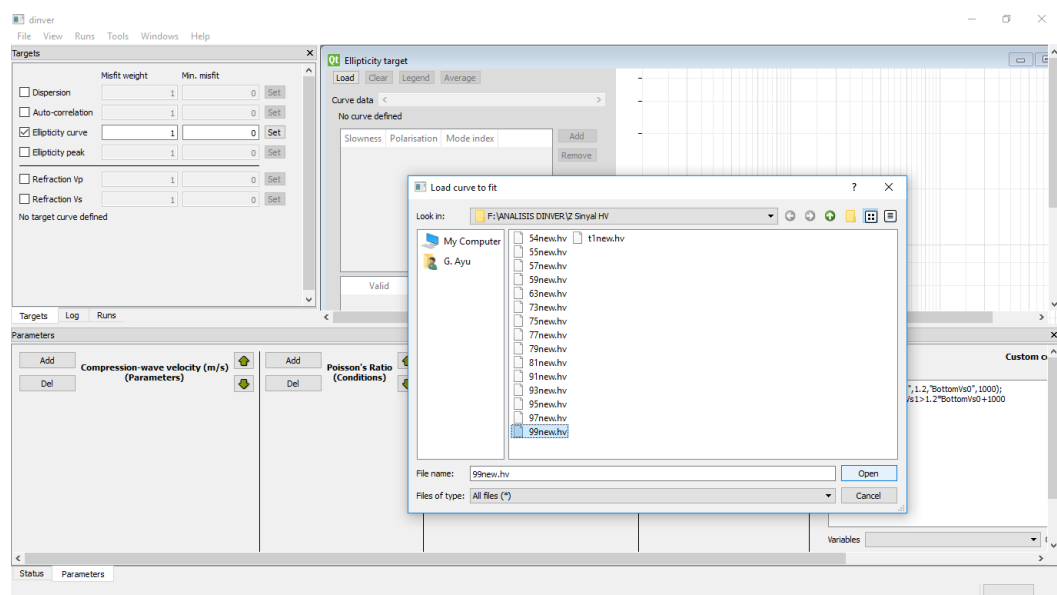
12. *File* yang telah *cutting* kemudian dibuka di Microsoft Excel untuk dilakukan pengecekan sinyal mikrotremor. Sinyal mikrotremor terdiri dari tiga komponen, yaitu vertikal (V), barat-timur (E), dan utara-selatan (N). Setiap komponen dicari nilai maksimumnya, kemudian setiap nilai maksimum dikalikan dengan nilai 0,003. Apabila data mikrotremor baik, maka nilai akan <10, apabila ada yang >10 maka dilakukan *windowing* dan *cutting* ulang.

	V	E	N		Nilai Maksimal			(Nilai Maksimal x 0.003) < 10
2	V	E	N		V	E	N	V
3	6	-105	25	Puncak	138	569	516	0.414
4	39	24	-101	Lembah	-150	-564	-612	1.707
5	36	27	-47					1.548
6	3	-168	2					
7	-7	-105	41					
8	-1	-19	45					

Gambar L15. Tampilan Pengecekan Sinyal Mikrotremor

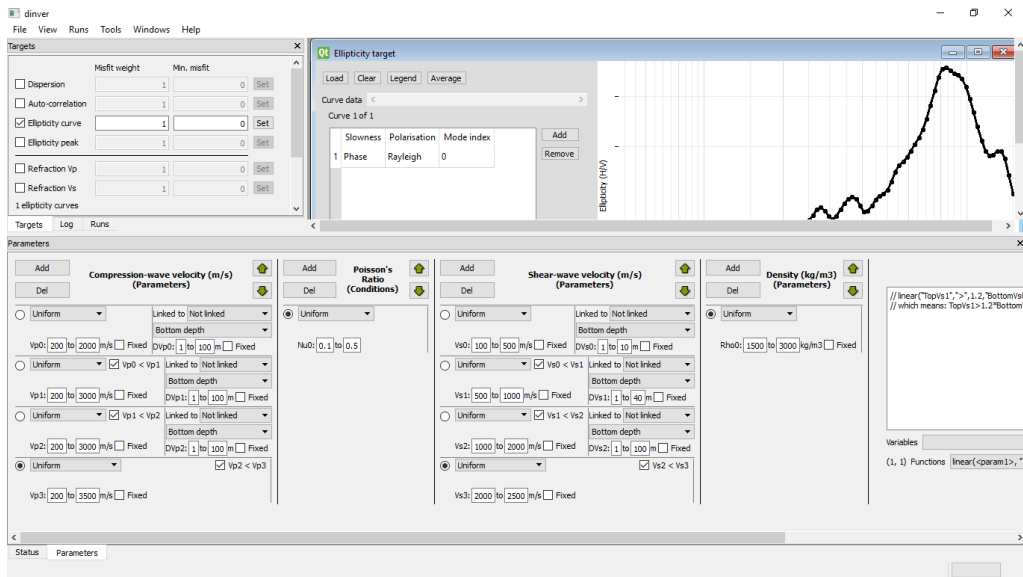
C. Pengolahan Kurva H/V untuk menentukan nilai V_s dengan Program Dinver

1. Buka program Dinver → muncul *Dinver Plugin Selector* → *Surface Wave Inversion* → klik *OK*.
2. Pilih metode *Ellipticity Curve* → muncul *Ellipticity Target* → *Load* → *Open* (untuk membuka data kurva H/V) → klik *OK*.



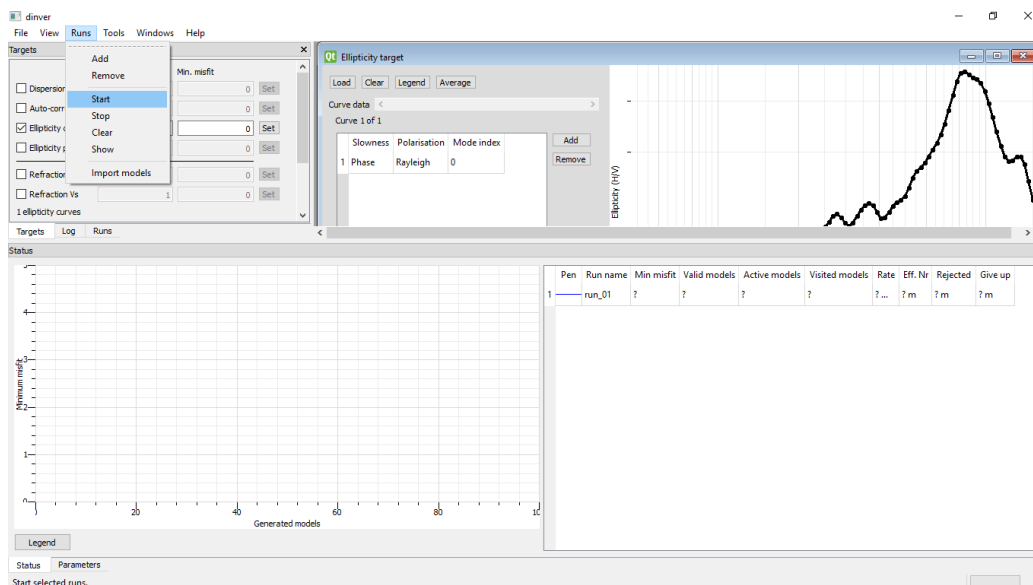
Gambar L17. Tampilan memasukkan data kurva H/V untuk diolah

3. Mengisi parameter-parameter yaitu *Compression-wave velocity* (V_p), *Shear-wave velocity* (V_s), *Poisson ratio*, dan *Density*. Pengisian parameter disesuaikan dengan kondisi geologi di lokasi penelitian.



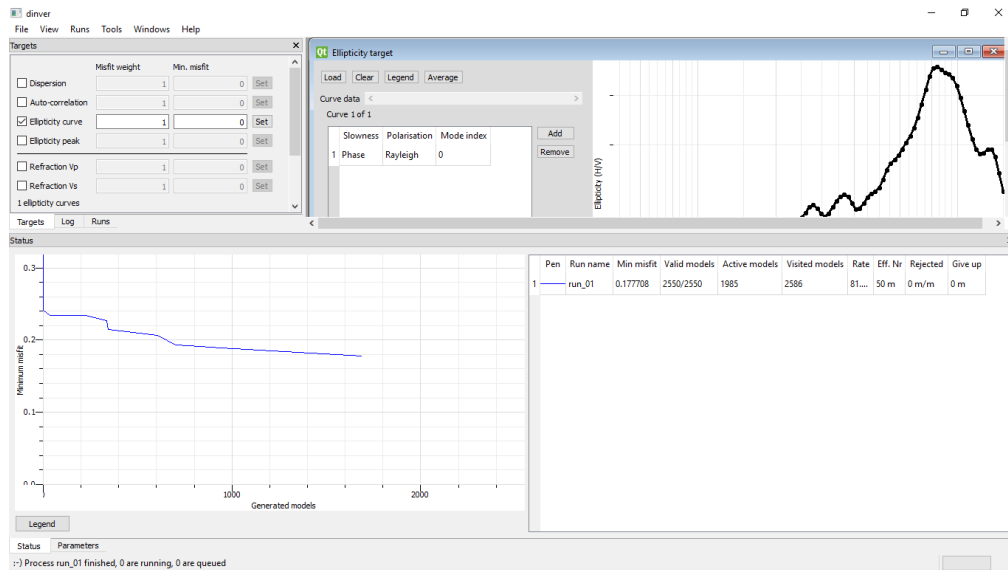
Gambar L18. Tampilan pengisian parameter

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



Gambar L19. Tampilan jendela *Status*

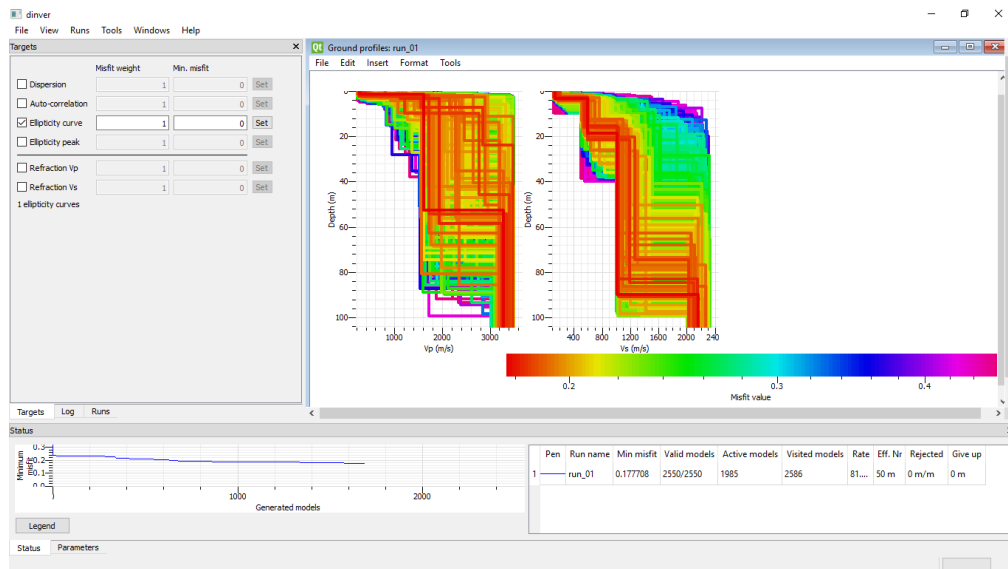
6. Tunggu sampai proses *running* selesai, sehingga diperoleh grafik perolehan nilai *misfit* akhir.



Gambar L20. Tampilan proses *running*

7. Pilih menu *View* → *Ground profiles* → muncul *Ground profile viewer* (ditampilkan 2 profil yaitu V_p dan V_s) → Pilih *misfit* maksimal sebesar 1.

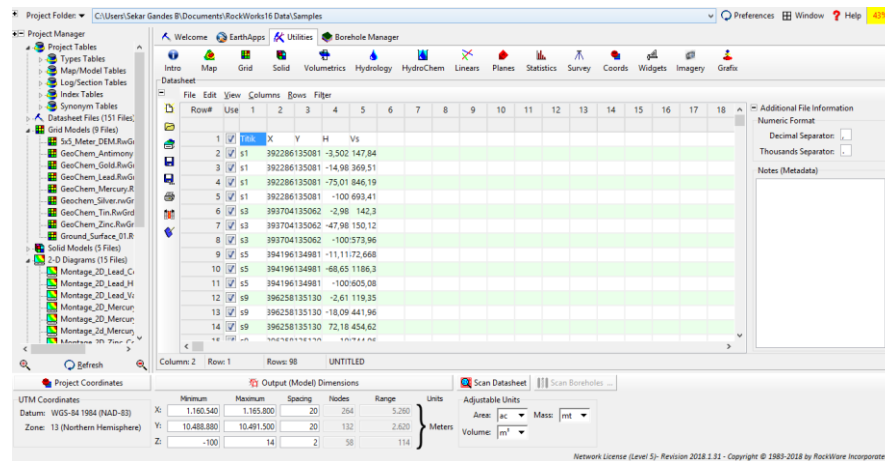
Kemudian didapat informasi jumlah lapisan bawah permukaan beserta nilai V_s .



Gambar L21. Tampilan *ground profiles*

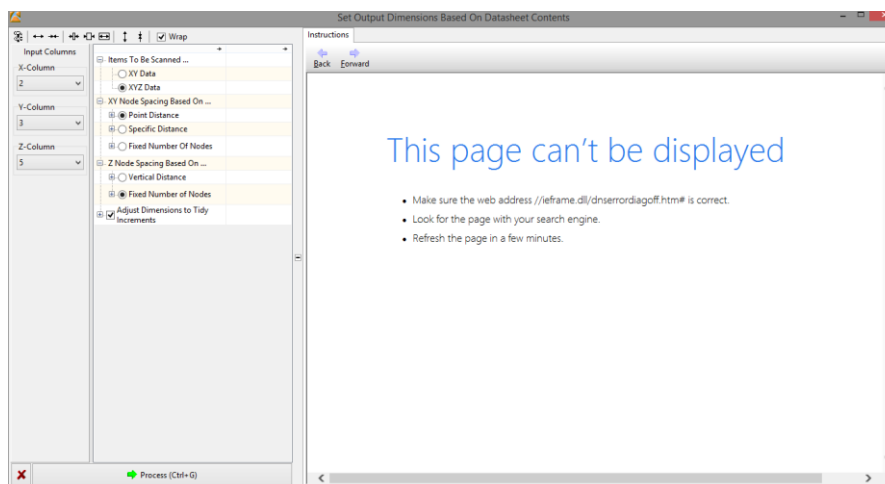
D. Proses Pemodelan 3D Struktur Bawah Permukaan Berdasarkan Nilai V_s

1. Membuka *software* Rockwork 16 → *Utilities* → *input* data pada kolom berupa data koordinat *easting*, koordinat *northing*, nilai kedalaman lapisan dan nilai kecepatan gelombang geser (V_s) seperti pada Gambar L22.



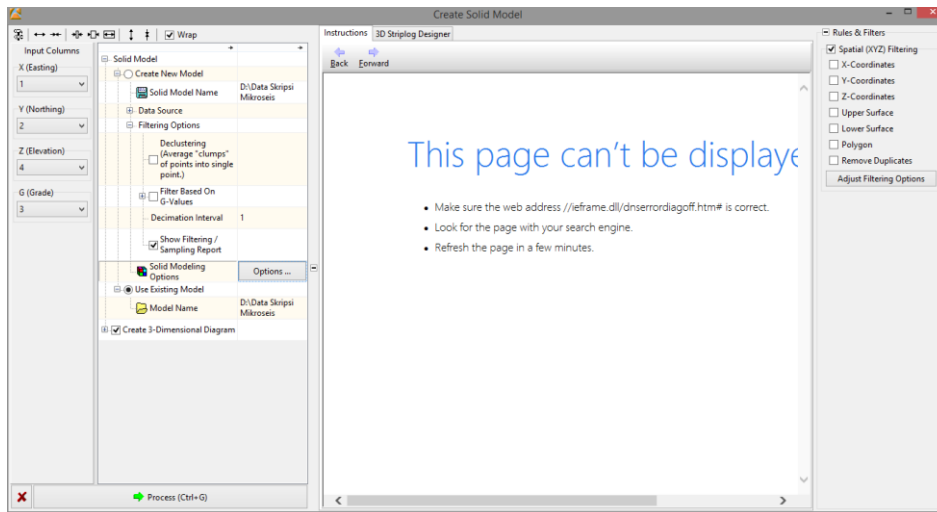
Gambar L22. Tampilan awal pengisian *datasheet* pada pemodelan 3D

2. Klik *scan datasheet* → mengatur *input column* X, Y, dan Z sesuai data yang diinput seperti pada Gambar L23.



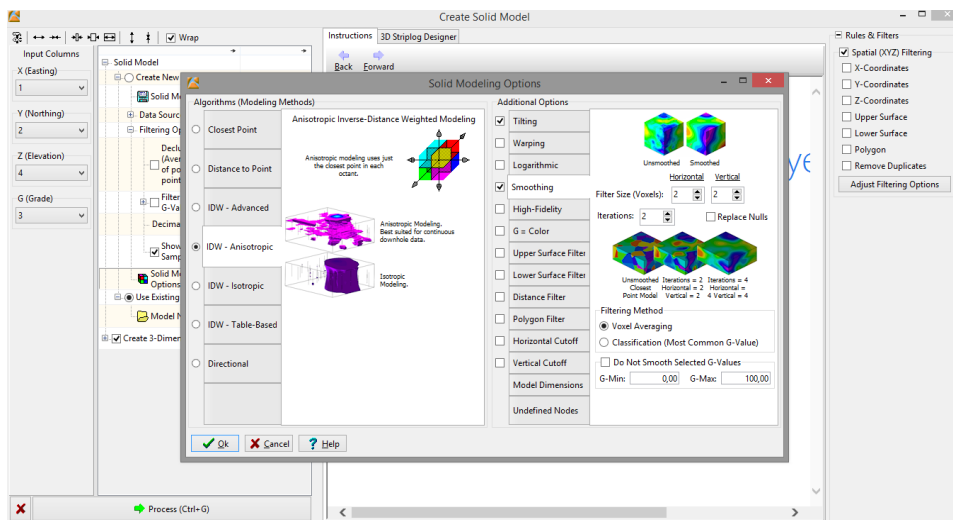
Gambar L23. Tampilan pengaturan pada *scan datasheet*

- Untuk membuat pemodelan 3D, klik menu *Solid* → *Model* → atur *Input Column X, Y, Z, dan G* sesuai data yang diinput.



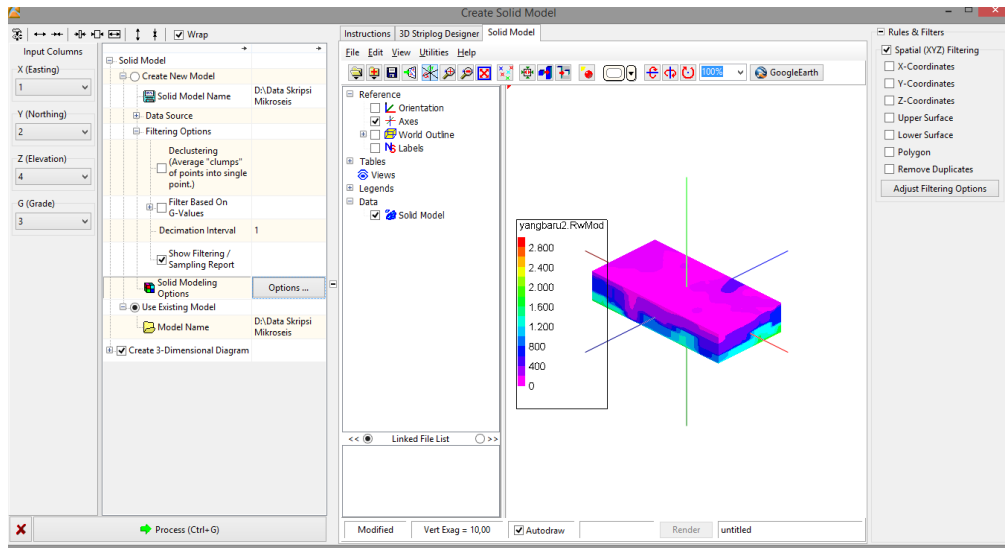
Gambar L24. Tampilan pada menu *solid model*

- Klik *Option* pada *Filtering Option* → atur *Modeling Methods* dan *Additional Options* sesuai kebutuhan → *Process*.



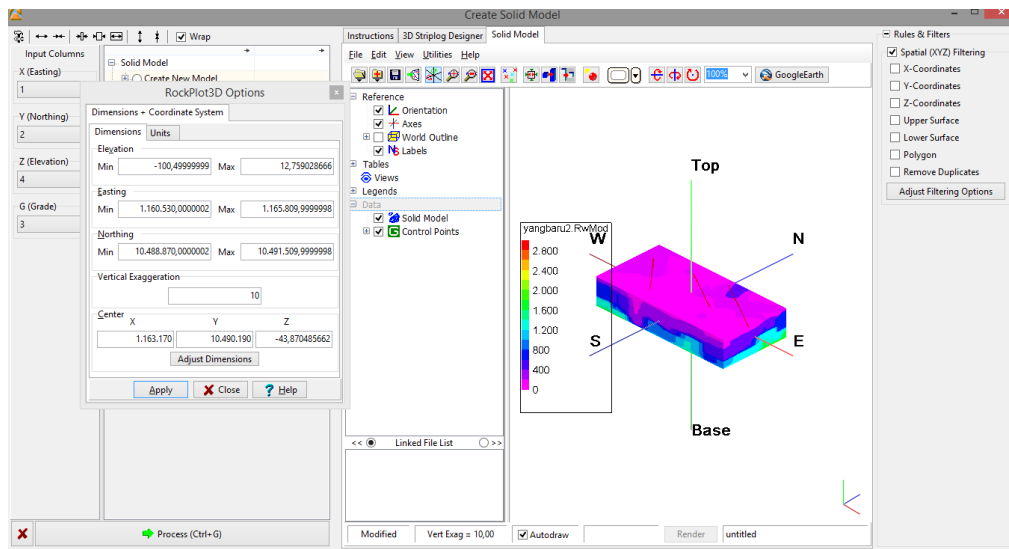
Gambar 25. Tampilan menu pengaturan pemilihan model

- Simpan *solid model* 3D dengan format *RLC*.



Gambar L26. Tampilan *solid* model 3D yang telah diproses

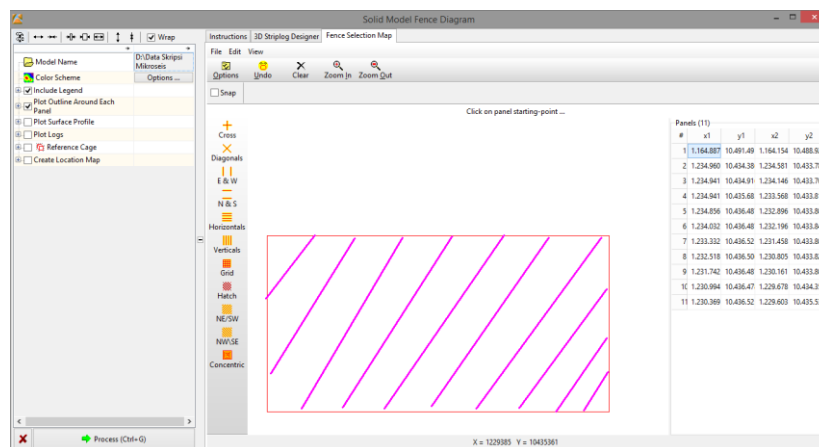
- Memasukkan titik koordinat jalur sesar dengan cara klik *Append to Current Scene* → *Recent* → pilih *file* koordinat jalur sesar hingga muncul garis sesar seperti pada Gambar L27.



Gambar L27. Tampilan *solid* model 3D beserta jalur sesar

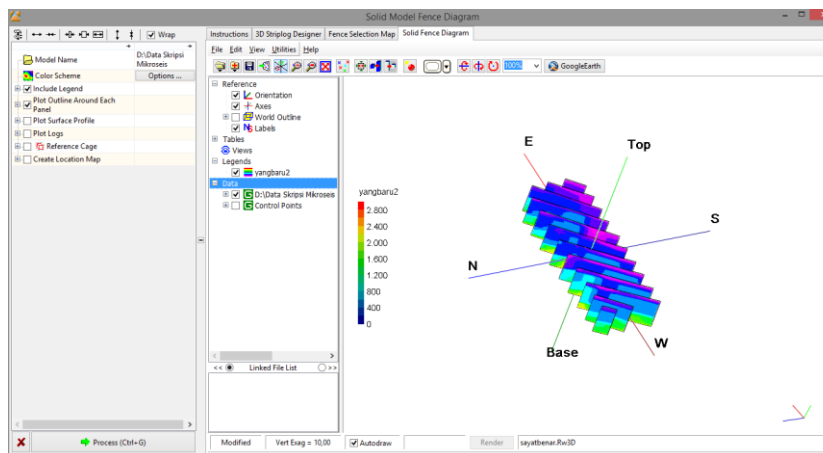
E. Pemodelan Sayatan Struktur Bawah Permukaan Berdasarkan Nilai V_s

1. Melakukan langkah 1 dan 2 seperti pada proses pemodelan 3D struktur bawah permukaan berdasarkan nilai V_s .
2. Pilih menu *Solid* → *Fence* → *Section* → *Fence Selection Map* → buat sayatan dengan mengklik ujung-ujung sayatan pada kotak yang tersedia sesuai dengan kebutuhan.



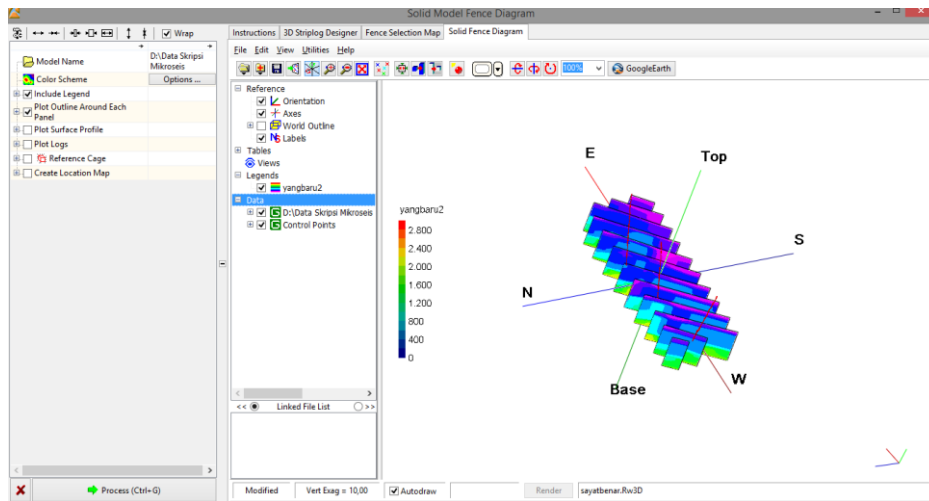
Gambar L27. Tampilan *Solid Model Fence*

7. Klik *Process* dan diperoleh hasil sayatan seperti yang ditunjukkan pada Gambar L28.



Gambar L28. Tampilan hasil sayatan yang telah diproses

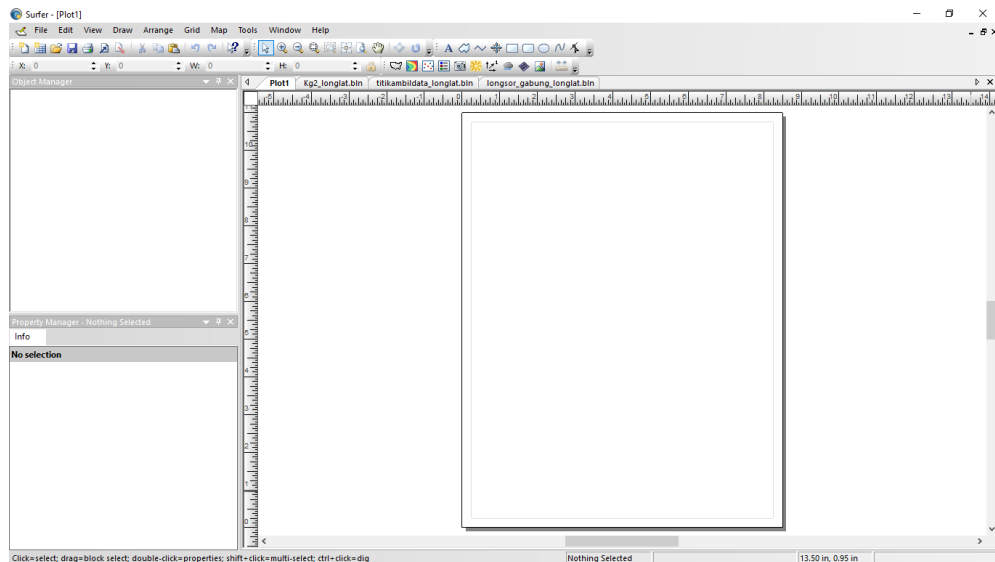
8. Masukkan titik koordinat jalur sesar dengan cara klik *Append to Current Scene*
→ *Recent* → pilih *file* koordinat jalur sesar yang telah disimpan, maka akan muncul hasil sayatan beserta jalur sesarnya seperti pada Gambar L29.



Gambar L29. Tampilan hasil sayatan beserta jalur sesar

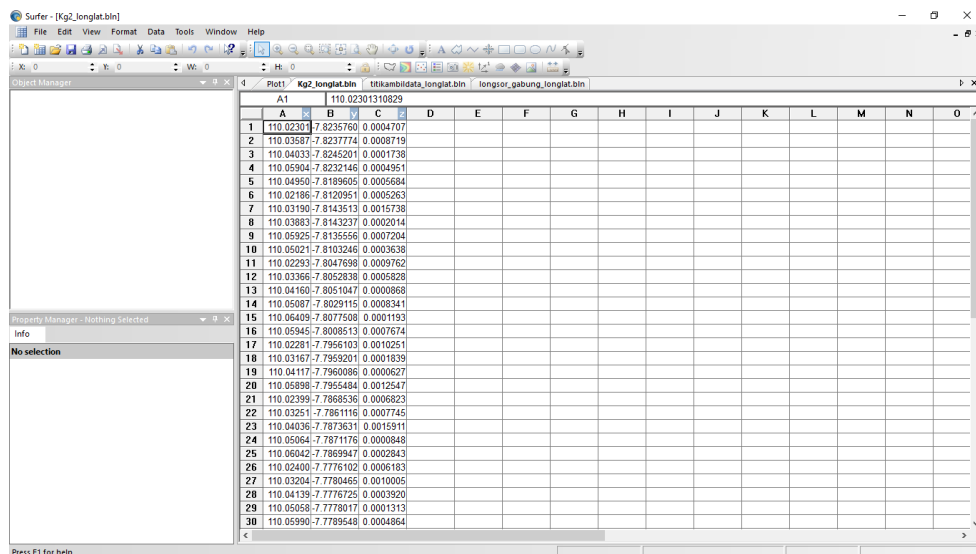
F. Proses Mikrozonasi Menggunakan *Software* Surfer 11

1. Membuka *software* Surfer 11 seperti yang ditunjukkan pada Gambar L30.



L30. Tampilan *software* Surfer 11

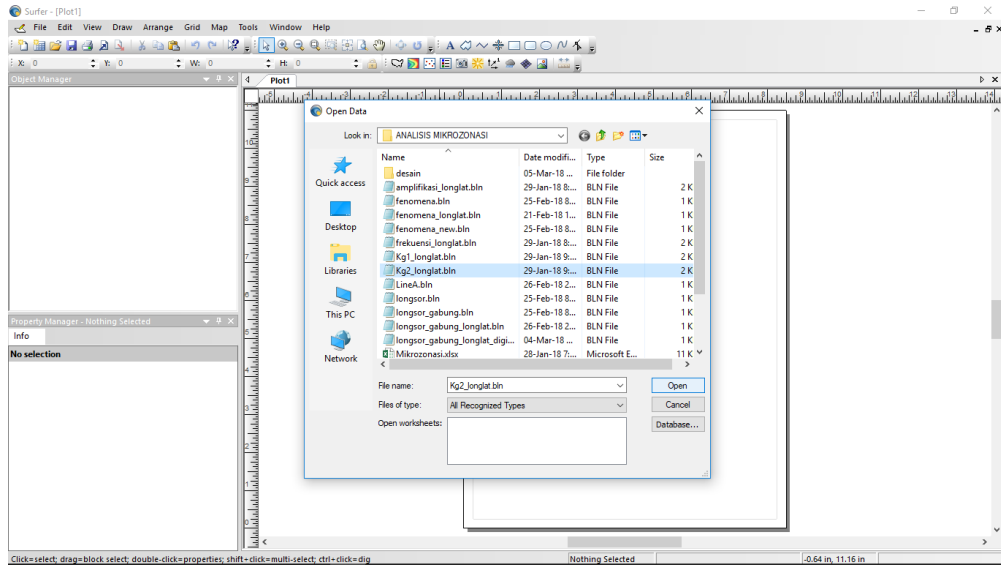
2. Klik ikon *New Worksheet* → *input* tabel dengan ketentuan kolom A adalah koordinat *longitude*, kolom B adalah koordinat *latitude*, dan kolom C adalah nilai parameter yang akan dimikrozonasi.



L31. Tampilan pengisian *Worksheet*

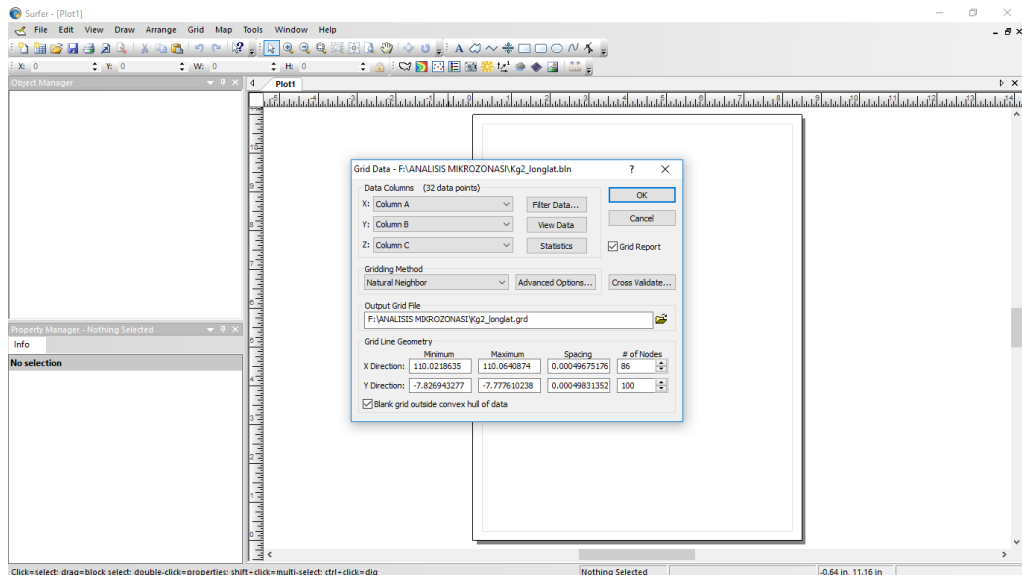
3. *Worksheet* disimpan dalam format *.blm*.

4. Untuk memulai proses mikrozonasi, kembali ke jendela *Plot* → menu *Grid* → *Data* → pilih file dalam format *.bln* yang akan dimikrozonasi → klik *Open*.



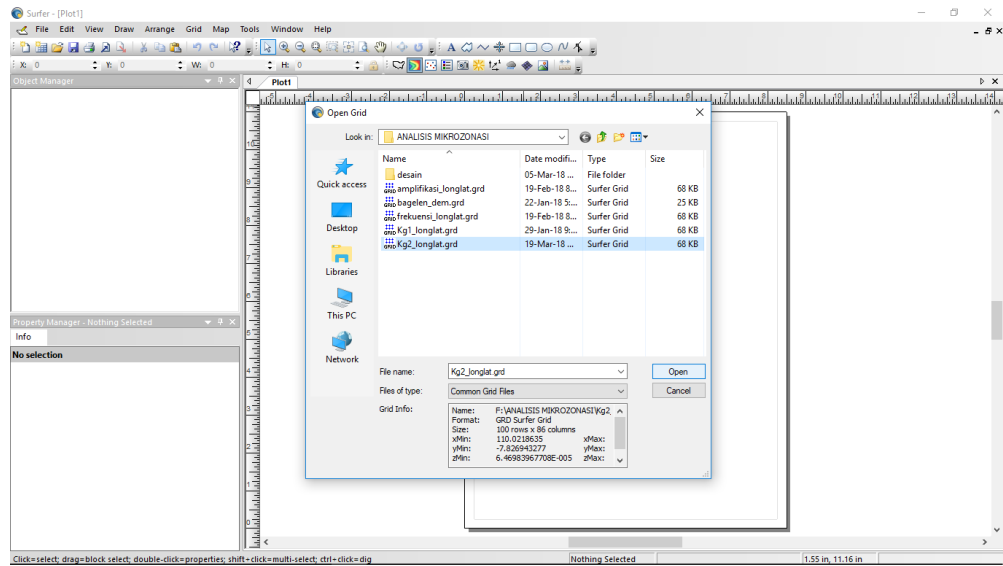
Gambar L32. Tampilan proses mikrozonasi dengan *Gridding*

5. Saat muncul tampilan pengaturan *Gridding* → pilih metode *Natural Neighbor* → klik *OK*.



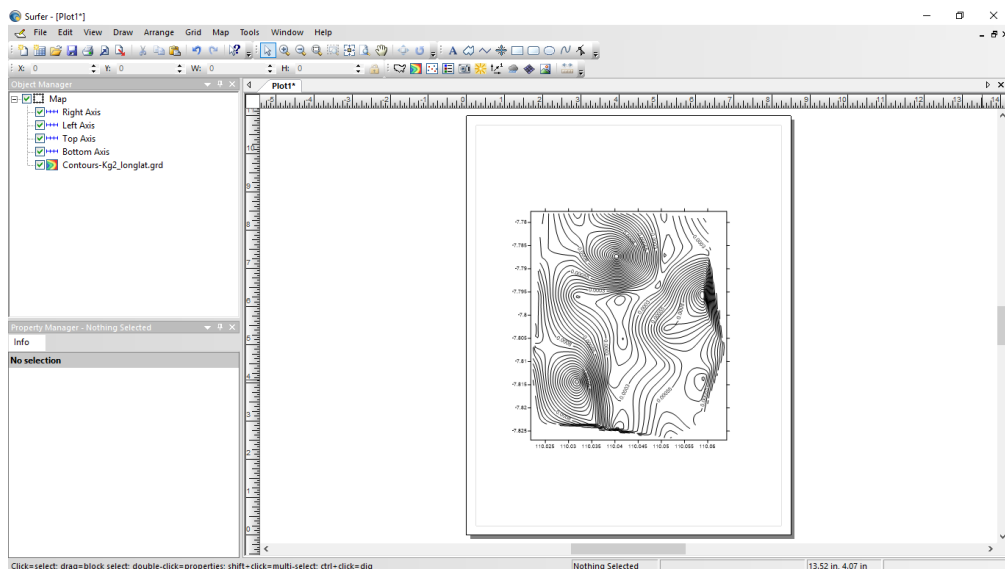
Gambar L33. Tampilan pengaturan *Gridding*

6. Hasil *Gridding* akan tersimpan dalam format *.grd*.



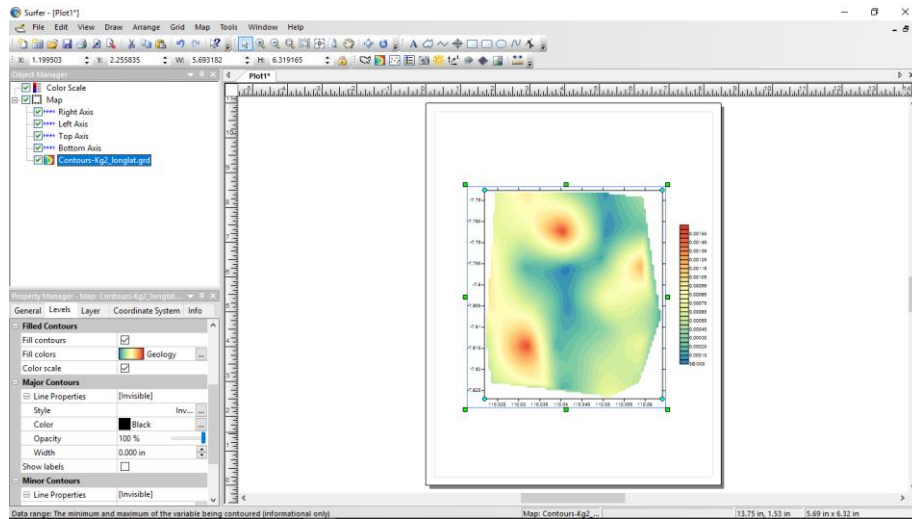
Gambar L34. Tampilan membuka hasil *Gridding*

- Menampilkan hasil *Gridding* dengan cara pilih ikon *New Contour Map* → pilih *file* yang telah disimpan dengan format *.bln* → klik *Open*, maka akan muncul hasil *Gridding* dalam bentuk kontur seperti yang ditunjukkan pada Gambar L35.



Gambar L35. Tampilan hasil *Gridding* dalam bentuk kontur

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



Gambar L36. Tampilan setelah diatur tampilannya

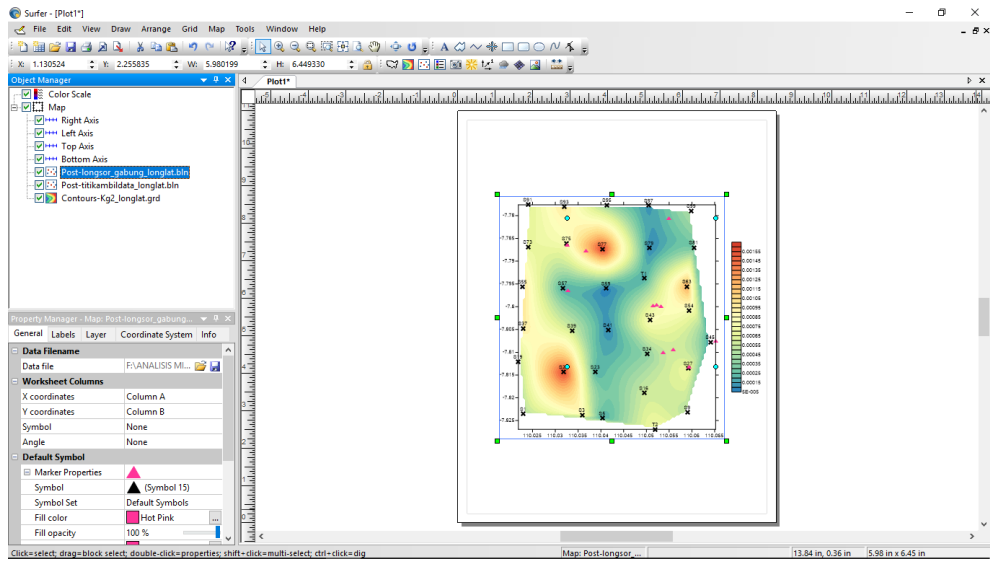
- Untuk memunculkan titik pengukuran dipilih ikon *New Post Map* → buka *Worksheet* yang sudah disimpan dalam bentuk *.bln* dengan ketentuan kolom A adalah koordinat *longitude*, kolom B adalah koordinat *latitude*, dan kolom C adalah nama titik pengukuran.

The image shows the Surfer software interface with a worksheet titled 'KOORDINAT.blm'. The worksheet has columns A through K. The data is as follows:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	393270	9140117.3	93								
2	392383.2	9140163.5	91								
3	392384.1	9139141.5	73								
4	393233.1	9138141	57								
5	395314	9140149	97								
6	395323	9139119	79								
7	395202	9138380	T1								
8	393454.8	9137106.2	39								
9	394330.8	9137128	41								
10	395352	9137372.8	43								
11	396244.8	9138188.9	63								
12	396298.5	9137602.7	54								
13	393263.4	9136103.2	21								
14	394028	9136108	23								
15	395291	9136553	34								
16	396811	9136841	45								
17	395205	9135998	16								
18	396279	9136198	27								
19	393704	9135062	3								
20	392286	9135081	1								
21	394196	9134981	5								
22	396258	9135130	9								
23	395483	9134716	T2								
24	392156.3	9136350.1	19								
25	392272.4	9137160.3	37								
26	392256.4	9138173	55								
27	396342.6	9140023.8	99								

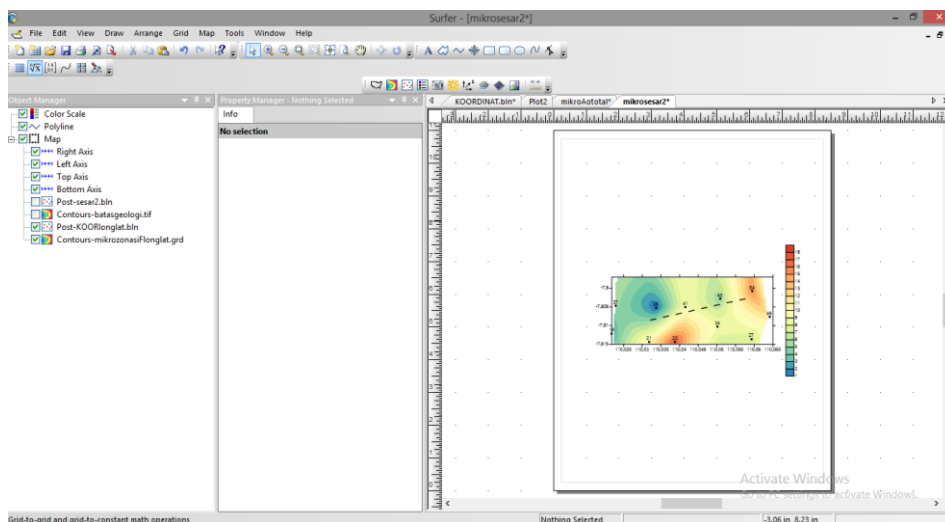
Gambar L37. Tampilan pengisian *worksheet* koordinat

- Satukan titik koordinat dengan dengan peta koordinat kontur dengan cara pilih menu *Map* → *Overlay*. Pengaturan simbol dan pemunculan nama titik koordinat dilakukan dengan cara *Property Manager* → *General* → *Label*.



L38. Tampilan hasil mikrozonasi

11. *Crop* mikrozonasi menjadi 3 bagian berdasarkan kawasan jalur sesar dengan cara *Property Manager* → *Limits* → isi koordinat pada Xmax, Ymax, Xmin, Ymin sesuai batas yang diinginkan → *Enter*.
12. Simpan hasil *crop* mikrozonasi dengan pilih menu *File* → *Export* → simpan dalam bentuk *.jpg*.



Gambar L39. Tampilan hasil *Crop* mikrozonasi

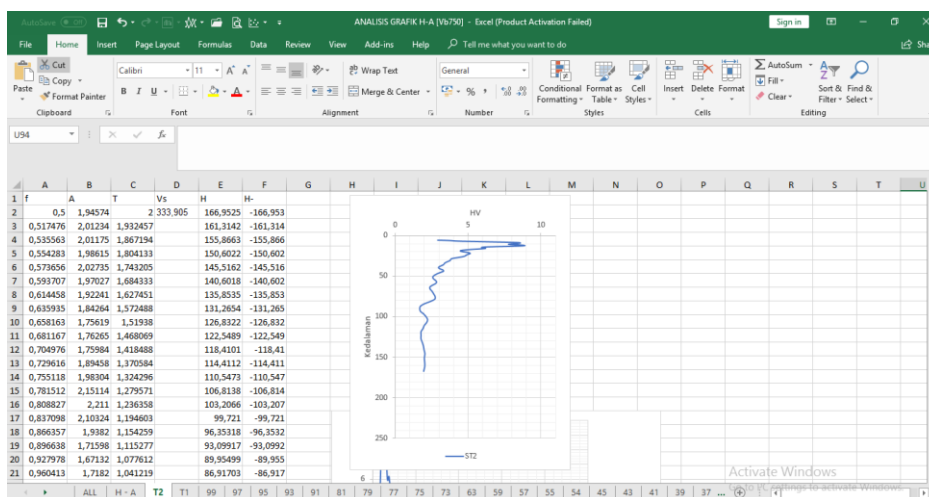
G. Pengolahan Penampang Seismik Kurva H/V

1. Membuka Excel → isi tabel dengan data-data yang dibutuhkan, yaitu A_0 , f_0 , T_0 , V_s , dan H . Nilai A_0 dan f_0 diperoleh dari data analisis HVSR yang disimpan dalam bentuk .hv, nilai T_0 diperoleh dari perhitungan $\frac{1}{f_0}$, nilai V_s diperoleh dari hasil analisis metode inversi, dan H diperoleh dari hasil perhitungan $H = \frac{T_0 \cdot V_s}{4}$.

f	A	T	Vs	H	H-
0,5	1,94574	2,333,905	166,9525	-166,953	
0,517476	2,01234	1,932457	161,3142	-161,314	
0,535563	2,01175	1,867194	155,8663	-155,866	
0,554283	1,98615	1,804133	150,6022	-150,602	
0,573856	2,02735	1,743205	145,5162	-145,516	
0,593707	1,97027	1,684333	140,6018	-140,602	
0,614458	1,92241	1,627451	135,8535	-135,853	
0,635935	1,84264	1,572488	131,2654	-131,265	
0,658163	1,75619	1,51938	126,8322	-126,832	
0,681167	1,76265	1,468069	122,5489	-122,549	
0,704976	1,75984	1,418488	118,4101	-118,41	
0,729616	1,89458	1,370584	114,4112	-114,411	
0,755118	1,98304	1,324296	110,5473	-110,547	
0,781512	2,15114	1,279571	106,8138	-106,814	
0,808827	2,211	1,236358	103,2066	-103,207	
0,837098	2,10324	1,194603	99,721	-99,721	
0,866357	1,9382	1,154259	96,35318	-96,3532	
0,896638	1,71598	1,115277	93,09917	-93,0992	
0,927978	1,67132	1,077612	89,95499	-89,955	
0,960413	1,7182	1,041219	86,91703	-86,917	

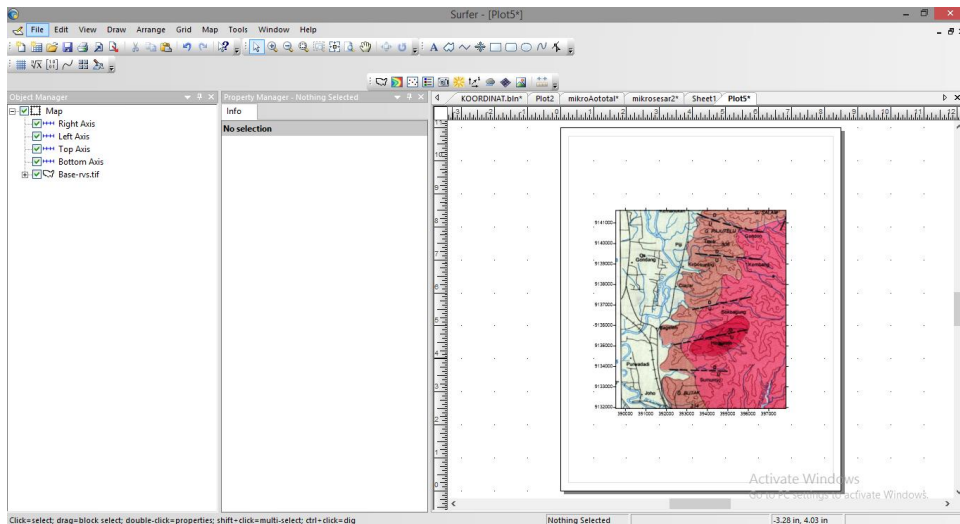
Gambar L40. Tabel data *input* penampang kurva H/V

2. Membuat grafik atau kurva kedalaman terhadap nilai faktor amplifikasi



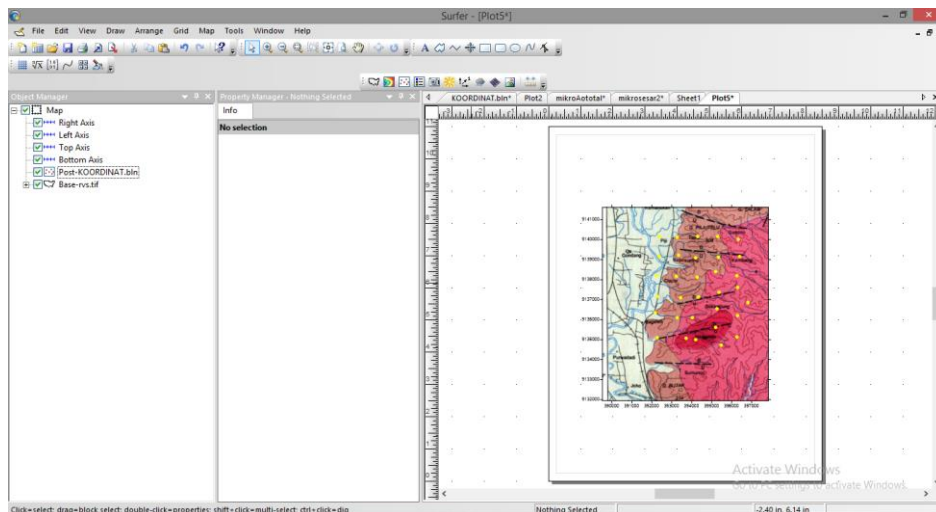
Gambar L41. Kurva kedalaman H/V

3. Membuat sayatan penampang menggunakan *software* Surfer 11 dengan cara buka Surfer 11 → *New Base Map* → pilih peta geologi dengan format *.tiff* → *Open*



Gambar L42. Tampilan peta geologi pada *software* Surfer 11

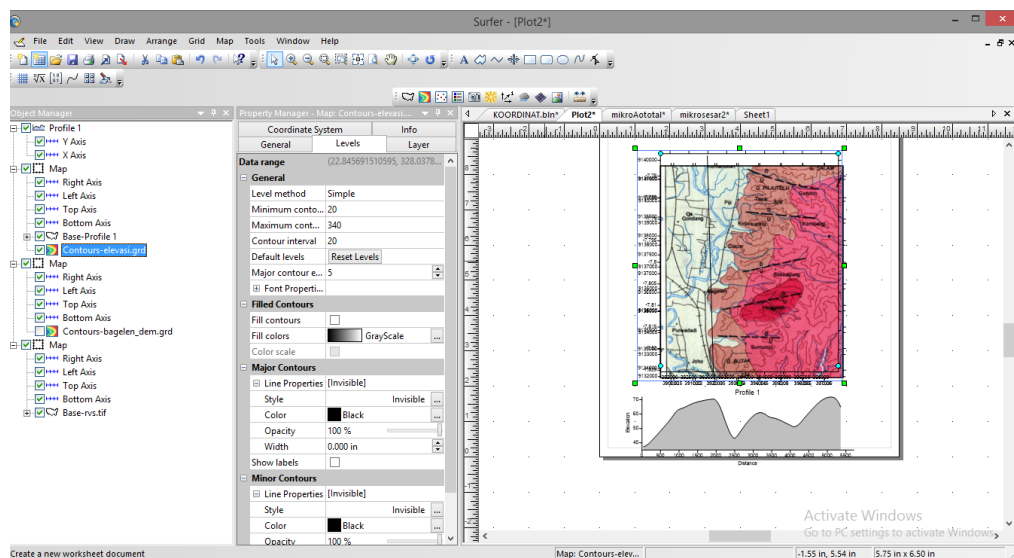
4. Tambahkan titik koordinat pada peta geologi dengan cara *New Post Map* → pilih *file* data titik koordinat dengan format *.bln* → *Open* → *Overlay Map*.



Gambar L43. Tampilan peta geologi beserta titik penelitian

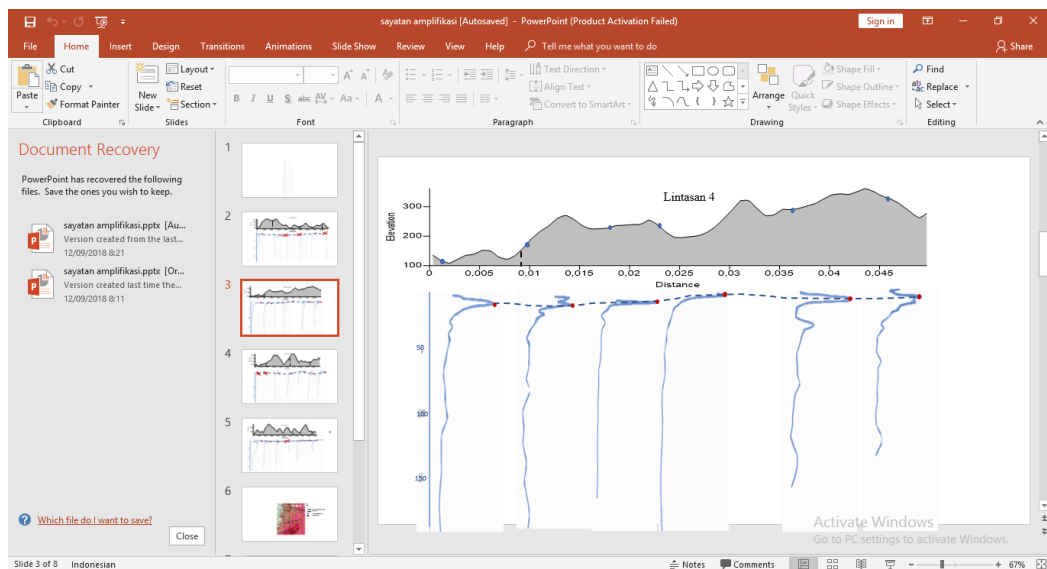
5. Tambahkan data topografi daerah penelitian dengan cara *New Contour Map* → pilih *file* data topografi format *.grid* → *Overlay Map*.

6. Melakukan penyayatan daerah yang diinginkan dengan klik kanan pada *Map topografi* → *Add* → *Profile* → klik dari ujung sampai ujung daerah yang disayat pada peta geologi, maka tampilan sayatan akan muncul seperti Gambar L44.



Gambar L44. Tampilan penyayatan daerah penelitian

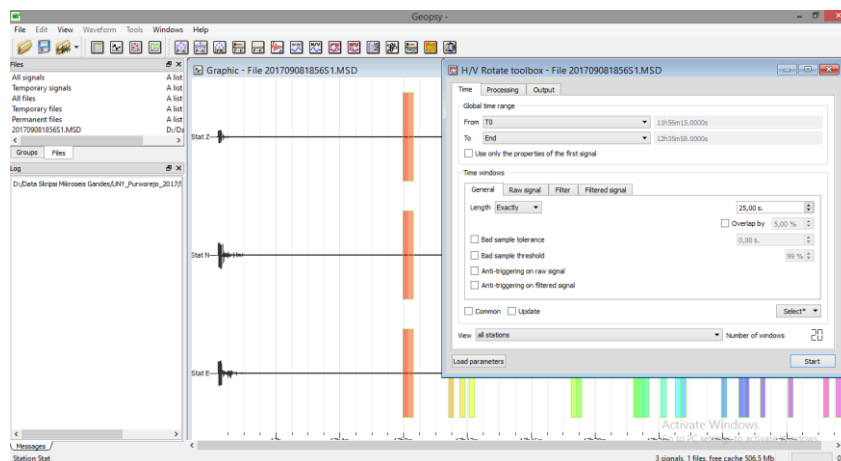
7. Gabung antara hasil sayatan dengan kurva yang diolah pada Excel menggunakan *software* Power Point ataupun Microsoft Word hingga seperti pada Gambar L45.



Gambar L45. Penggabungan sayatan dengan kurva kedalaman H/V

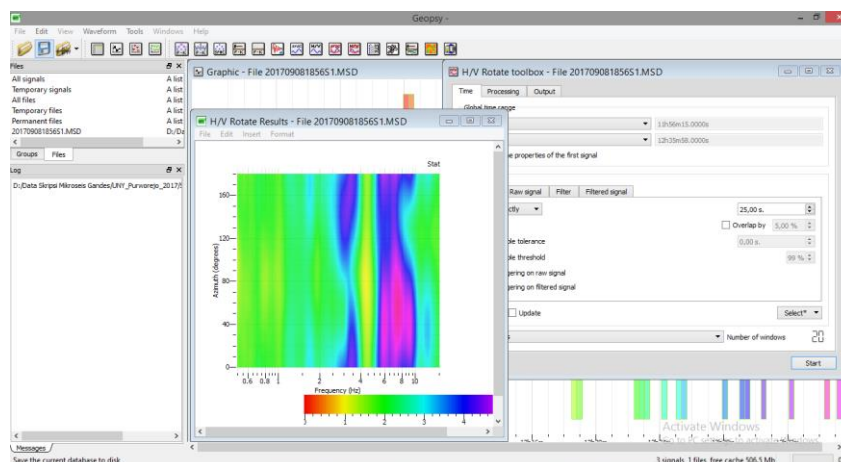
H. Pengolahan H/V Rotate

1. Buka data pada Geopsy seperti pada langkah 1- 3 pada Lampiran 4.
2. Klik *H/V rotate* pada *toolbar* → *Select* → *Load* → pilih *file windowing* dalam format *.hv* → klik *Start*.



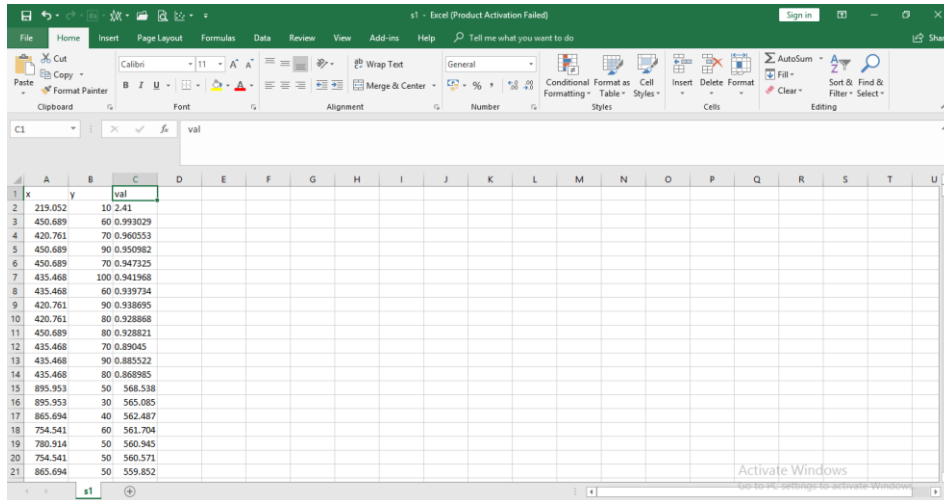
Gambar L46. Tampilan menu H/V rotate

3. Muncul kurva H/V rotate seperti pada Gambar L47, kemudian simpan kurva dengan cara klik *Format* → *Save Layers* → pilih tempat untuk disimpan → *Save*.



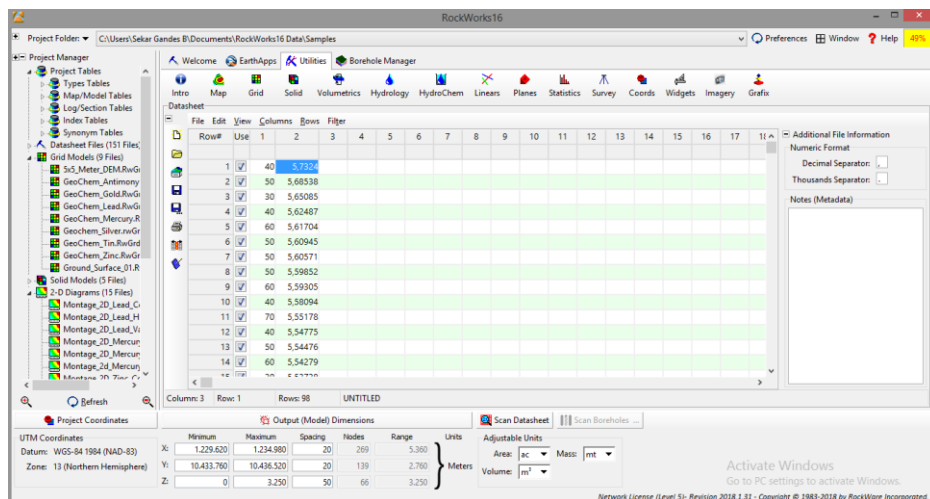
Gambar L47. Tampilan kurva H/V rotate pada Geopsy

- Buka kurva yang telah disimpan pada *software* Excel → pilih nilai amplifikasi terbesar beserta nilai azimuthnya



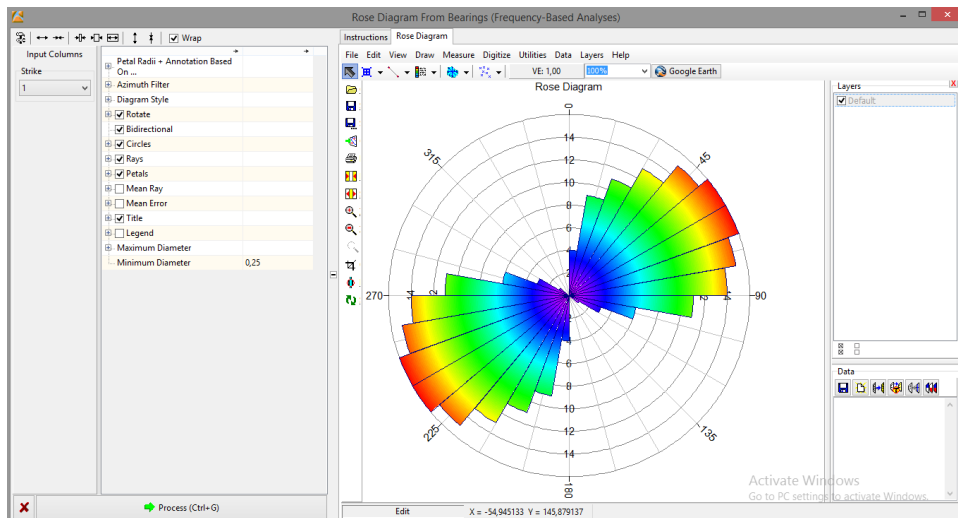
Gambar L48. Data kurva H/V saat dibuka pada Excel

- Buka *software* Rockwork → input data pada tabel dengan ketentuan : kolom 1 adalah nilai azimuth dan kolom 2 nilai amplifikasi seperti pada Gambar L49.



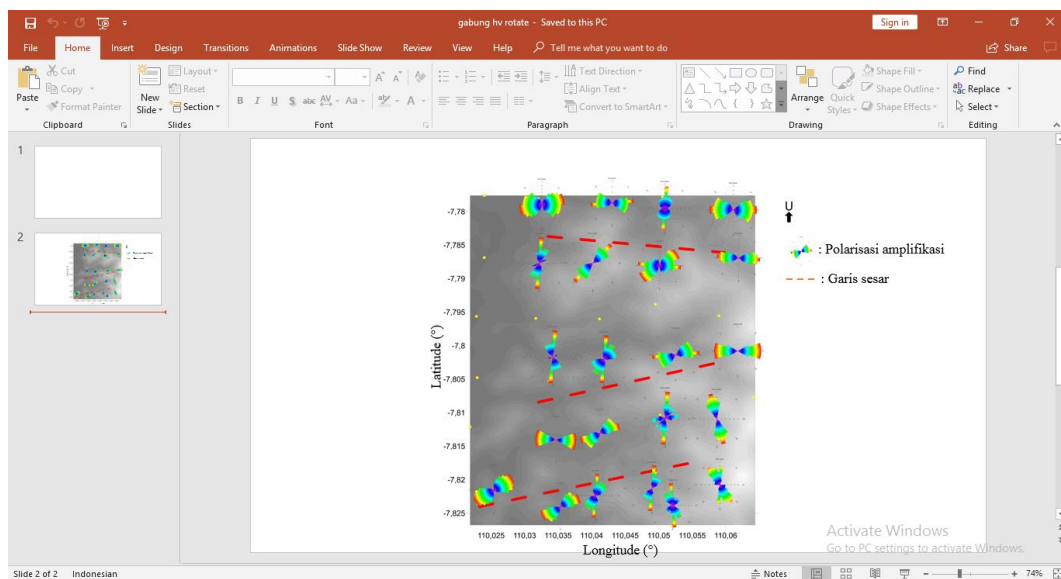
Gambar L49. Tampilan awal pengisian *datashheet* diagram rose

- Untuk menampilkan diagram *rose*, klik *Linears* pada *toolbar* → *Rose Diagram* → *From Bearing* → *Proses*.



Gambar L50. Tampilan diagram rose setelah diproses

7. Simpan hasil diagram *rose* dengan cara pilih *File* pada menu → *Export* → simpan dalam bentuk *.jpg*
8. Lakukan langkah 1-7 pada semua titik penelitian.
9. Gabung diagram *rose* dengan peta geologi beserta garis besarnya menggunakan *software* Microsoft Word ataupun Power Point seperti pada Gambar L51.



Gambar L51. Tampilan peta diagram *rose*

Lampiran 12 Dokumentasi Penelitian



