

**MIKROZONASI INDEKS KERENTANAN SEISMIK DI KECAMATAN  
TAMBAK KABUPATEN BANYUMAS JAWA TENGAH BERDASARKAN  
PENGUKURAN MIKROTREMOR**

**TUGAS AKHIR SKRIPSI**

Diajukan Kepada Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Negeri Yogyakarta  
untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan Guna Memperoleh Gelar Sarjana Sains



Oleh :

Yashinta Nadya Ika Pratiwi

NIM 15306141032

**PROGRAM STUDI FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA  
2020**

## LEMBAR PERSETUJUAN

Tugas Akhir Skripsi dengan Judul

### MIKROZONASI INDEKS KERENTANAN SEISMIK DI KECAMATAN TAMBAK KABUPATEN BANYUMAS JAWA TENGAH BERDASARKAN PENGUKURAN MIKROTREMOR

Disusun oleh:

Yashinta Nadya Ika Pratiwi  
NIM 15306141032

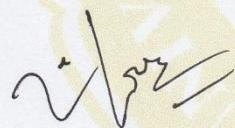
telah memenuhi syarat dan disetujui oleh Dosen Pembimbing untuk dilaksanakan

Ujian Akhir Tugas Skripsi bagi yang bersangkutan.

Yogyakarta, 02 Januari 2020

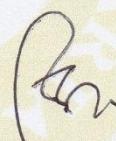
Menyetujui,

Pembimbing I



Laila Katriani, S.Si., M.Si.  
NIP 19850415 201212 2 001

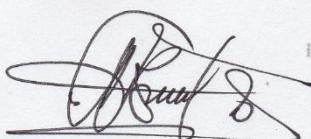
Pembimbing II



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

Mengetahui,

Ketua Program Studi Fisika



Dr. Warsono., M.Si.  
NIP 19681101 199903 1 002

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir Skripsi

### MIKROZONASI INDEKS KERENTANAN SEISMIK DI KECAMATAN TAMBAK KABUPATEN BANYUMAS JAWA TENGAH BERDASARKAN PENGUKURAN MIKROTREMOR

Disusun oleh:

Yashinta Nadya Ika Pratiwi  
NIM 15306141032

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

Pada tanggal 09 Januari 2020

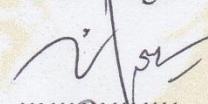
#### TIM PENGUJI

Nama/Jabatan

Tanda Tangan

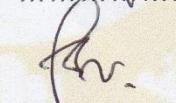
Tanggal

Laila Katriani, S.Si., M.Si  
Ketua Penguji/Pembimbing I



10 Januari 2020

Nugroho Budi Wibowo, M.Si  
Sekretaris/Pembimbing II



10 Januari 2020

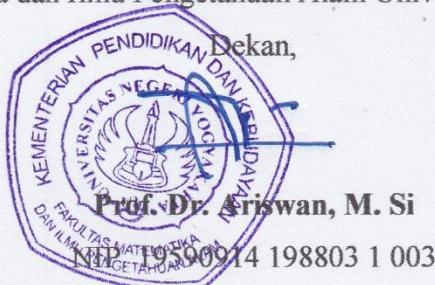
Denny Darmawan, M. Sc  
Penguji Utama



10 Januari 2020

Yogyakarta, 13 Januari 2020

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta



## **SURAT PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Yashinta Nadya Ika Pratiwi

NIM : 15306141032

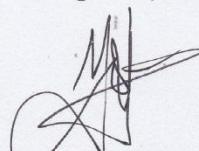
Program Studi : Fisika

Judul TAS : Mikrozonasi Indeks Kerentanan Seismik Di Kecamatan Tambak Kabupaten Banyumas Jawa Tengah Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor

menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang telah lazim.

Yogyakarta, Januari 2020

Yang menyatakan,



Yashinta Nadya Ika Pratiwi

NIM. 15306141032

## **MOTTO**

*Bukan Kesulitan yang Membuatmu Takut, Tetapi Ketakutan Itulah yang*

*Membuatmu Sulit*

*(Yashinta N.I.P)*

*Apapun yang menjadi masalahmu, tetaplah menjadi pribadi yang kuat dan  
rendah hati*

*(Yashinta N.I.P)*

*Kuatkan dan teguhkanlah hatimu, janganlah takut dan jangan gemetar karena  
mereka, sebab Tuhan, Allahmu, Dialah yang berjalan menyertai engkau; Ia tidak  
akan membiarkan engkau dan tidak akan meninggalkan engkau*

*(Ulangan 31:6)*

## **HALAMAN PERSEMBAHAN**

*Karya ini saya persembahkan untuk:*

*Bapak dan Ibu tercinta yang selalu mendukung, mendoakanku, memberikan nasihat yang luar biasa supaya tetap semangat dan bangkit tanpa mengeluh.*

*Adikku yang selalu memberikan dukungan doa dan semangat.*

*Tim Banyumas, Naja dan Asaha yang selalu mengajarkan untuk tetap kompak dan solid dari awal survei hingga sekarang.*

*Sahabat dan teman seperjuangan yang telah menemani, menegur saat mulai lelah, putus asa, suasana hati dan pikiran kacau. Terimakasih atas semangatnya.*

*Kalian Keluarga Fisika B 2015.*

*Diriku sendiri karena sudah berusaha kuat melewati perjuangan yang tidak mudah ini.*

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat dan karunia-Nya, Tugas Akhir Skripsi dalam rangka memenuhi sebagian persyaratan untuk mendapatkan gelar Sarjana Sains dengan Judul “Mikrozonasi Indeks Kerentanan Seismik di Kecamatan Tambak Kabupaten Banyumas Jawa Tengah Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor” dapat disusun sesuai dengan harapan. Tugas Akhir Skripsi ini dapat diselesaikan tidak lepas dari bantuan dan kerjasama dengan pihak lain. Berkennaan dengan hal tersebut, penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

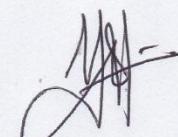
1. Bapak Dr. Ariswan selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam yang memberikan persetujuan pelaksanaan Tugas Akhir Skripsi.
2. Bapak Dr. Warsono.,M.Si. selaku Ketua Jurusan Pendidikan Fisika yang telah memberikan izin penelitian.
3. Bapak Dr. Warsono.,M.Si. selaku Ketua Program Studi Fisika yang telah memberikan izin penelitian.
4. Bapak Nugroho Budi Wibowo, M.Si., dan Ibu Laila Katriani, S.Si.,M.Si selaku pembimbing Tugas Akhir Skripsi yang telah menyediakan waktu, fasilitas, memberikan semangat, dorongan dan bimbingan selama penyusunan Tugas Akhir Skripsi ini.
5. Dosen Penguji yang telah menguji dan memberikan koreksi perbaikan secara komprehensif terhadap Tugas Akhir Skripsi ini.

6. Seluruh Dosen Jurusan Pendidikan Fisika FMIPA UNY yang senantiasa memberikan ilmu pengetahuan yang sangat bermanfaat.
7. Semua staff dan laboran Jurusan Pendidikan Fisika FMIPA UNY yang selalu ikhlas membantu dan menyediakan fasilitas.
8. Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika yang telah menyediakan alat untuk melakukan penelitian.
9. Teman-teman dan sahabat seperjuangan di Fisika B 2015, Geofisika 2015 khususnya Asaha, Naja, Nurul, Alfiani, Gian, Ulfa, Faisal, Endras, Sabella yang selalu memberikan bantuan dan dukungan kepada penulis.

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, Januari 2020

Penulis,



Yashinta Nadya Ika Pratiwi

NIM 15306141032

**MIKROZONASI INDEKS KERENTANAN SEISMIK DI KECAMATAN  
TAMBAK KABUPATEN BANYUMAS JAWA TENGAH BERDASARKAN  
PENGUKURAN MIKROTREMOR**

Oleh:

Yashinta Nadya Ika Pratiwi  
15306141032

**ABSTRAK**

Telah dilakukan penelitian tentang indeks kerentanan seismik di Kecamatan Tambak Kabupaten Banyumas Jawa Tengah berdasarkan pengukuran mikrotremor. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan nilai faktor amplifikasi, frekuensi predominan dan indeks kerentanan seismik di Kecamatan Tambak Kabupaten Banyumas beserta mikrozonasinya.

Data mikrotremor diolah menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR) untuk mendapatkan kurva H/V yang menghasilkan nilai frekuensi predominan ( $f_0$ ) dan faktor amplifikasi ( $A_0$ ) di setiap titik penelitian yang selanjutnya digunakan dalam perhitungan indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ). Mikrozonasi indeks kerentanan seismik dilakukan menggunakan *software* Surfer 12.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai frekuensi predominan di lokasi penelitian antara 0,49 sampai 14,98 Hz, dan nilai faktor amplifikasi antara 3,64 sampai 27,38. Nilai indeks kerentanan seismik di Kecamatan Tambak Banyumas berkisar antara  $1,23 \times 10^{-6}$  s<sup>2</sup>/cm sampai  $9,92 \times 10^{-6}$  s<sup>2</sup>/cm. Untuk nilai indeks kerentanan seismik terendah berada di Desa Watuagung pada Anggota Breksi Formasi Halang yang didominasi oleh batuan keras breksi-andesit, dan batu gamping, sedangkan untuk nilai indeks kerentanan seismik tertinggi berada di Desa Prembun pada formasi aluvium yang didominasi oleh batu pasir dan lempung.

Kata Kunci: Indeks Kerentanan Seismik, Mikrotremor, Kecamatan Tambak Banyumas.

# **MICROZONATION OF SEISMIC VULNERABILITY INDEX IN TAMBAK SUBDISTRICT BANYUMAS REGENCY CENTRAL JAVA BASED ON MICROTREMOR MEASUREMENT**

By:

Yashinta Nadya Ika Pratiwi  
15306141032

## **ABSTRACT**

Research about seismic vulnerability index had been carried out in Tambak Subdistrict, Banyumas Regency, Central Java based on microtremor measurements. This study aimed to determine amplification factors, predominant frequency and seismic vulnerability index in Tambak Subdistrict, Banyumas Regency and their microzonation.

The data were processed using Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR) method to obtain the H/V curve that produces predominant frequency values ( $f_0$ ) and amplification factors ( $A_0$ ) at each research point which was used in the calculation of seismic vulnerability index ( $K_g$ ). Seismic vulnerability index microzonation was done using Surfer 12 software.

The results showed that the predominant frequency values ranged between 0.49 until 14.98 Hz, and the amplification factor values ranged from 3.64 until 27.38. Seismic vulnerability index values in Tambak Subdistrict Banyumas ranged from  $1.23 \times 10^{-6}$  s<sup>2</sup>/cm until  $9.92 \times 10^{-6}$  s<sup>2</sup>/cm. The lowest seismic vulnerability index is in Watuagung Village in the Halang Formation Breccia Member which is dominated by breccia-andesite hard rock and limestone, while the highest seismic vulnerability index value is in Prembun Village in the alluvium formation dominated by sandstone and clay.

Keywords: Seismic Vulnerability Index, Microtremor, Tambak Subdistrict Banyumas.

## DAFTAR ISI

|   |             |
|---|-------------|
| <b>LEMBAR PERSETUJUAN .....</b>                                       | <b>ii</b>   |
| <b>HALAMAN PENGESAHAN.....</b>  | <b>iii</b>  |
| <b>SURAT PERNYATAAN .....</b>   | <b>iv</b>   |
| <b>MOTTO .....</b>  | <b>v</b>    |
| <b>HALAMAN PERSEMBAHAN .....</b>                                      | <b>vi</b>   |
| <b>KATA PENGANTAR.....</b>  | <b>vii</b>  |
| <b>ABSTRAK .....</b>  | <b>ix</b>   |
| <b>ABSTRACT .....</b>   | <b>x</b>    |
| <b>DAFTAR ISI.....</b>  | <b>xi</b>   |
| <b>DAFTAR TABEL .....</b>   | <b>xiii</b> |
| <b>DAFTAR GAMBAR.....</b>   | <b>xiv</b>  |
| <b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>  | <b>xv</b>   |
| <b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>   | <b>1</b>    |
| A.    Latar Belakang Masalah .....                                    | 1           |
| B.    Identifikasi Masalah.....                                       | 5           |
| C.    Batasan Masalah .....   | 5           |
| D.    Rumusan Masalah.....  | 6           |
| E.    Tujuan Penelitian .....   | 6           |
| F.    Manfaat Penelitian .....  | 6           |
| <b>BAB II KAJIAN TEORI .....</b>                                      | <b>8</b>    |
| A.    Gempabumi.....  | 8           |
| B.    Gelombang Seismik .....   | 9           |
| C.    Mikrotremor .....   | 16          |
| D.    Metode <i>Horizontal to Vertical Spectral Ratio</i> (HVSР)..... | 17          |
| E.    Metode Inversi .....  | 19          |
| F.    Kecepatan Gelombang Primer dan Kecepatan Gelombang Sekunder.... | 20          |
| G.    Poisson <i>Ratio</i> .....                                      | 21          |
| H.    Densitas.....   | 21          |

|  |   |           |
|--|---|-----------|
| I.   | Mikrozonasi .....   | 22        |
| J.   | Frekuensi Predominan dan Ketebalan Sedimen .....                    | 23        |
| K.   | Faktor Amplifikasi .....  | 24        |
| L.   | Indeks Kerentanan Seismik.....                                      | 25        |
| M.   | Kondisi Geologi Daerah Penelitian .....                             | 26        |
| N.   | Kerangka Berpikir.....  | 28        |
| <b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>             |   | <b>30</b> |
| A.   | Waktu dan Tempat Penelitian .....                                   | 30        |
| B.   | Instrumen Penelitian .....  | 30        |
| C.   | Teknik Pengambilan Data.....  | 32        |
| D.   | Teknik Analisis Data.....   | 35        |
| E.   | Diagram Alir Penelitian .....                                       | 38        |
| <b>BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....</b> |   | <b>39</b> |
| A.   | Karakteristik dan Interpretasi Kurva H/V di Daerah Penelitian ..... | 39        |
| B.   | Mikrozonasi Frekuensi Predominan .....                              | 44        |
| C.   | Faktor Amplifikasi.....   | 50        |
| D.   | Ketebalan Lapisan Sedimen.....                                      | 54        |
| E.   | Mikrozonasi Indeks Kerentanan Seismik .....                         | 58        |
| <b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>            |   | <b>61</b> |
| A.   | Kesimpulan .....  | 61        |
| B.   | Saran .....   | 61        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>                        |   | <b>62</b> |
| <b>LAMPIRAN.....</b>                               |   | <b>68</b> |

## DAFTAR TABEL

|  |    |
|--|----|
| Tabel 1. Klasifikasi <i>Site</i> berdasarkan Nilai Kecepatan Gelombang Geser ..... | 20 |
| Tabel 2. Data Kecepatan Gelombang Primer pada Beberapa Medium .....                | 20 |
| Tabel 3. Nilai Poisson <i>ratio</i> .....  | 21 |
| Tabel 4. Nilai Variasi Densitas Batuan .....                                       | 22 |
| Tabel 5. Klasifikasi Tanah berdasarkan Nilai Frekuensi Predominan .....            | 23 |
| Tabel 6. Klasifikasi Nilai Faktor Amplifikasi .....                                | 25 |
| Tabel 7. Persyaratan Teknis Survei Mikrotremor di Lapangan .....                   | 34 |
| Tabel 8. Klasifikasi tanah berdasarkan formasi dan nilai frekuensi predominant .   | 48 |
| Tabel 9. Klasifikasi Nilai Faktor Amplifikasi di Daerah Penelitian .....           | 53 |
| Tabel 10. Pengelompokan Titik Pengukuran berdasarkan Formasi Geologi.....          | 55 |
| Tabel 11. Nilai $v_s$ dengan litologi penyusun pada Formasi Aluvium.....           | 55 |
| Tabel 12. Nilai $v_s$ dengan litologi penyusun pada Formasi Halang.....            | 56 |
| Tabel 13. Nilai $v_s$ dengan litologi penyusun pada Formasi Halang.....            | 56 |

## DAFTAR GAMBAR

|  |    |
|--|----|
| Gambar 1. Peta Seismisitas Indonesia .....   | 2  |
| Gambar 2. Gempabumi di Kecamatan Tambak Banyumas .....                               | 3  |
| Gambar 3. Komponen-komponen gaya pada medium kubus .....                             | 10 |
| Gambar 4. Ilustrasi Gelombang Badan .....  | 14 |
| Gambar 5. Peta Geologi Kecamatan Tambak Kabupaten Banyumas .....                     | 27 |
| Gambar 6. Perangkat Keras Pengukuran Mikrotremor.....                                | 32 |
| Gambar 7. Desain Survei Titik Pengukuran Kecamatan Tambak .....                      | 33 |
| Gambar 8. Analisis Sinyal Mikrotremor dengan <i>software Geopsy</i> .....            | 35 |
| Gambar 9. Analisis Kurva H/V dengan program <i>Dinver</i> .....                      | 36 |
| Gambar 10. Diagram Alir Penelitian .....   | 38 |
| Gambar 11. Bentuk Kurva <i>single peak</i> .....                                     | 40 |
| Gambar 12. Bentuk Kurva <i>double peaks</i> .....                                    | 41 |
| Gambar 13. Bentuk Kurva <i>unclear low frequency</i> .....                           | 42 |
| Gambar 14. Bentuk Kurva <i>multiple peaks</i> .....                                  | 43 |
| Gambar 15. Peta Karakteristik Kurva H/V di Daerah Penelitian.....                    | 44 |
| Gambar 16. Mikrozonasi Persebaran Nilai $f_0$ di Daerah Penelitian .....             | 45 |
| Gambar 17. <i>Overlay</i> persebaran $f_0$ Kecamatan Tambak dengan peta topografi... | 46 |
| Gambar 18. Lokasi Penelitian pada titik T3.....                                      | 47 |
| Gambar 19. Korelasi Faktor Amplifikasi dengan Elevasi .....                          | 51 |
| Gambar 20. Persebaran nilai $A_0$ di Kecamatan Tambak .....                          | 52 |
| Gambar 21. <i>Overlay</i> nilai $A_0$ Kecamatan Tambak dengan peta topografi .....   | 53 |
| Gambar 22. <i>Ground Profiles</i> $v_s$ dengan variasi lapisan.....                  | 54 |
| Gambar 23. Pemodelan 3D Lapisan Sedimen dan Lapisan <i>Bedrock</i> .....             | 57 |
| Gambar 24. <i>Cross-section</i> Model 3D Lapisan Sedimen dan <i>Bedrock</i> .....    | 58 |
| Gambar 25. Mikrozonasi Nilai $K_g$ Kecamatan Tambak .....                            | 59 |
| Gambar 26. <i>Overlay</i> nilai $K_g$ Kecamatan Tambak dengan peta topografi.....    | 60 |

## **DAFTAR LAMPIRAN**

|  |     |
|--|-----|
| Lampiran 1. Kriteria Kurva H/V .....   | 69  |
| Lampiran 2. Hasil Kriteria Kurva H/V Reliabel dan Kurva <i>Clear Peak</i> .....        | 83  |
| Lampiran 3. Hasil Analisis Nilai <i>Shear-wave Velocity</i> dengan <i>Dinver</i> ..... | 84  |
| Lampiran 4. Data Hasil Penelitian .....  | 90  |
| Lampiran 5. Pengolahan Data .....  | 92  |
| Lampiran 6. Dokumentasi Penelitian .....   | 119 |

## **BAB I**

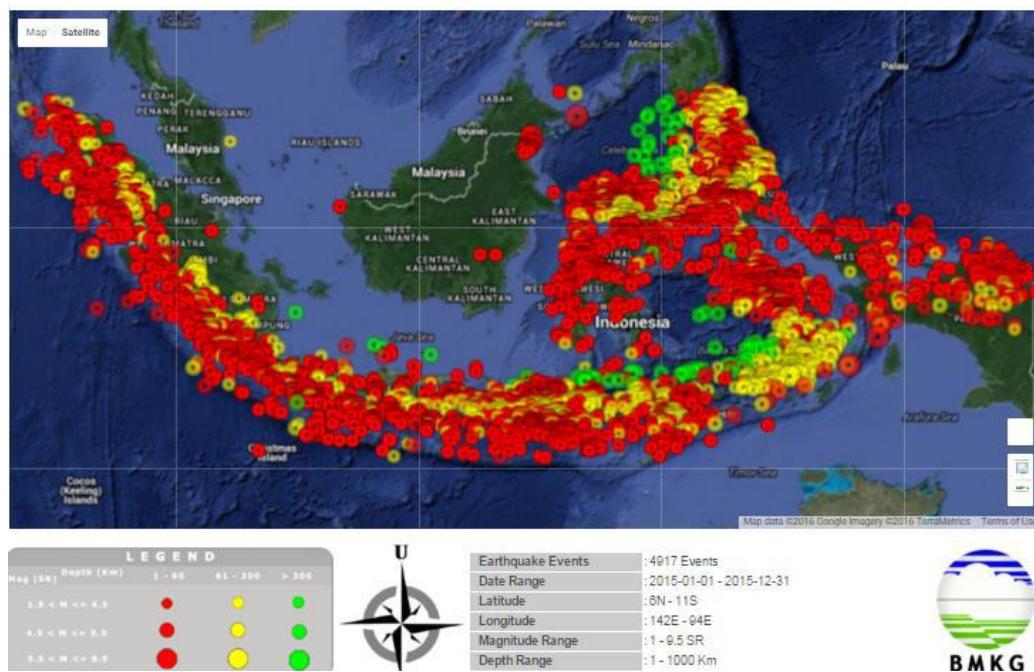
### **PENDAHULUAN**

#### **A. Latar Belakang Masalah**

Indonesia merupakan negara kepulauan yang berada pada zona tektonik aktif yang diakibatkan oleh pertemuan tiga lempeng tektonik utama, yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng samudera Indo-Australia, dan Lempeng Pasifik. Lempeng Indo-Australia bergerak relatif ke utara dan bertumbukan dengan Lempeng Eurasia. Lempeng Indo-Australia bergerak dengan kecepatan 6-7 cm/tahun. Kedua lempeng tersebut bertemu di wilayah Indonesia mulai dari ujung Pulau Sumatera bagian paling utara sampai Kepulauan Maluku (Hamilton, 1979) membentuk batas Indonesia paling selatan, yaitu Palung Sumatera-Jawa.

Pertemuan Lempeng Indo-Australia dengan Lempeng Eurasia mengakibatkan zona selatan Jawa menjadi salah satu daerah yang memiliki tingkat kegempaan yang cukup tinggi. Tingkat kegempaan yang cukup tinggi di Indonesia ditunjukkan pada peta seismisitas (Gambar 1). Berdasarkan peta seismisitas Indonesia, pada tahun 2015 tercatat kejadian gempabumi sebanyak 4.917 kali. Hampir seluruh wilayah Indonesia merupakan kawasan rawan gempabumi. Gempabumi adalah peristiwa pelepasan energi secara tiba-tiba yang menimbulkan terjadinya penjalaran gelombang seismik (Febriani, dkk., 2013). Ketika usaha memprediksi kapan, dimana, dan berapa kekuatan gempabumi belum berhasil, maka usaha paling baik dalam mengantisipasi bencana gempabumi adalah dengan melakukan mitigasi bencana gempabumi. Salah satu

upaya mitigasi bencana gempabumi adalah membangun kesiapsiagaan masyarakat dalam menghadapi gempabumi dengan melakukan kajian tingkat kerentanan seismik suatu daerah.



Gambar 1. Peta Seismisitas Indonesia Tahun 2015 (BMKG, 2015).

Salah satu daerah yang merupakan zona selatan Pulau Jawa adalah Kabupaten Banyumas, khususnya Kecamatan Tambak. Secara administratif Kecamatan Tambak adalah kecamatan di ujung timur Kabupaten Banyumas. Di sebelah timur dan selatan berbatasan langsung dengan Kabupaten Kebumen, dan di sebelah utara berbatasan dengan Kabupaten Banjarnegara. Luas wilayah Kecamatan Tambak yaitu 52,03 km<sup>2</sup>. Jumlah desa dalam wilayah Kecamatan Tambak yaitu sebanyak 12 desa (BPS, 2015). Kecamatan Tambak merupakan daerah padat penduduk dan pernah mengalami dampak akibat gempabumi Tasikmalaya pada tahun 2017. Di Kecamatan Tambak disebutkan terdapat 10

rumah yang mengalami rusak ringan, 3 rumah rusak sedang, dan 3 rumah mengalami rusak berat (Kusworo, 2017). Pada tahun 2018 Kecamatan Tambak juga pernah mengalami gempabumi yang episenternya berada di Desa Gebangsari (ditunjukkan pada Gambar 2) dengan kekuatan 2,7 Skala Richter di kedalaman 10 kilometer (Setyoajie, 2018).



Gambar 2. Gempabumi di Kecamatan Tambak, Banyumas (BMKG, 2018)

Berdasarkan informasi yang telah disampaikan, daerah yang rentan terhadap gempabumi perlu dilakukan mikrozonasi. Salah satu metode geofisika yang dapat digunakan untuk menggambarkan tingkat kerentanan gempabumi di suatu daerah yaitu melalui pengukuran mikrotremor. Penelitian ini membahas tentang indeks kerentanan seismik berdasarkan analisis mikrotremor di Kecamatan Tambak, Kabupaten Banyumas, Jawa Tengah.

Penelitian-penelitian yang berkaitan dengan indeks kerentanan seismik di antaranya seperti yang dilakukan oleh Daryono (2011) tentang indeks kerentanan seismik di daerah Bantul, Labertta (2013) mengenai mikrozonasi indeks

kerentanan seismik di Kecamatan Jetis, Daerah Istimewa Yogyakarta, Purnamasari (2014) tentang mikrozonasi gempabumi di wilayah Kabupaten Cilacap, Saaduddin (2015) mengenai pemetaan indeks kerentanan seismik di Kota Padang, dan Dewi (2016) tentang mikrozonasi indeks kerentanan seismik jalur Sesar Opak.

Beberapa penelitian di Banyumas di antaranya oleh Purwasatriya (2014) tentang potensi hidrokarbon cekungan Banyumas, Gunadi (2015) mengenai aplikasi pemetaan bencana di Kabupaten Banyumas menggunakan *open source software GIS*, dan Lohonauman (2016) mengenai endapan turbidit formasi halang daerah Watuagung dan sekitarnya. Penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa penelitian tentang mikrozonasi indeks kerentanan seismik berdasarkan analisis mikrotremor di Kecamatan Tambak, Kabupaten Banyumas, Jawa Tengah belum ada.

Indeks kerentanan seismik sendiri merupakan indeks yang menggambarkan tingkat kerentanan lapisan tanah permukaan terhadap deformasi tanah saat terjadi gempabumi (Motamed, dkk., 2007). Data mikrotremor yang terukur dapat dimanfaatkan untuk menentukan nilai indeks kerentanan seismik menggunakan metode HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*). Metode ini merupakan metode yang membandingkan spektrum komponen horizontal terhadap komponen vertikal dari gelombang mikrotremor. Parameter penting yang dihasilkan berupa frekuensi predominan dan amplifikasi (Nakamura, 1989).

## **B. Identifikasi Masalah**

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

1. Zona selatan Pulau Jawa memiliki tingkat kegempaan yang cukup tinggi.
2. Terbatasnya informasi mengenai seismisitas di daerah selatan Pulau Jawa terutama Kecamatan Tambak.
3. Belum ada penelitian mengenai indeks kerentanan seismik dan mikrozonasinya di Kecamatan Tambak, Banyumas.

## **C. Batasan Masalah**

Ruang lingkup masalah yang diamati dan dianalisis pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Data yang digunakan dalam studi ini berupa data mikrotremor pada daerah yang dibatasi dengan koordinat geografis  $7^{\circ}34'17,436'' - 7^{\circ}38'15,312''$  LS dan  $109^{\circ}22'30,528'' - 109^{\circ}25'34,53''$  BT.
2. Sinyal mikrotremor diukur menggunakan seismometer merek Taide tipe TDV-23S dan TDS-303 (*Digital Portable Seismograph*) dan data mikrotremor diolah menggunakan metode HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*).
3. Pengambilan data mikrotremor mengacu pada aturan yang ditetapkan oleh SESAME *European Research Project* (SESAME, 2004).

## **D. Rumusan Masalah**

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Berapa nilai persebaran faktor amplifikasi dan frekuensi predominan di Kecamatan Tambak, Kabupaten Banyumas?
2. Bagaimana indeks kerentanan seismik di Kecamatan Tambak, Kabupaten Banyumas dan mikrozonasinya?

## **E. Tujuan Penelitian**

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan sebagai berikut:

1. Menentukan nilai persebaran faktor amplifikasi dan frekuensi predominan di Kecamatan Tambak, Kabupaten Banyumas.
2. Mengetahui indeks kerentanan seismik di Kecamatan Tambak, Kabupaten Banyumas dan mikrozonasinya.

## **F. Manfaat Penelitian**

Hasil penelitian yang telah dilakukan diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Dapat digunakan sebagai sumber kajian untuk melakukan penelitian lebih lanjut mengenai mikrozonasi indeks kerentanan seismik di Kecamatan Tambak, Kabupaten Banyumas.
2. Dapat memberikan informasi tentang bahaya seismik sebagai upaya mitigasi bencana gempabumi di Kecamatan Tambak.

3. Dapat memberikan wawasan atau pengalaman ilmu pengetahuan kepada peneliti dalam bidang kegempaan.

## **BAB II**

### **KAJIAN TEORI**

#### **A. Gempabumi**

Gempa bumi adalah peristiwa bergetarnya bumi akibat pelepasan energi di dalam bumi secara tiba-tiba yang ditandai dengan patahnya lapisan batuan pada kerak bumi. Akumulasi energi penyebab terjadinya gempa bumi dihasilkan dari pergerakan lempeng-lempeng tektonik. Energi yang dihasilkan kemudian dipancarkan ke segala arah dalam bentuk gelombang gempa bumi sehingga efeknya dapat dirasakan sampai ke permukaan bumi (BMKG, 2015). Selain itu gempa bumi juga dapat diakibatkan oleh aktivitas gunung berapi, tanah longsor, dan meteor yang menumbuk bumi.

Berdasarkan kedalaman sumber gempabumi, gempabumi dibedakan menjadi tiga (Sonjaya, 2008):

#### 1) Gempabumi dangkal

Gempabumi dangkal merupakan gempabumi dengan pusat gempa berada kurang dari 50 km dari permukaan bumi. Di Indonesia gempabumi dangkal letaknya terpencar. Gempabumi semacam ini dapat menimbulkan kerusakan besar. Makin dangkal gempabumi itu, daya rusaknya makin besar.

#### 2) Gempabumi menengah

Gempabumi menengah merupakan gempabumi dengan pusat gempabumi berada antara (50 - 300) km di bawah permukaan bumi. Di Indonesia gempabumi menengah terbentang sepanjang Sumatra sebelah barat, Jawa sebelah selatan, selanjutnya Nusa Tenggara antara Sumbawa dan Maluku, akhirnya sepanjang Teluk Tomini, Laut Maluku ke Filipina.

### 3) Gempabumi dalam

Gempabumi dalam merupakan gempabumi dengan pusat gempabumi berada pada kedalaman lebih dari 300 km di bawah permukaan bumi. Di Indonesia gempabumi dalam berada di bawah Laut Jawa, Laut Flores, Laut Banda dan Laut Sulawesi. Gempabumi dalam tidak membahayakan.

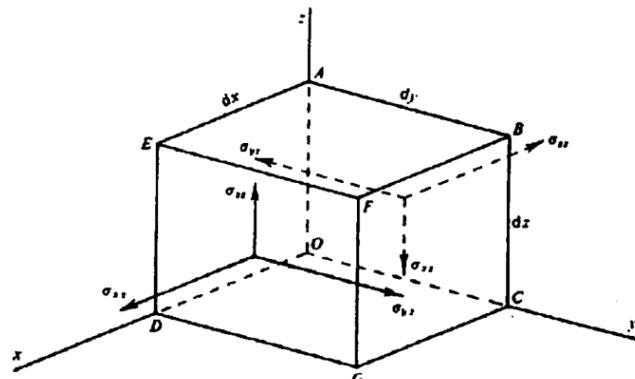
Teori *elastic rebound* juga menyatakan bahwa gempabumi merupakan gejala alam yang disebabkan oleh pelepasan energi regangan elastik batuan akibat adanya deformasi batuan yang terjadi pada lapisan litosfer. Deformasi batuan ini terjadi akibat adanya tekanan (*stress*) dan tarikan (*strain*) pada lapisan bumi. Tekanan atau tarikan terus menerus menyebabkan daya dukung pada batuan mencapai batas maksimum dan mulai terjadi pergeseran yang akhirnya menyebabkan terjadinya sesar secara tiba-tiba.

## B. Gelombang Seismik

Gelombang seismik adalah gelombang yang menjalar di dalam atau di bawah permukaan bumi yang bersifat elastik. Perambatan gelombang seismik yang menembus struktur perlapisan bumi sangat bergantung pada sifat elastisitas batuan yang dilaluinya.

Adanya pergerakan dan gaya pada Bumi menyebabkan batuan terdeformasi. Peristiwa deformasi ini berkaitan erat dengan konsep tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*) (Telford, dkk., 2004). Persamaan gelombang seismik dapat dirumuskan dengan meninjau komponen gaya-gaya tertentu yang bekerja pada

sebuah medium homogen berbentuk kubus seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Komponen-komponen gaya pada medium kubus (Telford dkk., 2004)

Tegangan ( $\sigma$ ) yang bekerja pada salah satu permukaan kubus tersebut mempunyai komponen-komponen sebagai berikut:

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

Komponen-komponen tegangan di atas disebut gaya tiap satuan volume benda pada bidang  $x$  yang memiliki arah pada sumbu  $x$ ,  $y$ , dan  $z$ . Untuk kasus permukaan bidang yang lain, hubungan variabel gaya tiap satuan volumenya analog dengan kasus pada bidang  $x$ . Total gaya pada sumbu  $x$  yang bekerja pada benda (medium) kubus adalah

$$F = \left( \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial z} \right) dx dy dz \quad (2)$$

dengan  $dx dy dz$  merupakan satuan volume kubus. Pada Hukum II Newton, gaya merupakan perkalian antara massa benda ( $m$ ) dan percepatannya ( $a$ ). Apabila dikaitkan dengan persamaan densitas atau kerapatan benda  $\rho = m/V$ , maka

$$F = ma = \rho V a = \rho(dx dy dz) \left( \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \right) \quad (3)$$

Dengan menggunakan definisi gaya pada persamaan (3), persamaan (2) dapat diubah menjadi persamaan (4)

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

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

Hubungan pada persamaan (4) disebut sebagai persamaan gerak searah sumbu  $x$ .

Persamaan yang menunjukkan hubungan antara tegangan ( $\sigma$ ) dan regangan ( $\varepsilon$ ) adalah (Telford dkk., 2004):

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

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

dengan

$$\varepsilon_{xy} = \varepsilon_{yx} = \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y}; \quad \varepsilon_{yz} = \varepsilon_{zy} = \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z}; \quad \varepsilon_{zx} = \varepsilon_{xz} = \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \quad (7)$$

dimana  $u$ ,  $v$ ,  $w$  menunjukkan komponen perpindahan partikel,  $\lambda'$  adalah konstanta Lame,  $\mu$  merupakan modulus geser ( $N/m^2$ ), dan  $\Delta$  menunjukkan regangan volume atau dilatasi dengan definisi pada persamaan (8).

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

Dengan menerapkan persamaan (5), (6), dan (7) maka persamaan (4) dapat diubah menjadi persamaan (9) :

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

dengan

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

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

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

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

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

Gelombang merambat pada medium ke segala arah. Secara tiga dimensi arah perambatan gelombang dinyatakan dengan sumbu  $x$ ,  $y$ , dan  $z$  dengan menggunakan definisi gaya  $F$ . Untuk menentukan persamaan gelombang dilakukan diferensiasi pada persamaan (9), (10), dan (11) masing-masing terhadap  $x$ ,  $y$ , dan  $z$ . Apabila hasil pendiferensianan tersebut dijumlahkan maka akan diperoleh persamaan (12).

$$\begin{aligned} \rho \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) &= (\lambda' + \mu) \left( \frac{\partial^2 \Delta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Delta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Delta}{\partial z^2} \right) + \mu \nabla^2 \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) \\ \rho \frac{\partial^2 \Delta}{\partial t^2} &= (\lambda' + 2\mu) \nabla^2 \Delta \\ \frac{\rho}{(\lambda' + 2\mu)} \frac{\partial^2 \Delta}{\partial t^2} &= \nabla^2 \Delta \end{aligned} \quad (12)$$

Persamaan (12) merupakan persamaan gelombang longitudinal. Berdasarkan persamaan gelombang tersebut diperoleh kecepatan gelombang

seismik longitudinal atau dikenal dengan kecepatan gelombang primer ( $v_p$ ) sebagai:

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

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

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

Komponen regangan benda yang mengalami perpindahan secara rotasional didefinisikan pada persamaan (15) sebagai (Telford dkk., 2004):

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

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

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

Untuk kasus arah penjalaran gelombang searah sumbu  $y$  dan sumbu  $z$  digunakan cara yang sama, sehingga diperoleh persamaan:

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

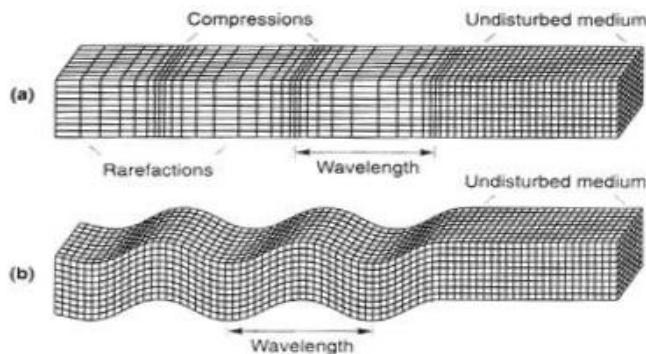
$$\rho \frac{\partial^2}{\partial t^2} (\theta_z) = \mu \nabla^2 (\theta_z) \quad (18)$$

Persamaan (16), (17), dan (18) menyatakan persamaan gelombang transversal. Dari persamaan (16) dapat diperoleh kecepatan gelombang transversal atau dikenal dengan kecepatan gelombang sekunder ( $v_s$ ) sebagai:

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

dengan  $v_s$  adalah kecepatan gelombang S (m/s),  $\mu$  adalah rigiditas atau modulus geser ( $\text{N/m}^2$ ) dan  $\rho$  adalah densitas ( $\text{Kg/m}^3$ ).

Gelombang seismik dibagi menjadi dua jenis, yaitu gelombang badan (*body wave*) dan gelombang permukaan (*surface wave*) (Telford, dkk., 1990). Gelombang badan (*body wave*) adalah gelombang yang menjalar dalam medium elastik serta arah rambatnya ke seluruh bagian di dalam Bumi. Berdasarkan gerak partikel pada media dan arah penjalarannya gelombang badan dibagi menjadi dua, yaitu gelombang primer atau longitudinal atau kompresional dan gelombang sekunder atau gelombang geser.



Gambar 4. Ilustrasi Gelombang Badan (a) Gelombang P  
(b) Gelombang S (Kayal, 2008)

Gelombang primer (P) merupakan gelombang yang pertama kali terekam saat terjadi gempa bumi. Gelombang ini melewati semua medium dengan arah ke depan dan ke belakang sehingga medium mengalami kompresi dan dilatasi, seperti ditunjukkan pada Gambar 4(a). Persamaan kecepatan gelombang P didefinisikan seperti persamaan (13).

Gelombang sekunder (S) merupakan gelombang yang tiba setelah gelombang primer. Gelombang ini hanya dapat merambat pada medium padat karena cairan dan gas tidak memiliki daya elastisitas untuk kembali ke bentuk asal. Gelombang S adalah gelombang transversal yang arah gerakan partikelnya tegak lurus terhadap arah penjalaran gelombangnya, seperti ditunjukkan pada Gambar 4(b). Gelombang S terbagi menjadi dua yaitu komponen horizontal (SH) dan komponen vertikal (SV). Gelombang SV adalah gelombang S yang gerakan partikelnya terpolarisasi pada bidang vertikal dan gelombang SH adalah gelombang S yang gerakan partikelnya terpolarisasi pada bidang horizontal. Persamaan kecepatan gelombang S didefinisikan seperti persamaan (19).

Gelombang permukaan memiliki frekuensi yang lebih rendah dibandingkan dengan gelombang badan, sehingga gelombang permukaan berpotensi menimbulkan kerusakan pada bangunan daripada gelombang badan. Amplitudo gelombang permukaan akan mengecil dengan cepat terhadap kedalaman. Hal ini diakibatkan oleh adanya dispersi pada gelombang permukaan, yaitu penguraian gelombang berdasarkan panjang gelombangnya sepanjang perambatan gelombang (Ibrahim dan Subardjo, 2005). Gelombang permukaan terdiri dari beberapa tipe, yaitu

1. Gelombang Love: gelombang ini merambat pada permukaan bebas medium berlapis, dengan arah gerakan sama dengan gelombang SH.
2. Gelombang Rayleigh: gelombang ini menjalar pada permukaan bebas pada medium berlapis maupun medium homogen, dengan gerakan partikel berbentuk *ellipsoid* vertikal, yang sejajar dengan arah gerak gelombang.

3. Gelombang Stonely: gelombang yang merambat pada bidang batas antara dua medium (gelombang antar permukaan atau *interface wave*) dengan gerakan partikel sama dengan gelombang SV.

### **C. Mikrotremor**

Mikrotremor adalah getaran lingkungan (*ambient vibration*) yang berasal dari dua sumber utama, yaitu dari aktivitas manusia dan alam (Nakamura, 2000). Menurut Ibrahim dan Subardjo (2005), mikrotremor terjadi karena getaran akibat orang yang sedang berjalan, getaran mobil, getaran mesin-mesin pabrik, getaran angin, gelombang laut atau getaran alamiah dari tanah. Sinyal mikrotremor terdiri dari tiga komponen yaitu dua komponen horizontal (Timur-Barat dan Utara-Selatan) dan satu komponen vertikal.

Mikrotremor memiliki amplitudo 0,1-1 mikron dan kecepatan amplitudo 0,001-0,01 cm/s. Mikrotremor dapat diklasifikasikan menjadi dua tipe berdasarkan periodenya, yaitu periode pendek untuk getaran yang periodenya kurang dari 1 detik dan periode panjang untuk getaran yang periodenya lebih dari 1 detik. Keadaan ini terkait dengan struktur tanah yang lebih dalam dan menunjukkan dasar dari batuan keras. Observasi mikrotremor dapat digunakan untuk mengetahui karakteristik lapisan tanah berdasarkan frekuensi predominan dan faktor amplifikasinya (Mirzaoglu dan Dykmen, 2003).

#### D. Metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR)

Metode HVSR merupakan metode yang tersedia untuk pengolahan data mikrotremor dengan membandingkan komponen horizontal sinyal mikrotremor terhadap komponen vertikal. Hasil pengolahan dari metode ini adalah kurva H/V yang puncaknya menunjukkan informasi lokal (*site effect*) berupa nilai frekuensi predominan dan faktor amplifikasi dari gelombang yang terekam dalam tanah (Nakamura, 1989).

*Site effect* terjadi karena adanya lapisan tanah lunak yang menempati setengah cekungan dari batuan dasar. Dalam kondisi ini, terdapat empat komponen gerakan yang terlibat, yaitu komponen gerak horizontal dan vertikal di batuan dasar dan komponen gerak horizontal dan vertikal di permukaan (Lermo dan Gracia, 1993). Faktor amplifikasi dari gerakan horizontal dan vertikal di permukaan tanah sedimen berdasarkan pada gerakan seismik yang bersentuhan langsung dengan batuan dasar di area cekungan dilambangkan dengan  $T_H$  dan  $T_V$  (Nakamura, 1989).

Besarnya faktor amplifikasi horizontal ( $T_H$ ) adalah

$$T_H = \frac{S_{HS}}{S_{HB}} \quad (20)$$

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

Besarnya faktor amplifikasi vertikal ( $T_V$ ) adalah

$$T_V = \frac{S_{VS}}{S_{VB}} \quad (21)$$

dengan  $S_{Vs}$  adalah spektrum sinyal komponen vertikal di permukaan tanah dan  $S_{VB}$  adalah spektrum dari komponen vertikal di dasar lapisan tanah.

Gelombang Rayleigh pada sinyal mikrotremor yang merambat pada lapisan sedimen di atas batuan dasar memiliki pengaruh yang besarnya sama untuk komponen vertikal dan horizontal saat rentang frekuensi 0,2 - 20 Hz, sehingga rasio spektrum antara komponen horizontal dan vertikal di batuan dasar mendekati satu.

$$\frac{S_{HB}}{S_{VB}} \approx 1 \quad (22)$$

Jika dibulatkan, maka

$$\frac{S_{HB}}{S_{VB}} = 1 \text{ atau } \frac{S_{VB}}{S_{HB}} = 1 \quad (23)$$

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

Berdasarkan persamaan (20) (21) dan (22) didapatkan besarnya  $T_{SITE}$  sebagai:

$$T_{SITE} = \frac{T_H}{T_V} = \frac{S_{HS}}{S_{Vs}} \quad (24)$$

Persamaan tersebut kemudian menjadi dasar perhitungan rasio spektrum mikrotremor komponen horizontal terhadap komponen vertikalnya (HVSR), sehingga dapat dinyatakan dengan persamaan (25).

$$HVSR = \frac{\sqrt{(S_{utara-selatan})^2 + (S_{barat-timur})^2}}{S_{vertikal}} \quad (25)$$

Metode HVSR sangat berguna untuk mengidentifikasi respon resonansi cekungan yang berisi material sedimen. Fenomena resonansi dalam lapisan sedimen adalah terjebaknya gelombang seismik di lapisan permukaan karena adanya kontras impedansi antara lapisan sedimen dengan batuan keras yang lebih dalam. Interferensi antara gelombang seismik yang terjebak pada lapisan sedimen berkembang menuju pola resonansi yang berkenaan dengan karakteristik lapisan sedimen (Daryono, 2009). Mengingat hasil pengolahan data mikrotremor bersifat subjektif, maka digunakan kriteria yang telah ditetapkan oleh SESAME *European Research Project*.

## **E. 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 *inverse modelling* adalah metode *ellipticity curve*. Metode ini dipengaruhi oleh beberapa parameter di antaranya kecepatan gelombang primer ( $v_p$ ), kecepatan gelombang sekunder ( $v_s$ ), Poisson ratio ( $\sigma$ ), dan kerapatan tanah ( $\rho$ ).

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)* dimana semakin kecil nilai *error* dari proses iterasi maka profil

kecepatan gelombang geser yang diperoleh semakin baik.

## F. Kecepatan Gelombang Primer dan Kecepatan Gelombang Sekunder

Setiap jenis batuan memiliki kekerasan dan elastisitas yang berbeda-beda, sehingga menyebabkan gelombang yang merambat di suatu lapisan batuan juga memiliki kecepatan yang berbeda-beda pula. Klasifikasi nilai kecepatan gelombang primer ( $v_p$ ) dan kecepatan gelombang sekunder ( $v_s$ ) ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Klasifikasi *Site* berdasarkan Nilai Kecepatan Gelombang Geser Hasil Penyelidikan Tanah dan Laboratorium (Badan Standarisasi Nasional, 2012)

| <b>Klasifikasi Site</b>             | <b>Kecepatan gelombang geser <math>v_s</math> (m/s)</b> |
|-------------------------------------|---|
| Batuhan Keras                       | $v_s \geq 1500$   |
| Batuhan                             | $750 < v_s \leq 1500$                                   |
| Tanah sangat padat dan Batuan Lunak | $350 < v_s \leq 750$                                    |
| Tanah Sedang                        | $175 < v_s \leq 350$                                    |
| Tanah Lunak                         | $v_s < 175$   |

Tabel 2. Data kecepatan gelombang primer pada beberapa medium (Burger, 1992)

| <b>Batuhan</b>    | <b>Variasi <math>v_p</math> (m/s)</b> |
|-------------------|---------------------------------------|
| Tanah             | 250 – 600                             |
| Pasir             | 200 – 1000                            |
| Pasir tersaturasi | 800 – 2200                            |
| Pasir dan kerikil | 4921 – 6561                           |
| Lempung           | 1000 – 2500                           |
| Endapan lempung   | 3281 – 8202                           |

## G. Poisson Ratio

Poisson *ratio* adalah konstanta elastisitas yang dimiliki oleh setiap material yang dapat digunakan untuk mengetahui kondisi material atau tanah di suatu wilayah. Material yang diberikan gaya pada satu arah, ditarik maupun ditekan, akan mengalami perubahan bentuk. Selain perubahan bentuk ke arah gaya yang diberikan, Poisson *ratio* juga dapat dikatakan sebagai 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). Secara umum, nilai Poisson *ratio* berkisar 0,1 – 0,5. Nilai Poisson *ratio* untuk material berbeda ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai Poisson *ratio* (Subramanian, 2008)

| Jenis Batuan                | Poisson <i>Ratio</i> ( $\sigma$ ) |
|-----------------------------|-----------------------------------|
| Lempung (tersaturasi)       | 0,4-0,5                           |
| Lempung (tidak tersaturasi) | 0,1-0,3                           |
| Lempung-pasir               | 0,2-0,3                           |
| Lumpur                      | 0,3-0,35                          |
| Pasir                       | 0,2-0,4                           |
| Batuhan                     | 0,1-0,4                           |
| Loess                       | 0,1-0,3                           |
| Es                          | 0,36                              |
| Beton                       | 0,15                              |

## H. Densitas

Densitas atau kerapatan batuan adalah besarnya kompresi yang dialami suatu batuan, umumnya semakin bertambah kedalaman lapisan semakin besar pula kompresi yang dialami, sehingga memiliki densitas yang lebih besar. Nilai densitas setiap batuan ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai Variasi Densitas Batuan (Telford, dkk., 1990)

| Jenis Batuan     | Batas (Mg/m <sup>3</sup> ) | Jenis Batuan       | Batas (Mg/m <sup>3</sup> ) | Jenis Batuan   | Batas (Mg/m <sup>3</sup> ) |
|------------------|----------------------------|--------------------|----------------------------|----------------|----------------------------|
| 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                  |                    |                            |                |                            |

## I. Mikrozonasi

Mikrozonasi merupakan upaya untuk mengevaluasi dan memetakan atau menggambarkan potensi bencana di suatu daerah, yang pada umumnya disebabkan oleh getaran tanah yang kuat selama gempabumi. Bahaya ini meliputi berbagai macam faktor di antaranya amplifikasi gerakan tanah, likuifaksi dan potensi tanah longsor.

Peta mikrozonasi yang dikombinasikan dengan informasi data mikrotremor suatu daerah dapat digunakan untuk mengembangkan berbagai strategi penanggulangan bencana alam (Fitria, 2014). Peta mikrozonasi ini dapat dibuat dengan menggunakan beberapa *software*. Salah satu *software* yang dapat digunakan untuk membuat peta mikrozonasi yaitu *software Surfer* 12. Informasi yang ada dalam peta bencana suatu daerah tertentu tidak bisa dijadikan sebagai acuan untuk mengevaluasi daerah lainnya, dikarenakan setiap daerah memiliki

peta bencana tersendiri sesuai dengan karakteristik tanah dan batuannya (Wang, 2008).

### **J. Frekuensi Predominan dan Ketebalan Sedimen**

Frekuensi predominan adalah nilai frekuensi yang sering muncul sehingga disebut sebagai nilai frekuensi alami pada suatu wilayah pengukuran. Dengan kata lain frekuensi predominan dapat menunjukkan jenis dan karakteristik lapisan tanah atau batuan pada wilayah tersebut. Klasifikasi tanah oleh Kanai berdasarkan nilai frekuensi predominan ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Klasifikasi Tanah berdasarkan Nilai Frekuensi Predominan menurut Kanai (Arifin, dkk., 2013)

| <b>Klasifikasi Tanah</b> | <b>Frekuensi Predominan (Hz)</b> | <b>Deskripsi Tanah</b>  |
|--------------------------|----------------------------------|---|
| Jenis I                  | 6,67 – 20                        | Batuhan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan pasir berkerikil keras ( <i>hard sandy gravel</i> )   |
| Jenis II                 | 4 - 6,67                         | Batuhan alluvial dengan ketebalan 5m. Terdiri dari pasir berkerikil ( <i>sandy gravel</i> ), lempung keras berpasir ( <i>sandy hard clay</i> ), tanah liat, lempung ( <i>loam</i> ) dan sebagainya. |
| Jenis III                | 2,5 – 4                          | Batuhan alluvial yang hampir sama dengan tanah jenis II, hanya dibedakan oleh adanya formasi yang belum diketahui ( <i>buff formation</i> )   |
| Jenis IV                 | < 2,5                            | Batuhan alluvial yang terbentuk dari sedimentasi delta, <i>top soil</i> , lumpur, tanah lunak, humus, endapan delta atau endapan lumpur, yang tergolong ke dalam tanah lembek dengan kedalaman 30 m |

Besarnya frekuensi predominan pada bawah permukaan tanah dapat dinyatakan dengan persamaan (26) (Nakamura, 2008)

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

sehingga untuk mengetahui ketebalan lapisan lapuk suatu daerah dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (27)

$$H = \frac{v_s}{4f_0} \quad (27)$$

dimana  $v_s$  adalah kecepatan gelombang *shear* di lapisan sedimen.

## K. Faktor Amplifikasi

Faktor amplifikasi gempabumi adalah faktor pembesaran percepatan gempa yang terjadi pada permukaan tanah akibat jenis tanah tertentu. Ketika gelombang gempa menjalar dari batuan dasar ke atas permukaan tanah maka gelombang ini akan mengalami amplifikasi. Menurut Nakamura dkk. (2000) nilai faktor amplifikasi suatu tempat dapat diketahui dari tinggi puncak spektrum kurva H/V hasil pengukuran mikrotremor di daerah tersebut.

Besaran amplifikasi juga dapat diestimasi dari kontras parameter perambatan gelombang (densitas dan kecepatan) pada *bedrock* dan sedimen permukaan. Semakin besar perbedaan parameter tersebut, semakin besar pula nilai amplifikasi perambatan gelombangnya (Gosar, 2007). Nilai faktor amplifikasi menurut Ratdomopurbo (dalam Setiawan, 2009) dapat dibagi ke dalam 4 zona yaitu rendah, sedang, tinggi dan sangat tinggi. Nilai faktor amplifikasi ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Klasifikasi nilai faktor amplifikasi (Setiawan, 2009)

| Zona | Klasifikasi   | Nilai Faktor Amplifikasi |
|------|---------------|--------------------------|
| 1    | Rendah        | $A_0 < 3$                |
| 2    | Sedang        | $3 \leq A_0 < 6$         |
| 3    | Tinggi        | $6 \leq A_0 < 9$         |
| 4    | Sangat tinggi | $A_0 \geq 9$             |

## L. Indeks Kerentanan Seismik

Indeks kerentanan seismik merupakan indeks yang menggambarkan tingkat kerentanan lapisan tanah terhadap deformasi. Beberapa faktor yang mempengaruhi indeks kerentanan seismik di antaranya adalah sedimen yang memiliki soliditas rendah sehingga mempengaruhi faktor amplifikasi atau perbesaran gelombang seismik yang terjadi akibat adanya perbedaan yang signifikan antar lapisan (Fah, dkk, 2006).

Nilai regangan ( $\gamma$ ) pada lapisan tanah menggambarkan kemampuan material lapisan tanah untuk bergeser. Besarnya pergeseran regangan tanah dapat dirumuskan sebagai (Nakamura, 1997)

$$\gamma = \frac{Ad}{H} \quad (28)$$

dimana  $A$  adalah faktor amplifikasi,  $H$  adalah ketebalan sedimen (m), dan  $d$  adalah pergeseran gelombang seismik di bawah permukaan tanah (m). Percepatan di bawah permukaan tanah ( $\alpha$ ) dinyatakan sebagai (Nakamura, 1997)

$$\alpha = (2\pi f_0)^2 d \quad (29)$$

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

$$d = \frac{\alpha}{(2\pi f_0)^2} \quad (30)$$

Besarnya indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) adalah (Nakamura, 1997) :

$$K_g = \frac{A^2}{\pi^2 f_0 v_b} \quad (31)$$

dimana  $A$  adalah faktor amplifikasi,  $f_0$  adalah frekuensi predominan dan  $v_b$  adalah kecepatan gelombang *shear* di bawah lapisan sedimen (lapisan dasar atau *bedrock*).

## **M. Kondisi Geologi Daerah Penelitian**

Daerah penelitian terletak di Kecamatan Tambak, Banyumas yang secara administratif terbagi menjadi 12 desa, terdiri dari Desa Plangkapan, Gumelar Lor, Gumelar Kidul, Karangpetir, Gebangsari, Karangpucung, Prembun, Pesantren, Buniayu, Purwodadi, Kamulyan, dan Watuagung. Namun, ada sebagian daerah penelitian yang terdapat di daerah Kebumen dan Banjarnegara.

Secara stratigrafis, Kecamatan Tambak tersusun oleh 3 formasi, di antaranya Formasi Halang, Anggota Breksi Formasi Halang, dan Aluvium. Peta Geologi Kecamatan Tambak ditunjukkan pada Gambar 5.

### 1. Formasi Halang

Formasi ini tersusun oleh litologi perselingan batupasir, batulempung, napal dan tufa dengan sisipan breksi, yang dipengaruhi oleh arus turbidit dan pelengseran bawah air laut. Formasi ini berumur Miosen Akhir. Arus turbid ini terjadi karena adanya longsoran pada lereng benua yang disebabkan oleh getaran, baik itu gempabumi maupun tsunami, kemudian sedimen pada lereng suatu cekungan meluncur. Sedimennya lepas-lepas dan butirannya bergerak

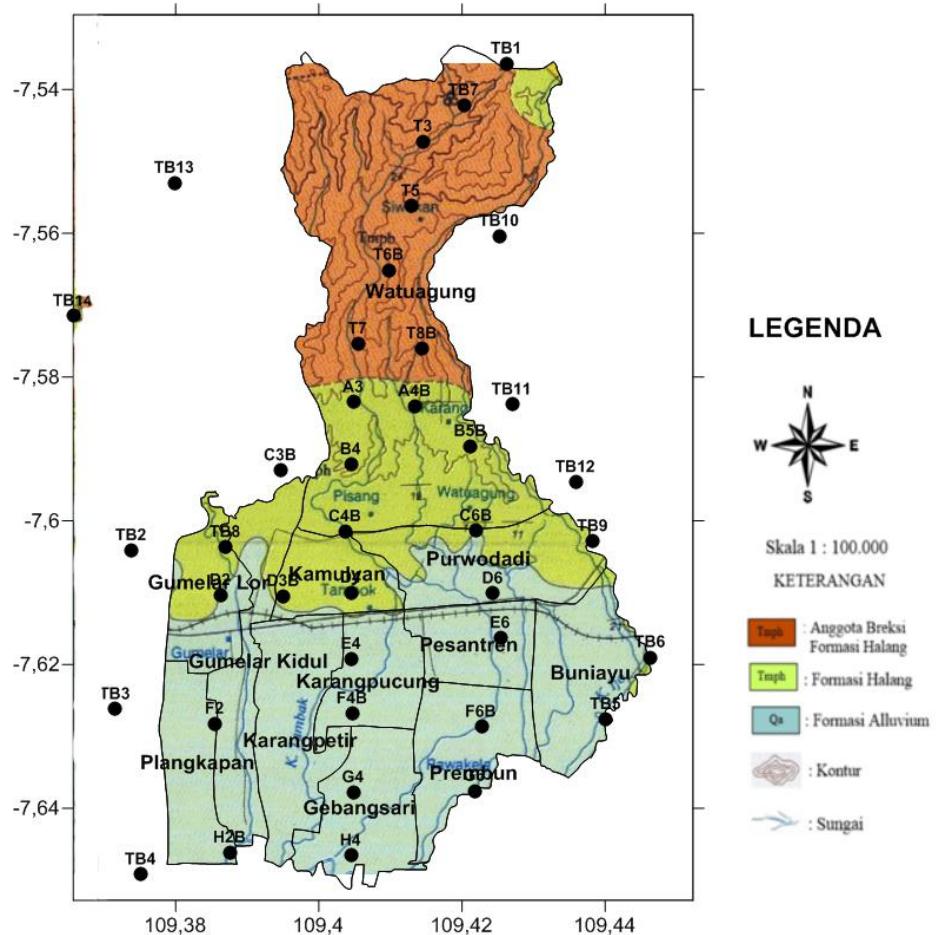
sendiri-sendiri yang pada awalnya masih terikat dan menyatu karena kohesi antar butirannya. Butiran ini pada akhirnya mengendap pada dasar cekungan (Lohonauman, 2016).

## 2. Anggota Breksi Formasi Halang

Anggota breksi ini tersusun oleh litologi breksi dengan komponen andesit, basal dan batugamping, masa dasar batupasir tufaan kasar, sisipan batupasir dan lava basal.

## 3. Aluvium

Aluvium ini tersusun oleh litologi lempung, lanau, pasir, kerikil dan kerakal.



Gambar 5. Peta Geologi Kecamatan Tambak Kabupaten Banyumas.

## N. Kerangka Berpikir

Data yang diperoleh dari penelitian yang dilakukan di Kecamatan Tambak berupa sinyal mikrotremor yang kemudian dilakukan proses pemilihan sinyal tanpa *noise (windowing)* dan *cutting* sinyal pada *software Geopsy*, sehingga diperoleh data sinyal hasil proses tersebut dalam format *.txt*. Data hasil *cutting* dan *windowing* sinyal kemudian menjadi data input dalam format *.SAF* dan kemudian data input tersebut diolah menggunakan program *Open HVSR* pada *Software MATLAB R2015b*.

Untuk menentukan besarnya indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) digunakan persamaan (32). Sebelum persamaan tersebut digunakan, perlu diketahui besarnya frekuensi predominan ( $f_0$ ) dan faktor amplifikasi ( $A_0$ ) di setiap titik pengambilan data. Nilai frekuensi predominn ( $f_0$ ) dan faktor amplifikasi ( $A_0$ ) diperoleh dari analisis HVSR menggunakan *Software MATLAB R2015b* yang disajikan dalam bentuk kurva H/V yang disimpan dalam format *.hv*. Selanjutnya kurva hasil analisis tersebut diolah dalam metode *ellipticity curve* dengan memasukkan parameter kecepatan gelombang P, kecepatan gelombang S, Poisson *ratio* dan kerapatan batuan ( $\rho$ ) dari wilayah penelitian untuk diperoleh *ground profile* yang menampilkan lapisan-lapisan bawah permukaan beserta nilai kecepatan gelombang geser dan nilai kedalamannya.

Nilai  $v_s$  yang didapatkan dari pemodelan *ground profiles* tersebut kemudian diinterpretasikan dengan ketebalan sedimen. Selanjutnya hasil interpretasi nilai kecepatan gelombang geser tersebut dimodelkan secara 3D

menggunakan *software Rockwork 15*. Pemodelan ini dilakukan untuk mempermudah model stratigrafi di daerah penelitian.

Mikrozonasi di Kecamatan Tambak Banyumas akan diketahui melalui pemetaan dan pemodelan yang dikorelasikan dengan topografi daerah penelitian menggunakan *Software Surfer 12* dari parameter-parameter yang telah diperoleh, yaitu frekuensi predominan, faktor amplifikasi, dan indeks kerentanan seismik.

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **A. Waktu dan Tempat Penelitian**

Kegiatan pengambilan data mikrotremor dilaksanakan pada tanggal 06 – 09 Desember 2018. Sebelum memulai pengambilan data, telah dilakukan survei di lokasi penelitian pada bulan September 2018. Pengambilan data mikrotremor dilakukan di Kecamatan Tambak, Kabupaten Banyumas sebanyak 39 titik penelitian dengan jarak antar titik 1 kilometer.

#### **B. Instrumen Penelitian**

Instrumen penelitian terdiri dari perangkat lunak dan perangkat keras.

##### **1. Perangkat Lunak (*Software*)**

Perangkat lunak yang digunakan adalah sebagai berikut:

- a. MATLAB R2015b untuk menganalisis data mikrotremor dengan *Fast Fourier Transform (FFT)* dan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR)*.
- b. *Sessaray-Geopsy* untuk memilih gelombang tanpa *noise (windowing)* dan untuk mengolah sinyal mikrotremor sehingga diperoleh kurva H/V.
- c. *Surfer 12* untuk pembuatan peta desain *survey*, penelitian dan mikrozonasi.
- d. *Global Mapper 13* untuk memasukkan titik koordinat penelitian ke GPS dan memotong peta.
- e. *Google Earth* untuk memperkirakan kondisi lokasi penelitian dan menentukan titik pengambilan data.

- f. Program *Dinver* dalam *Sesarray Geopsy* untuk menganalisis kurva H/V dengan metode *ellipticity curve* sehingga dapat diketahui litologi bawah permukaannya.
- g. *Rockworks 15* untuk memodelkan litologi bawah permukaan pada titik penelitian.
- h. *Microsoft Office Word 2007* untuk menyusun, mengolah data, dan publikasi.

## 2. Perangkat Keras (*Hardware*)

Perangkat keras yang digunakan adalah sebagai berikut:

- a. *Digital Portable Seismograph* merek Taide tipe TDL-3035 sebagai alat untuk merekam getaran tanah pada setiap titik penelitian. *Digital Portable Seismograph* ditunjukkan pada Gambar 6, terdiri dari seismometer, *digitizer*, antena GPS, dan kabel penghubung.
  - 1. *Digitizer* untuk mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital.
  - 2. Seismometer merek Taide tipe TDV-23S merupakan sensor yang dapat menangkap sinyal getaran tanah.
  - 3. Antena GPS sebagai penerima data lokasi dan waktu pengambilan data dari satelit.
  - 4. Kabel penghubung untuk menghubungkan seismometer, *digitizer*, dan laptop.
  - 5. Laptop untuk merekam dan menyimpan data sinyal mikrotremor yang dihubungkan dengan *digitizer*.
  - 6. Kompas untuk menentukan arah pada saat pemasangan seismometer.

7. *Global Positioning System* (GPS) merek Garmin tipe 78S untuk mengetahui dan menandai titik koordinat penelitian.
8. Lembar *check list survey* mikrotremor untuk mencatat keadaan lingkungan pada saat melakukan pengambilan data.



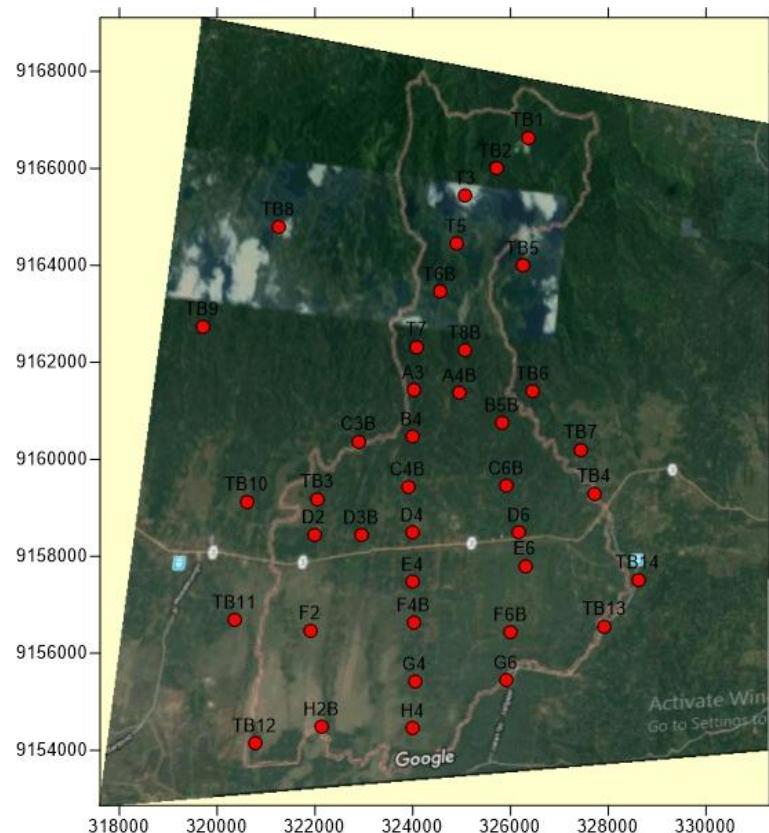
Gambar 6. *Digital Portable Seismograph* (a) *Digitizer* (b) *Seismometer* (c) *Kompas* (d) *Antena GPS* (e) *Kabel Penghubung* (f) *GPS*

### C. Teknik Pengambilan Data

#### 1. Tahap desain survei

Pada tahap ini, untuk dapat memperkirakan kondisi lokasi penelitian dan untuk menentukan titik pengambilan data digunakan *software Google Earth*. Dalam desain survei ditentukan 39 titik penelitian yang dibuat secara *grid* dengan spasi (jarak antar titik) sebesar 1 kilometer seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.

Setelah pembuatan desain survei, tahap selanjutnya adalah melakukan survei ke lapangan. Titik-titik koordinat lokasi penelitian kemudian dimasukkan dalam GPS agar dapat memandu peneliti menuju titik koordinat lokasi pengukuran, mengetahui seberapa jauh *offsite* dari lokasi yang sudah ditentukan, serta menandai lokasi baru tersebut di dalam GPS.



Gambar 7. Desain Survei Penelitian

## 2. Pengambilan Data di Titik Penelitian

Pengambilan data dilakukan pada setiap titik koordinat penelitian sebanyak 39 titik dengan frekuensi *sampling* 100 Hz dan waktu pengambilan data sekitar 25-30 menit. Durasi pengukuran tersebut mengacu pada persyaratan yang disarankan SESAME (2004) yang ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Persyaratan teknis survei mikrotremor di lapangan ( SESAME, 2004).

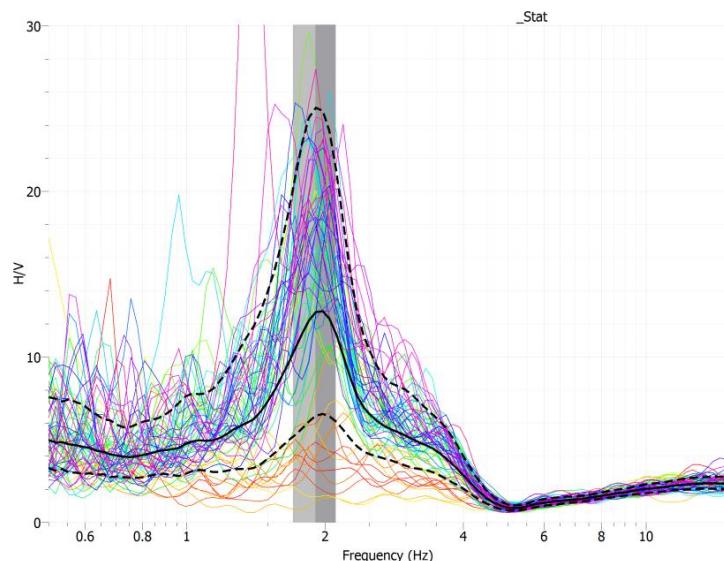
| Jenis parameter                                   | Saran yang dianjurkan  |   |
|---|--|---|
| Durasi pencatatan                                 | $f_0$ minimum yang diharapkan (Hz)   | Durasi pencatatan minimum yang disarankan (menit) |
|   | 0,2  | 30  |
|   | 0,5  | 20  |
|   | 1  | 10  |
|   |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

Setelah pengukuran selesai, data yang tersimpan dalam *digitizer* berupa data mentah sinyal getaran mikrotremor dalam fungsi waktu, diunduh dalam laptop dan disimpan dalam format *file .MSD*. 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

##### 1. Analisis Sinyal Mikrotremor

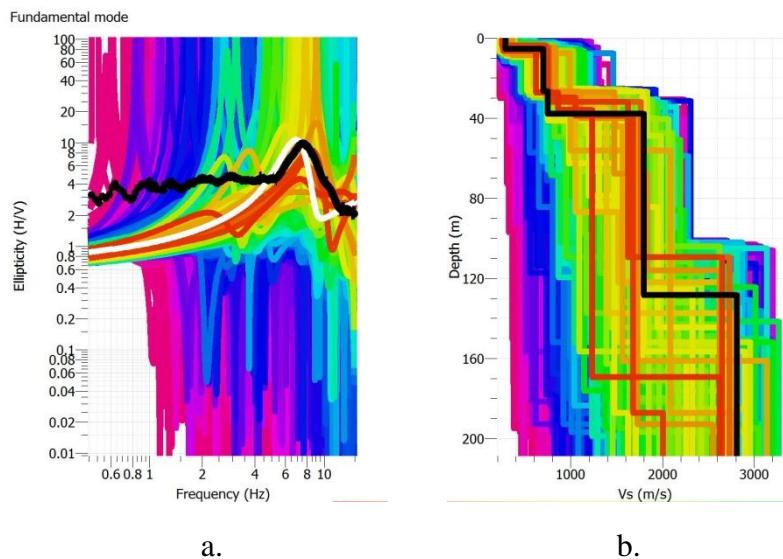
Sinyal mikrotremor yang didapat dari hasil pengukuran dianalisis menggunakan *software Sesarray Geopsy*, Dilakukan proses *windowing* yaitu pemilihan sinyal tanpa *noise* dan *cutting* yaitu memotong sinyal untuk dianalisis menggunakan metode HVSR sehingga didapatkan kurva H/V seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8. Dari kurva H/V didapatkan nilai frekuensi predominan ( $f_0$ ) dan nilai faktor amplifikasi ( $A_0$ ).



Gambar 8. Analisis Sinyal Mikrotremor dengan *software Geopsy*

## 2. Analisis Kurva H/V untuk menentukan lapisan bawah permukaan

Kurva HVSR yang disimpan dalam format *.hv* kemudian digunakan sebagai masukan di *Dinver* untuk diolah dengan metode *ellipticity curve*. Selain itu, pengolahan dilakukan dengan mengisi parameter kondisi geologi di suatu titik pengukuran seperti kecepatan gelombang primer ( $v_p$ ), kecepatan gelombang sekunder ( $v_s$ ), Poisson ratio ( $\sigma$ ), dan kerapatan tanah ( $\rho$ ). Kecocokan antara kurva H/V dengan parameter-parameter yang dimasukkan dapat diketahui dari *misfit* yang bernilai  $< 1$ . Nilai *misfit* yang terkecil adalah yang terbaik karena menunjukkan bahwa hasil pengolahannya cocok. Pengolahan ini ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Analisis Kurva H/V untuk menentukan lapisan bawah permukaan dengan program *Dinver*. (a) *Ellipticity curve* dengan garis hitam adalah model terbaik (b) *Ground profiles  $V_s$*

Hasil pengolahan yang dihasilkan adalah *ground profile* yang menunjukkan kecepatan gelombang geser ( $v_s$ ) termasuk jumlah lapisan serta nilai  $v_s$  dan

kedalaman setiap lapisannya ( $h$ ). *Ground profile* tersebut digunakan untuk menentukan nilai kecepatan gelombang geser di lapisan sedimen ( $V_s$ ) serta kecepatan gelombang geser di lapisan *bedrock* ( $v_b$ ).

### 3. Mikrozonasi Nilai Frekuensi Predominan ( $f_0$ ) dan Faktor Amplifikasi ( $A_0$ )

Nilai frekuensi predominan 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 mengoverlay titik koordinat, nilai  $f_0$  atau  $A_0$ , peta topografi dan koordinat sesar. Hasil dari mikrozonasi berupa kontur warna pada lokasi penelitian yang menggambarkan nilai  $f_0$  ataupun  $A_0$ .

### 4. Mikrozonasi indeks kerentanan seismik

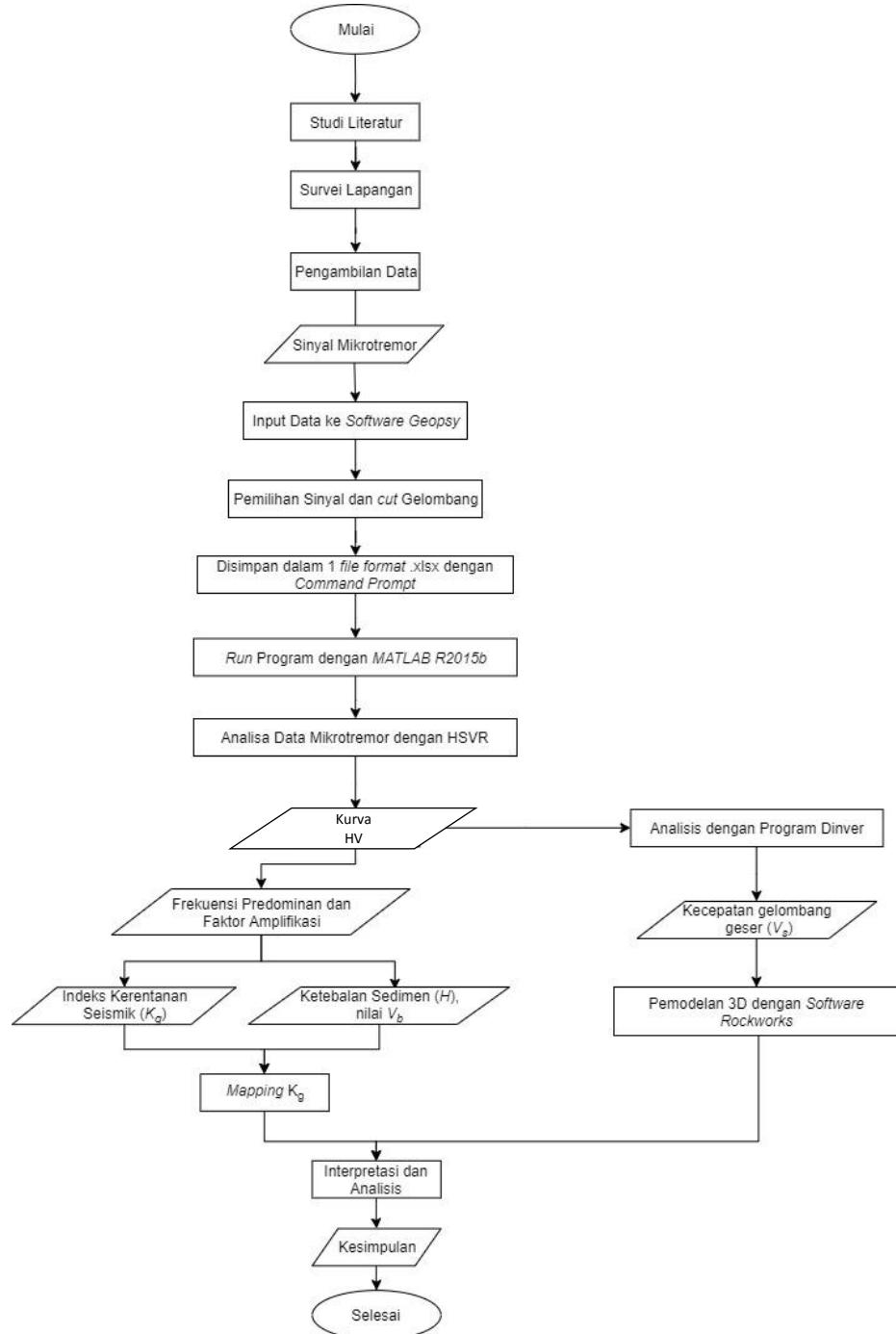
Untuk menghitung nilai indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) digunakan nilai  $f_0$ ,  $A_0$ , dan  $v_b$ . Mikrozonasi indeks kerentanan seismik dibuat dengan menggunakan data nilai indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) dari semua titik penelitian dan diproses dengan menggunakan *software Surfer* 12.

### 5. Pemodelan 3D

Pemodelan 3D dilakukan dengan *software Rockworks 15*. Pemodelan ini dilakukan untuk mengetahui litologi bawah permukaan dan untuk mempermudah interpretasi.

## E. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Diagram Alir Penelitian

## **BAB IV**

### **HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

Pada penelitian ini pengukuran mikrotremor dilakukan di Kecamatan Tambak, Kabupaten Banyumas, Jawa Tengah. Pengolahan mikrotremor menggunakan metode HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) yang kemudian didapatkan kurva H/V. Kurva H/V menghasilkan nilai frekuensi predominan ( $f_0$ ) dan nilai faktor amplifikasi ( $A_0$ ) yang digunakan dalam perhitungan indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ). Nilai frekuensi predominan ( $f_0$ ) dan nilai faktor amplifikasi ( $A_0$ ) dan indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) divisualisasikan dengan mikrozonasi.

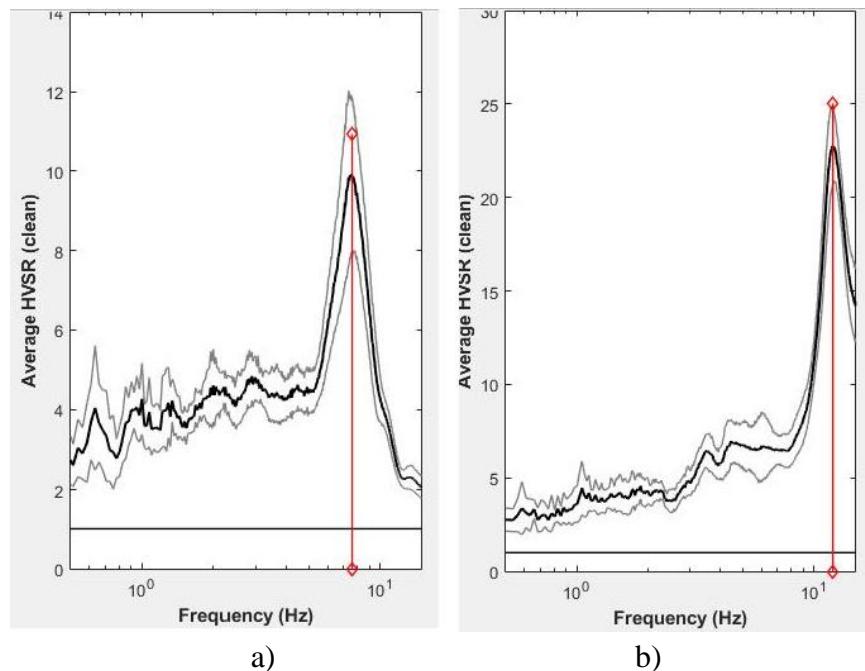
#### **A. Karakteristik dan Interpretasi Kurva H/V di Daerah Penelitian**

Kondisi geologi lokasi penelitian terdiri dari tiga formasi batuan, yaitu Formasi Halang, Anggota Breksi Formasi Halang, dan Aluvium. Merujuk pada SESAME (2004), bentuk kurva H/V pada setiap titik pengukuran memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Kurva H/V diasumsikan memiliki keterkaitan dengan kondisi geologi daerah penelitian. Daerah penelitian memiliki 4 tipe kurva yaitu: *single peak*, *unclear low frequency peak*, *double peak*, dan *multiple peaks*.

##### **1. *Single Peak***

Menurut Kyaw dkk (2015), *single peak* menunjukkan kontras impedansi antara lapisan sedimen dan *bedrock*. Nilai  $A_0$  pada kurva dengan karakteristik ini lebih besar dari 4 atau 5, sehingga dimungkinkan terdapat perbedaan kecepatan rambat gelombang yang besar antara lapisan sedimen dengan *bedrock* yang berada di bawah permukaan (SESAME, 2004). Bentuk kurva H/V *single peak*

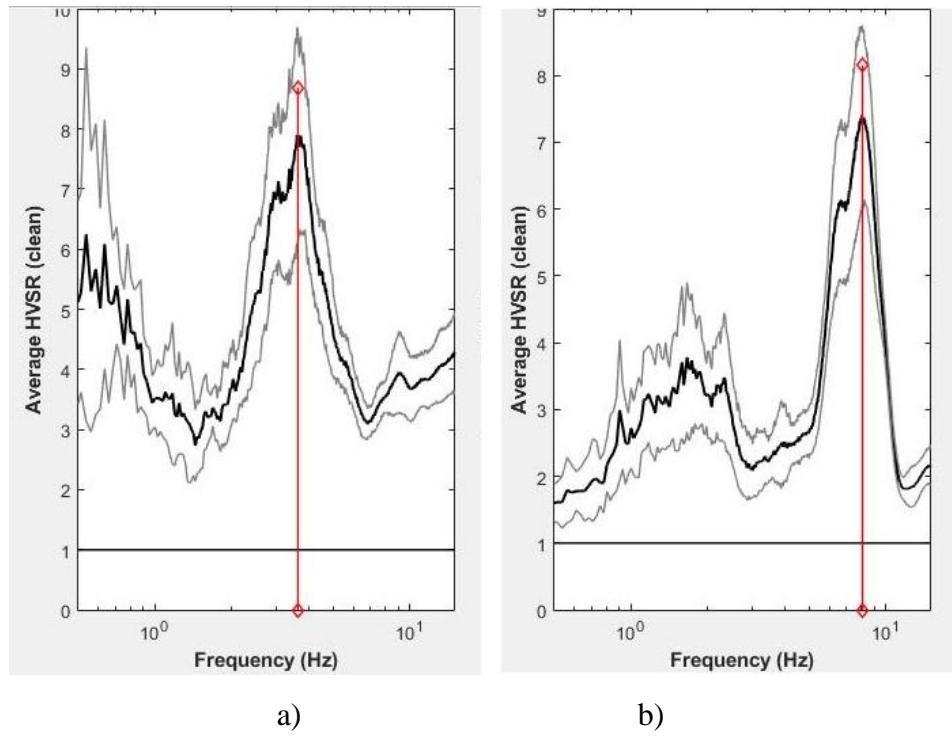
ditunjukkan pada Gambar 11. Kurva *single peak* pada umumnya menggambarkan kondisi daerah dengan lapisan sedimen yang tebal dan memiliki nilai densitas yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan lapisan *bedrock* yang sebagian besar berada pada Formasi Aluvium.



Gambar 11. Bentuk kurva *single peak* pada titik a) A3 dan b) T8 di lokasi penelitian.

## 2. *Double Peaks*

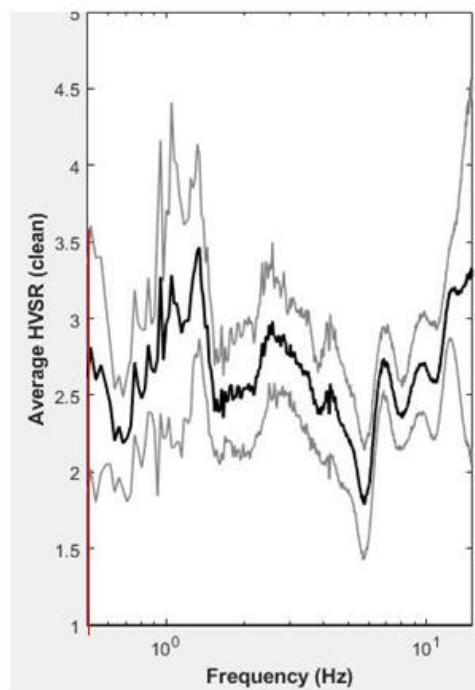
Menurut Kyaw dkk (2015), *double peaks* merupakan karakteristik kurva H/V dengan dua puncak. Terdapat beberapa hal yang menyebabkan munculnya kurva dengan bentuk *two peaks*, yaitu terdapat kontras impedansi yang besar antara dua lapisan (minimal 4) dan adanya *bedrock* yang sangat keras dan dalam. Lokasi dengan tipe jenis kurva ini terdapat pada sawah dan juga bukit. Tipe kurva *double peaks* ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Bentuk kurva *double peak* pada titik a) TB5 dan b) TB6 di lokasi penelitian.

### 3. *Unclear Low Frequency Peak*

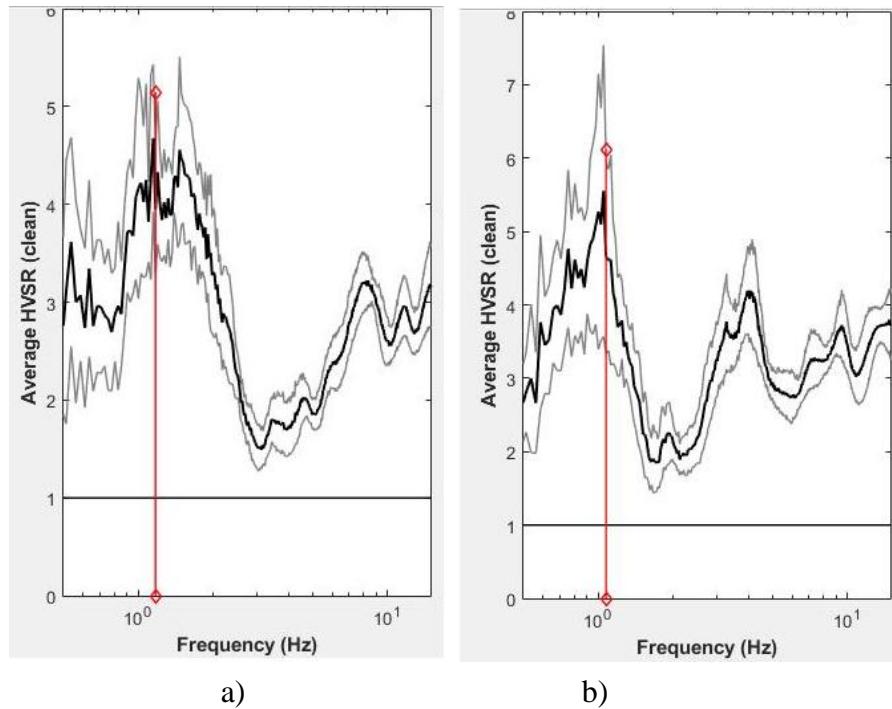
*Unclear low frequency peak* merupakan karakteristik kurva H/V dengan puncak yang tidak jelas, yang disebabkan oleh daerah dengan frekuensi predominan rendah (kurang dari 1 Hz). Kasus seperti ini dapat disebabkan oleh kontras impedansi dengan lapisan di bawahnya yang rendah, pengaruh dari gangguan ketika pengukuran, khususnya pada kondisi pengukuran yang tidak optimal. Pada lokasi penelitian, kurva dengan karakteristik *Unclear Low Frequency Peak* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 13 terdapat pada titik penelitian A4 yang berada di bagian utara Formasi Halang di Desa Watuagung. Pengukuran pada titik ini dilakukan pada saat hujan deras, sehingga dimungkinkan menjadi penyebab munculnya kurva dengan tipe ini.



Gambar 13. Bentuk *Unclear Low Frequency Peak* pada titik A4.

#### 4. *Multiple Peaks*

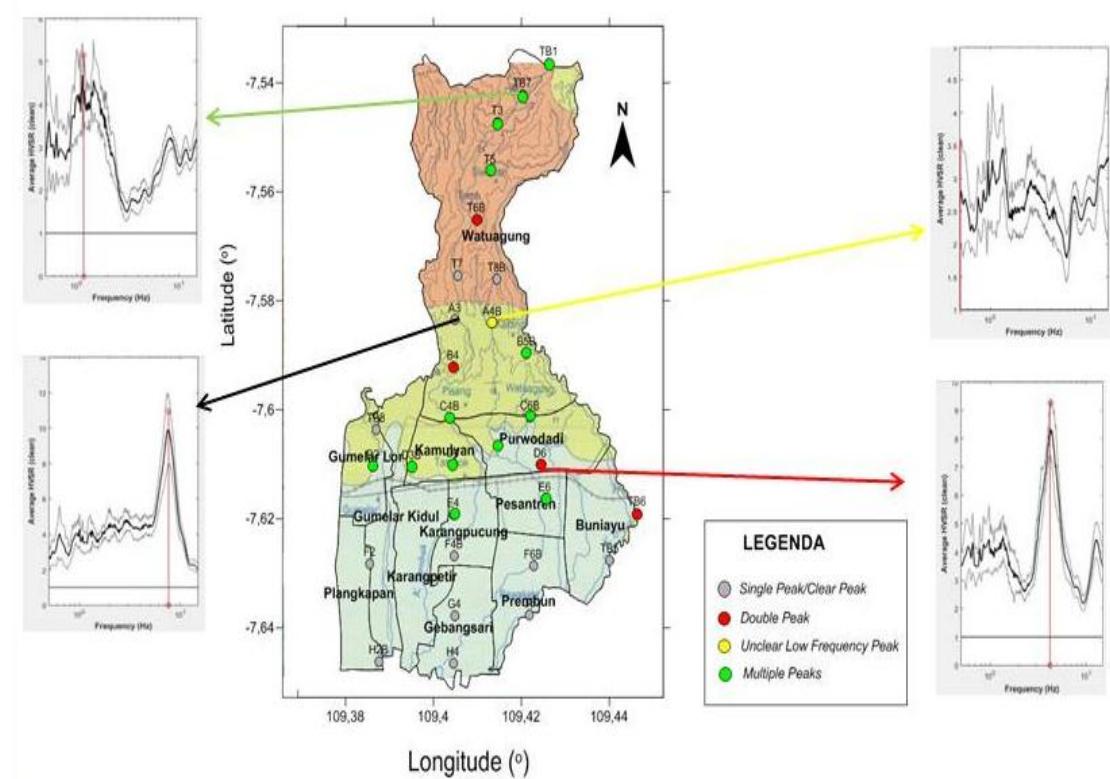
Menurut Kyaw dkk (2015), *multiple peaks* menunjukkan adanya banyak lapisan sedimen dan merupakan bentuk kurva H/V yang *clear peak* namun dengan variasi frekuensi. Karakter kurva ini disebabkan oleh adanya *slope* antara lapisan lunak dengan lapisan yang lebih keras di bawah permukaan. Lokasi dengan kurva jenis ini terdapat pada bukit, lembah, sawah dan pekarangan warga di Desa Pesantren, Desa Karangpucung, Desa Kamulyan, Desa Gumelar Lor, dan Desa Watuagung. Tipe kurva *multiple peaks* ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14. Bentuk kurva *multiple peaks* pada titik a) TB7 dan b) C4 pada lokasi penelitian.

Distribusi tipe kurva H/V dari titik-titik pengukuran di Kecamatan Tambak, Banyumas dapat dilihat pada Gambar 15. Kurva H/V tipe 1 (*single peak*) yang ditunjukkan dengan warna abu-abu secara umum tersebar di Formasi Aluvium Desa Plangkapan, Gebangsari, Karangpetir, Prembun, dan Buniayu pada titik penelitian F2, F4, F6, G4, G6, H2, H4, dan TB8, namun ada juga di Anggota Breksi Formasi Halang Desa Watuagung pada titik penelitian T7, T8, dan A3. Kurva H/V tipe 2 (*double peak*) yang ditunjukkan dengan warna merah tersebar pada titik penelitian D6 di Desa Purwodadi, T6 di Desa Watuagung sebelah utara, TB6 di Desa Buniayu perbatasan Kebumen, dan B4 di Desa Watuagung sebelah barat daya. Kurva H/V tipe 3 (*unclear low frequency peak*) yang ditunjukkan dengan warna kuning terdapat pada titik penelitian A4. Kurva H/V tipe 4 (*multiple peaks*) yang ditunjukkan dengan warna hijau tersebar pada titik

penelitian B5 di Desa Watuagung bagian tenggara, C4, C6, D2 di Desa Gumelar Lor, D3, D4 di Desa Kamulyan, E4 di Desa Gumelar Kidul, E6 di Desa Pesantren, T3, T5, TB1, dan TB7 di Desa Watuagung bagian utara. Setiap kurva H/V dianalisis menggunakan syarat reliabilitas dari (SESAME, 2004), sehingga kurva H/V yang digunakan dalam penelitian ini memenuhi syarat reliabilitas. Untuk mengetahui ketebalan sedimen suatu daerah digunakan nilai  $v_s$  yang didapat dari inversi kurva H/V dengan menggunakan model stratigrafi.



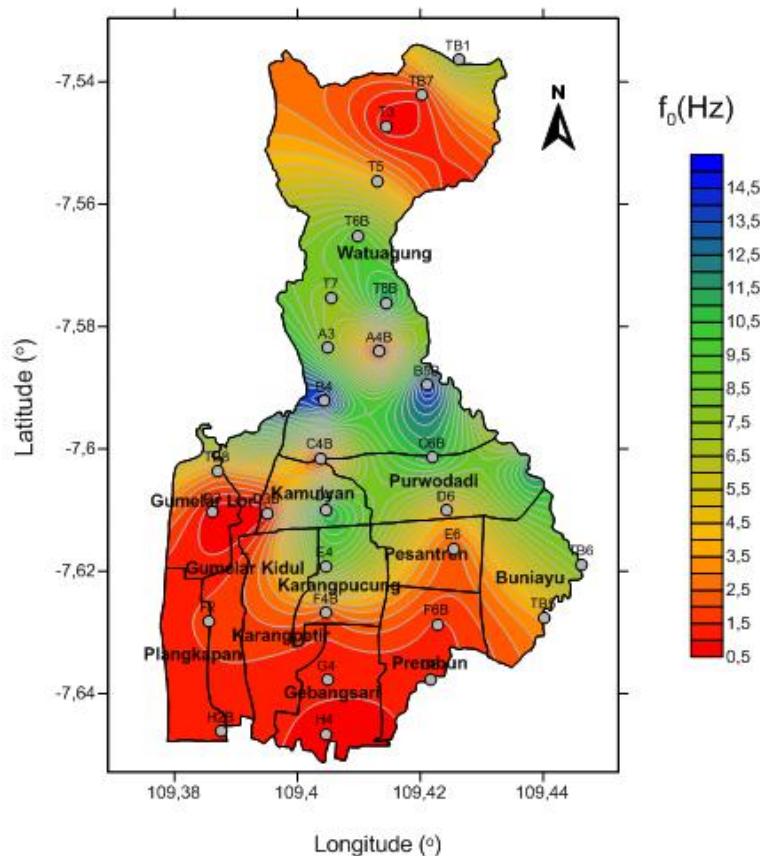
Gambar 15. Peta karakteristik kurva H/V di daerah penelitian.

## B. Mikrozonasi Frekuensi Predominan ( $f_0$ )

Frekuensi predominan merupakan frekuensi alami atau frekuensi yang sering muncul di suatu wilayah. Frekuensi predominan diperoleh dari sumbu horizontal puncak kurva H/V. Nilai frekuensi predominan berbanding terbalik

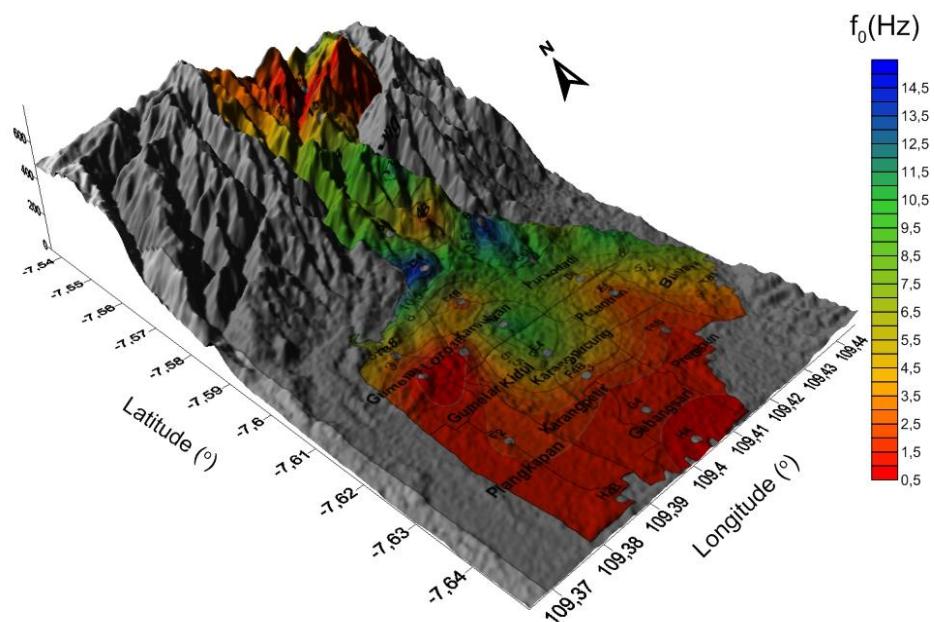
dengan periode predominan dan periode predominan berkaitan dengan ketebalan lapisan sedimen. Nilai frekuensi predominan yang didapatkan dari kurva H/V sebesar 0,49 Hz sampai 14,98 Hz.

Mikrozonasi persebaran nilai frekuensi predominan Kecamatan Tambak ditunjukkan pada Gambar 16. Berdasarkan peta mikrozonasi, daerah dengan frekuensi predominan rendah berada di daerah dengan formasi Aluvium (tersusun oleh material lempung, lanau, pasir, kerikil) yang sebagian besar berupa tanah lunak yang cenderung mengalami penguatan guncangan yang tinggi.



Gambar 16. Mikrozonasi persebaran nilai frekuensi predominan di daerah penelitian.

*Overlay* persebaran  $f_0$  Kecamatan Tambak dengan peta topografi ditunjukkan pada Gambar 17. Daerah yang memiliki nilai frekuensi predominan rendah dalam penelitian ini memiliki elevasi lebih rendah dibandingkan dengan daerah pengukuran lainnya. Namun, terdapat daerah dengan frekuensi predominan rendah di perbukitan Desa Watuagung yaitu pada titik penelitian TB7 dan T3. Lokasi tersebut dekat dengan sungai dan memiliki struktur tanah yang lunak dan basah pada saat pengambilan data meskipun titik tersebut berada di Anggota Breksi Formasi Halang sehingga dimungkinkan telah terjadi pelapukan dan membentuk sedimen yang tebal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 18.



Gambar 17. *Overlay* persebaran  $f_0$  Kecamatan Tambak dengan peta topografi.



Gambar 18. Lokasi penelitian pada titik T3.

Sebaran nilai frekuensi predominan dikategorikan dalam empat jenis tanah yang didasarkan pada formasi geologi di daerah penelitian menurut klasifikasi Kanai, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 8. Jenis tanah IV dengan rentang nilai  $f_0$  sebesar  $<2,5$  Hz ketebalan sedimennya sangat besar yaitu lebih dari 30 m dan menggambarkan jenis tanah berupa sedimentasi delta, *top soil*, lumpur, tanah lunak, humus, endapan delta atau endapan lumpur yang secara umum berada di selatan daerah penelitian. Jenis tanah III dengan rentang nilai  $f_0$  sebesar 2,5-4 Hz terdiri dari pasir berkerikil, pasir berlempung keras, tanah liat, lempung, dan adanya material yang belum diketahui (*buff formation*) dan secara umum berada di Desa Buniayu. Jenis tanah II dengan rentang nilai  $f_0$  sebesar 4-6,67 Hz yang terdiri dari pasir berkerikil (*sandy gravel*), pasir berlempung keras (*sandy*

*hard clay*), tanah liat, dan lempung (*loam*) berada di Desa Purwodadi dan Watuagung bagian selatan. Jenis tanah I dengan rentang nilai  $f_0$  sebesar 6,67-20 Hz menggambarkan jenis tanah berupa batuan pasir berkerikil keras (*hard sandy gravel*) dan secara umum berada di Formasi Halang.

Tabel 8. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Formasi Dan Nilai Frekuensi Predominan.

| Formasi                       | Frekuensi Predominan (Hz) | Titik Pengukuran                | Jenis Tanah*) |
|-------------------------------|---------------------------|---------------------------------|---------------|
| Aluvium                       | 8,66                      | E4                              | I             |
|                               | 4,2 – 6,08                | D6                              | II            |
|                               | 3,64                      | TB5                             | III           |
|                               | 1,24 – 2,17               | H2B, H4, G6, G4, F2, F4, F6, E6 | IV            |
| Formasi Halang                | 7,61 – 14,96              | D4, C6, B5, B4, A3, TB6         | I             |
|                               | 0,49 – 1,07               | D2, D3, C4, A4, TB8             | IV            |
| Anggota Breksi Formasi Halang | 7,27 – 12,03              | T7, T6, TB1, T8                 | I             |
|                               | 4,17 – 6,56               | T5                              | II            |
|                               | 0,54 – 1,17               | T3, TB7                         | IV            |

\*) Klasifikasi tanah menurut Kanai (Arifin, dkk., 2013)

Formasi Aluvium tersusun atas litologi lempung, lanau, pasir, kerikil dan kerakal (Asikin, dkk., 1992). Frekuensi predominan berdasarkan klasifikasi tanah pada Formasi Aluvium dibedakan menjadi empat kategori jenis tanah, yaitu jenis I, II, III, IV, dimana jenis ini merupakan tanah dengan batuan tersier (tua) berupa batuan keras (*hard sandy gravel*), pasir kerikil (*sandy gravel*), lempung keras (*sandy hard clay*), tanah liat (*loam*), adanya batuan alluvial endapan dan formasi yang belum diketahui (*buff formation*). Titik penelitian pada formasi ini didominasi jenis tanah II dan IV dengan jumlah masing-masing titik penelitian

sebanyak 1 dan 8 titik serta nilai  $f_0$  pada tanah jenis ini berkisar antara 1,24 – 2,17 Hz dan 4,2 – 6,08 Hz.

Formasi Halang secara umum terdiri dari perselingan batupasir, batulempung, napal dan tufan dengan sisipan breksi (Asikin, dkk.,1992). Nilai frekuensi predominan yang berada pada Formasi Halang di Desa Kamulyan sebesar 11,79 Hz, Desa Purwodadi sebesar 11,01 Hz, Desa Watuagung sebesar 7,61 Hz - 14,98 Hz, dan Desa Buniayu sebesar 8,1 Hz yang merupakan jenis tanah I dan tersusun dari batuan pasir berkerikil keras (*hard sandy gravel*). Frekuensi Predominan di Desa Gumelar Lor sebesar 0,61 Hz, Desa Kamulyan sebesar 0,71 Hz, Desa Watuagung sebesar 0,49 Hz dan 1,07 Hz yang merupakan jenis tanah IV dan tersusun dari tanah lembek seperti humus, lumpur, endapan lumpur, dan tanah lunak. Untuk jenis tanah III terdapat pada Desa Gumelar Lor dengan nilai frekuensi predominan 3,15 Hz.

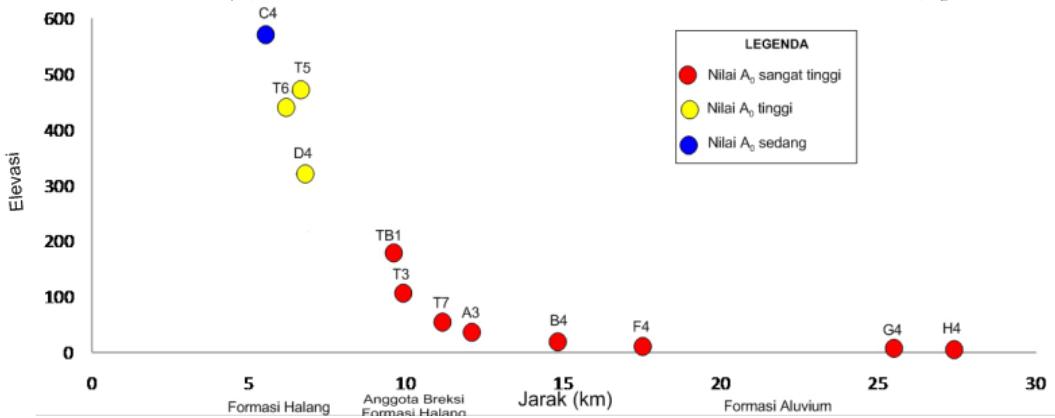
Anggota Breksi Formasi Halang secara umum terdiri dari litologi breksi dengan komponen andesit, basal dan batugamping, massa dasar batupasir tufan kasar, sisipan batupasir dan lava basal (Asikin, dkk.,1992) dengan nilai frekuensi predominan berkisar antara 0,59 Hz hingga 12,03 Hz. Tanah pada formasi ini merupakan jenis tanah IV, II, dan I. Jenis tanah IV berada pada Desa Watuagung sebelah utara sebesar 0,59 Hz dan 1,17 Hz. Jenis tanah II berada pada Desa Watuagung sebelah selatan dengan nilai frekuensi predominan sebesar 4,17 Hz. Jenis tanah I semuanya berada di Desa Watuagung sebelah barat dan timur dengan nilai frekuensi predominan sebesar 7,27 Hz - 12,03 Hz.

Pada formasi yang sama, dimungkinkan terdapat jenis tanah yang berbeda-beda dikarenakan pengaruh kondisi masing-masing tanah saat perkembangan atau proses terbentuknya. Pada suatu daerah sebaran nilai  $f_0$  sangat penting diketahui, karena dapat dimanfaatkan dalam perencanaan struktur bangunan tahan gempa yang diharapkan dapat mengurangi risiko bencana gempabumi yang kemungkinan akan terjadi di masa yang akan datang.

### C. Faktor Amplifikasi

Faktor amplifikasi merupakan penguatan guncangan saat terjadi gempabumi. Nilai ini diperoleh dari kurva H/V yang kemudian dibuat peta kontur persebaran nilai amplifikasi di Kecamatan Tambak dan sekitarnya. Amplifikasi gelombang seismik menunjukkan adanya batuan sedimen yang berada di atas *bedrock* dengan kerapatan yang berbeda. Dengan kata lain, gelombang seismik akan mengalami perbesaran amplitudo jika merambat pada medium yang lebih lunak dibandingkan medium awal yang dilaluinya. Daerah yang permukaannya tersusun atas sedimen lunak (gambut, pasir, lanau) dengan dasar yang keras memiliki faktor amplifikasi tinggi karena kontras impedansinya (perbedaan antara lapisan sedimen dan batuan dasar) besar. Semakin besar perbandingan kontras impedansi kedua lapisan tersebut maka nilai faktor amplifikasinya juga semakin tinggi.

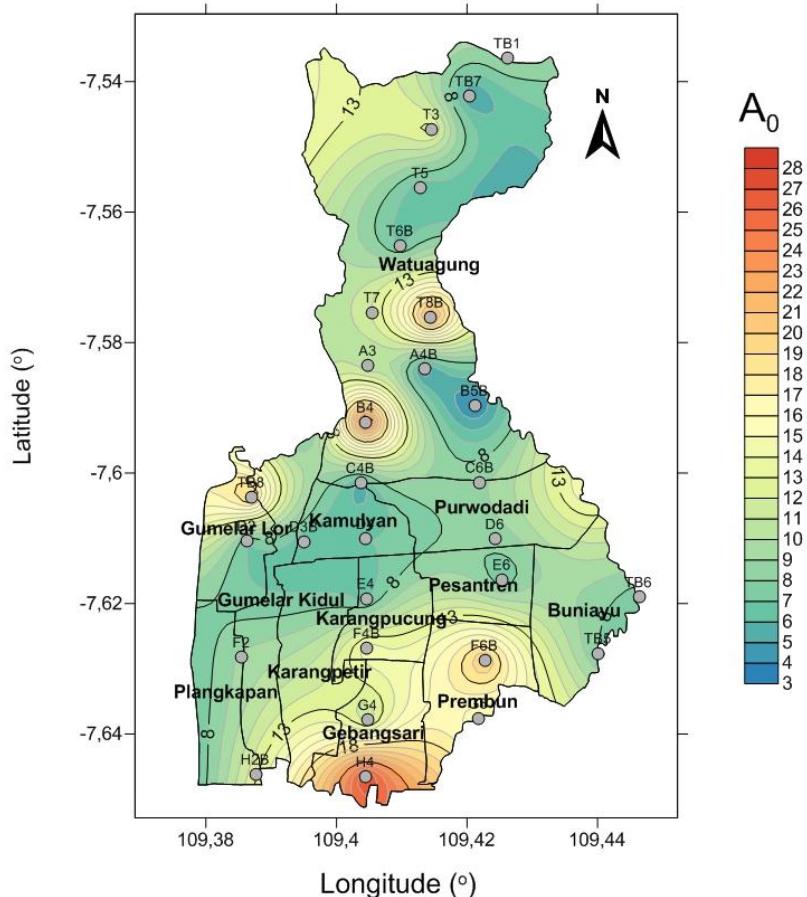
Berdasarkan pengukuran di daerah penelitian, diperoleh korelasi antara elevasi dengan faktor amplifikasi yaitu apabila elevasinya rendah, maka faktor amplifikasinya tinggi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 19. Hal ini dikarenakan pengendapan atau sedimentasi di daerah penelitian semakin tebal.



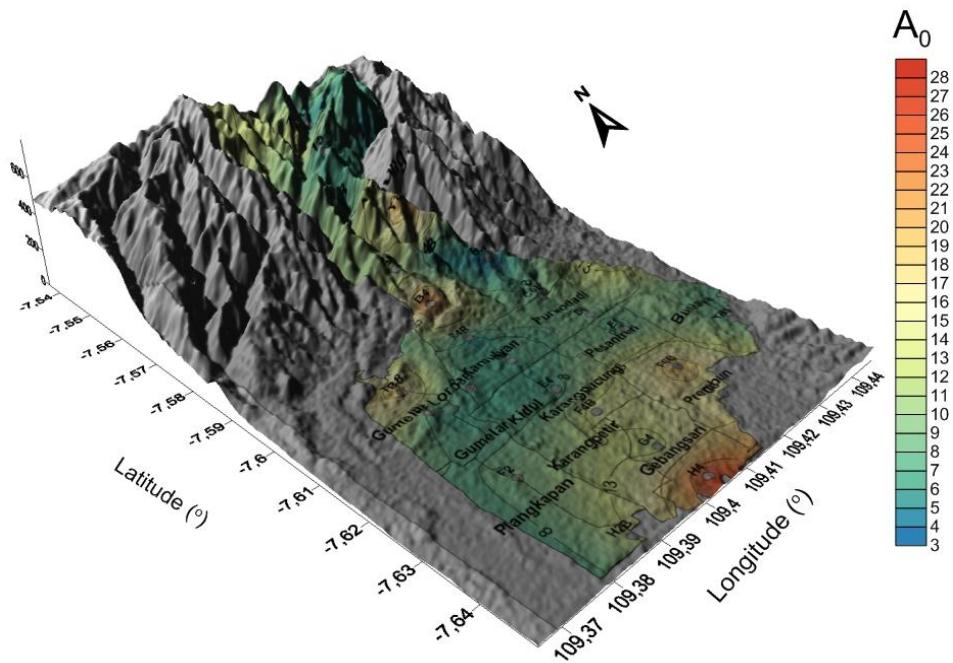
Gambar 19. Korelasi Faktor Amplifikasi dengan Elevasi.

Nilai faktor amplifikasi di Kecamatan Tambak bervariasi dari 3,64 – 27,38 dengan nilai terendah berada di Desa Watuagung dan nilai tertinggi berada di Desa Gebangsari seperti yang ditunjukkan pada Gambar 19. Berdasarkan Tabel 2, di daerah penelitian tidak ditemukan nilai faktor amplifikasi yang rendah, yang ada hanyalah nilai faktor amplifikasi sedang, tinggi, dan sangat tinggi. Persebaran nilai tersebut ditunjukkan pada Tabel 9. Pada Formasi Aluvium nilai faktor amplifikasi tinggi berkisar 6,59–7,9 dan berada di Desa Pesantren, dan Desa Buniayu sebelah barat daya, nilai faktor amplifikasi sangat tinggi berkisar 9,26 – 27,38 dan berada di Desa Plangkapan, Desa Karangpucung, Desa Prembun, dan Desa Gebangsari. Formasi Halang memiliki nilai faktor amplifikasi sedang berkisar 3,64 – 5,55 dan berada di Desa Watuagung sebelah selatan, nilai  $A_o$  tinggi berkisar antara 6,17 - 8,84 dan berada di Desa Gumelar Lor sebelah barat daya, Desa Kamulyan, Desa Buniayu sebelah barat, dan Desa Watuagung sebelah utara, nilai  $A_o$  sangat tinggi berkisar antara 9,92 - 25,46 dan berada di Desa Gumelar Lor bagian barat laut dan Desa Watuagung sebelah timur laut. Sementara itu

Anggota Breksi Formasi Halang memiliki nilai faktor amplifikasi sedang hingga sangat tinggi, yaitu berkisar antara 4,68 – 22,76 dan berada di Desa Watuagung bagian timur laut. Hal ini menunjukkan bahwa pada formasi geologi yang sama, wilayah satu dengan yang lainnya memiliki kondisi geologi yang berbeda akibat proses deformasi yang menyebabkan karakteristik geologi di suatu wilayah menjadi berubah. Oleh karena itu, nilai faktor amplifikasi pada formasi yang sama dapat bervariasi dari sedang hingga sangat tinggi. Untuk mikrozonasi faktor amplifikasi ditunjukkan pada Gambar 20. *Overlay* persebaran nilai faktor amplifikasi Kecamatan Tambak dengan peta topografi ditunjukkan pada Gambar 21.



Gambar 20. Persebaran nilai  $A_0$  di Kecamatan Tambak.



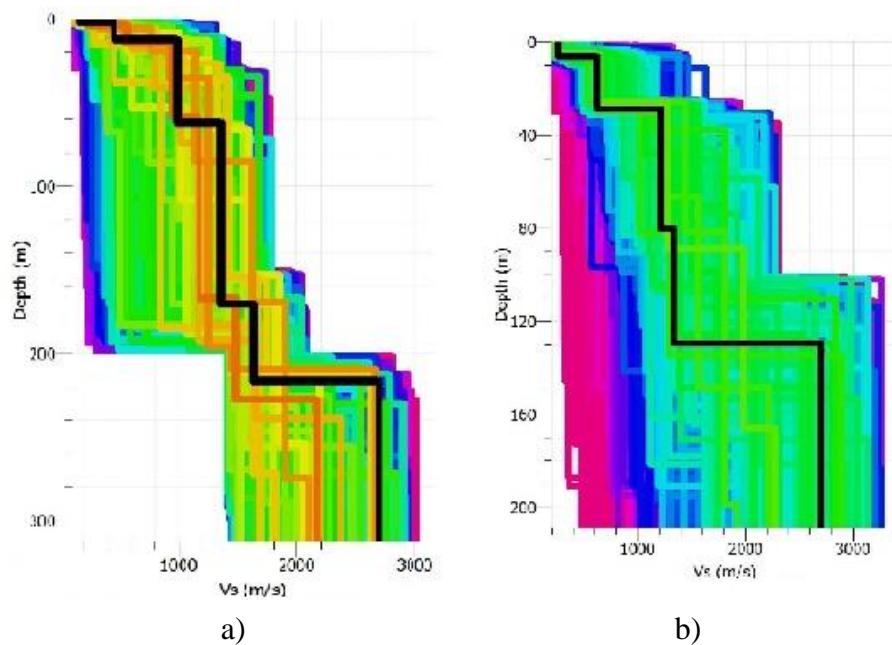
Gambar 21. *Overlay* nilai  $A_0$  Kecamatan Tambak dengan peta topografi.

Tabel 9. Klasifikasi nilai faktor amplifikasi di daerah penelitian.

| Klasifikasi   | Nilai Faktor Amplifikasi | Titik Penelitian           | Formasi                          |
|---------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| Sedang        | 3,64 - 5,55              | B5, A4, C4                 | Formasi Halang                   |
|               |                          | TB7                        | Anggota Breksi<br>Formasi Halang |
| Tinggi        | 6,17 – 8,84              | E4, E6, TB5                | Aluvium                          |
|               |                          | TB6, D2, D4, C6, D6, D3    | Formasi Halang                   |
|               |                          | T5, T6                     | Anggota Breksi<br>Formasi Halang |
| Sangat Tinggi | 9,26 – 27,38             | F2, G4, F4, G6, H2, F6, H4 | Aluvium                          |
|               |                          | A3, TB8, B4                | Formasi Halang                   |
|               |                          | TB1, T7, T8, T3,           | Anggota Breksi<br>Formasi Halang |

#### D. Ketebalan Lapisan Sedimen

Lapisan sedimen merupakan lapisan yang dihasilkan dari proses pelapukan dan pengendapan. Melalui metode mikrotremor, struktur lapisan seperti sedimen dan *bedrock* suatu wilayah dapat ditentukan dari nilai kecepatan gelombang geser ( $v_s$ ). Kecepatan gelombang geser merupakan salah satu parameter penting untuk mendeskripsikan litologi bawah permukaan. Struktur lapisan di Kecamatan Tambak diketahui dari pengolahan inversi kurva H/V dengan metode *ellipticity curve*. Berdasarkan pengolahan tersebut diperoleh *ground profiles* yang menampilkan nilai kecepatan gelombang geser setiap lapisan beserta nilai kedalaman. Digunakan 5 hingga 6 lapisan material dengan kedalaman 200 - 300 meter di setiap lokasi pengukuran, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 22.



Gambar 22. *Ground Profiles*  $v_s$  dengan variasi lapisan. a) *ground profiles*  $v_s$  6 lapisan dengan kedalaman 300 meter pada titik B5. b) *ground profiles*  $v_s$  5 lapisan dengan kedalaman 200 pada titik TB8.

Gambar 22 memperlihatkan beberapa hasil *ground profile* pada lokasi penelitian. Nilai  $v_s$  yang dihasilkan pada setiap lapisan menunjukkan perbedaan material atau jenis batuannya. Nilai  $v_s$  yang relatif kecil menunjukkan kondisi batuan atau material yang lunak, sedangkan batuan atau material yang bersifat keras memiliki nilai  $v_s$  yang relatif besar. Tabel 10 menunjukkan pengelompokan titik pengukuran berdasarkan formasi geologi di Kecamatan Tambak, Banyumas. Identifikasi litologi penyusun pada setiap formasi geologi daerah penelitian ditunjukkan pada Tabel 11, 12, dan Tabel 13.

Tabel 10. Pengelompokan Titik Pengukuran berdasarkan Formasi Geologi di Kecamatan Tambak.

| Formasi Geologi               | Titik Pengukuran                             | Litologi Penyusun Formasi*)   |
|-------------------------------|--|---|
| Formasi Aluvium               | E4, D6, TB5, H2, H4, G6, G4, F2, F4, F6, E6  | litologi lempung, lanau, pasir, kerikil dan kerakal.  |
| Formasi Halang                | D4, C6, B5, B4, A3, TB6, D2, D3, C4, A4, TB8 | litologi perselingan batupasir, batulempung, napal dan tufan dengan sisipan breksi, yang dipengaruhi oleh arus turbidit dan pelengseran bawah air laut. |
| Anggota Breksi Formasi Halang | T7, T6, TB1, T8, T5, T3, TB7                 | litologi breksi dengan komponen andesit, basal dan batugamping, massa dasar batupasir tufaan kasar, sisipan batupasir dan lava basal.                   |

\*) Litologi penyusun tanah (Asikin, dkk., 1992)

Tabel 11. Nilai  $v_s$  dengan litologi penyusun pada Formasi Aluvium

| $v_s$ (m/s) | Kedalaman (m) | Litologi   | Klasifikasi site berdasarkan SNI |
|-------------|---------------|------------|----------------------------------|
| < 175       | 0 – 2         | Tanah      | Tanah lunak                      |
| 175 - 350   | 2 – 13        | Batu pasir | Tanah sedang                     |
| 350 - 750   | 14 – 100      | Lempung    | Batu lunak                       |
| 750 – 1500  | 100 - 200     | Kerikil    | Batu                             |
| .>1500      | >200          | Kerakal    | Batu keras                       |

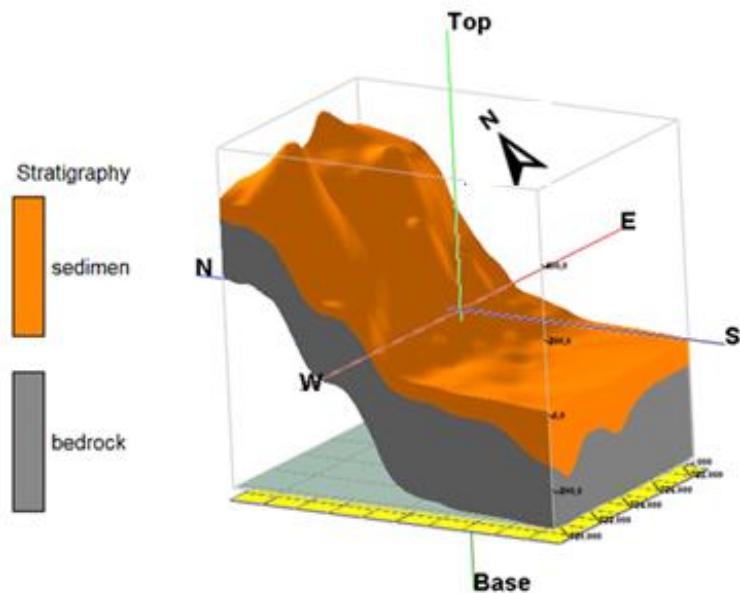
Tabel 12. Nilai  $v_s$  dengan litologi penyusun pada Formasi Halang

| $v_s$ (m/s) | Kedalaman (m) | Litologi                   | Klasifikasi site berdasarkan SNI |
|-------------|---------------|----------------------------|----------------------------------|
| < 175       | 0 – 2         | Tanah                      | Tanah lunak                      |
| 175 - 350   | 2 – 5         | Batu pasir                 | Tanah sedang                     |
| 350 - 750   | 5 – 25        | Batu Lempung               | Batu lunak                       |
| 750 – 1500  | 25 – 100      | Napal                      | Batuhan                          |
| .>1500      | >100          | Tufa dengan sisipan breksi | Batuhan keras                    |

Tabel 13. Nilai  $v_s$  dengan litologi penyusun pada Anggota Breksi Formasi Halang

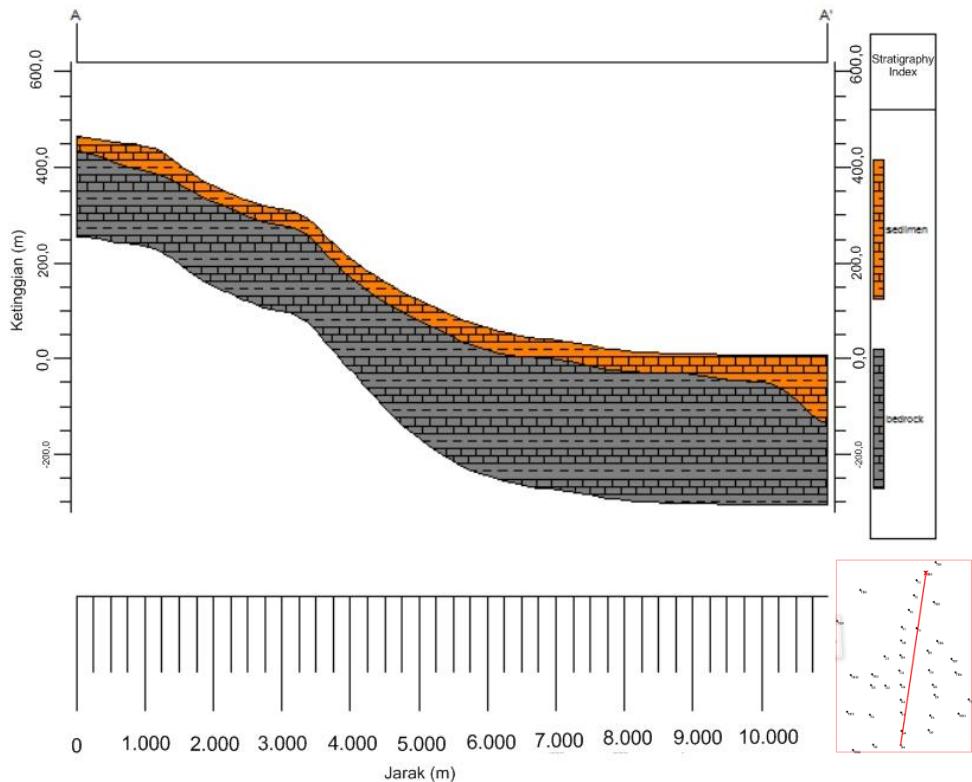
| $v_s$ (m/s) | Kedalaman (m) | Litologi   | Klasifikasi site berdasarkan SNI |
|-------------|---------------|--|----------------------------------|
| 175 - 350   | 2 – 7         | Batu pasir   | Tanah sedang                     |
| 750 – 1500  | 25 – 50       | Breksi dengan komponen andesit                           | Batuhan                          |
| .>1500      | >50           | Basal dan batugamping, sisipan batupasir dan lava basal. | Batuhan keras                    |

Berdasarkan pemodelan dan persebaran nilai kecepatan gelombang geser pada daerah penelitian, lapisan penyusun pada daerah tersebut dikelompokkan menjadi dua lapisan, yaitu lapisan sedimen dan lapisan *bedrock*. Ketebalan lapisan sedimen dapat ditunjukkan dengan pemodelan stratigrafi serta disesuaikan dengan topografi wilayah penelitian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 23. Berdasarkan pemodelan tersebut dapat diketahui bahwa nilai ketebalan sedimen terendah adalah 1,97 meter yang berada di titik E6 pada Desa Pesantren sedangkan lapisan sedimen yang paling tebal dengan kedalaman 300 meter yang berada di titik penelitian G4 pada Desa Gebangsari.



Gambar 23. Pemodelan 3D Lapisan Sedimen dan Lapisan *Bedrock*.

Karakteristik lapisan sedimen diwakili oleh spektrum warna coklat yang tersusun oleh material lunak dan memiliki nilai kecepatan gelombang geser berkisar antara 103,39 – 727,25 m/s. Lapisan *bedrock* diwakili oleh spektrum warna abu-abu yang tersusun oleh material batuan-batuan keras dan memiliki kecepatan gelombang geser berkisar antara 750,25 – 3264,94 m/s. Ketebalan lapisan sedimen di Kecamatan Tambak dapat diidentifikasi melalui penyajian model pada Gambar 23. Hasil dari proses sayatan ini ditunjukkan pada Gambar 24.



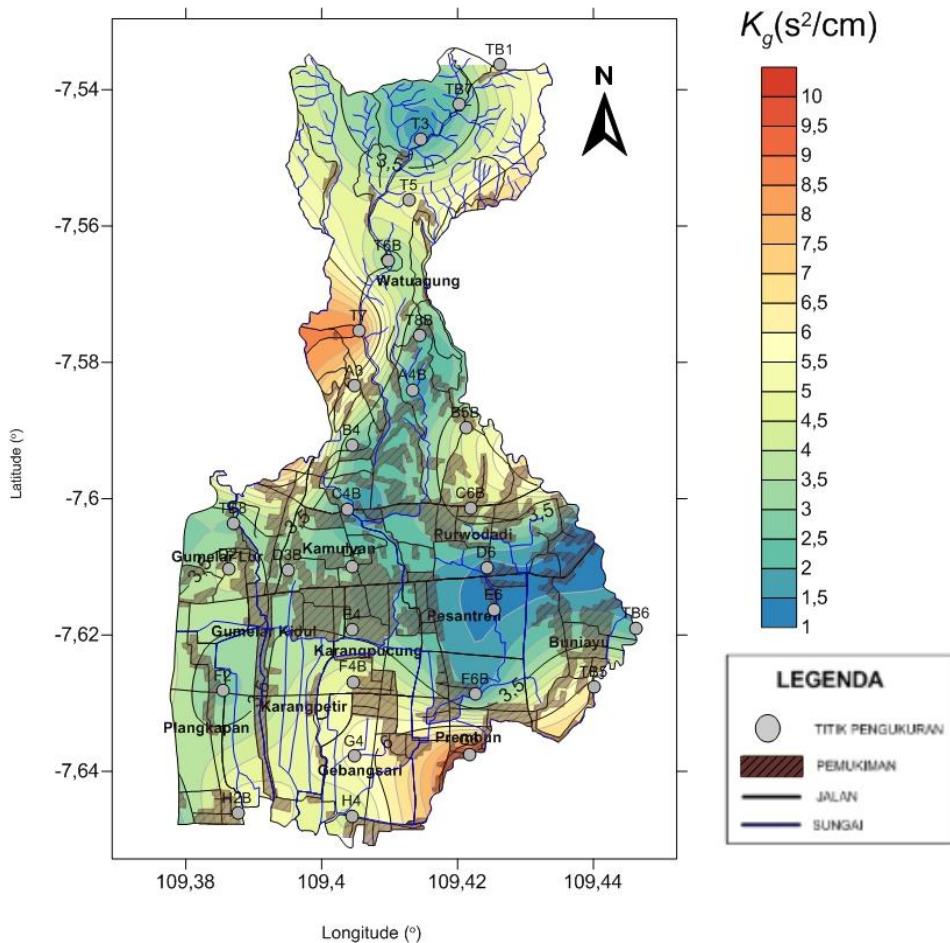
Gambar 24. *Cross-section Model 3D Lapisan Sedimen dan Bedrock.*

#### E. Mikrozonasi Indeks Kerentanan Seismik

Nilai indeks kerentanan seismik menunjukkan kestabilan struktur tanah, dimana semakin tinggi nilai indeks kerentanan seismik maka tingkat kestabilan struktur tanah semakin kecil, sehingga daerah tersebut berpotensi tinggi mengalami kerusakan. Nilai indeks kerentanan seismik dipengaruhi oleh faktor amplifikasi ( $A_0$ ), kecepatan gelombang seismik pada batuan dasar ( $v_b$ ) dan frekuensi predominant ( $f_0$ ).

Nilai indeks kerentanan seismik pada Kecamatan Tambak berkisar antara  $1,23 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  hingga  $9,92 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$ , dimana hasil mikrozonasi ditunjukkan pada Gambar 25. Nilai indeks kerentanan seismik tinggi diperoleh di titik

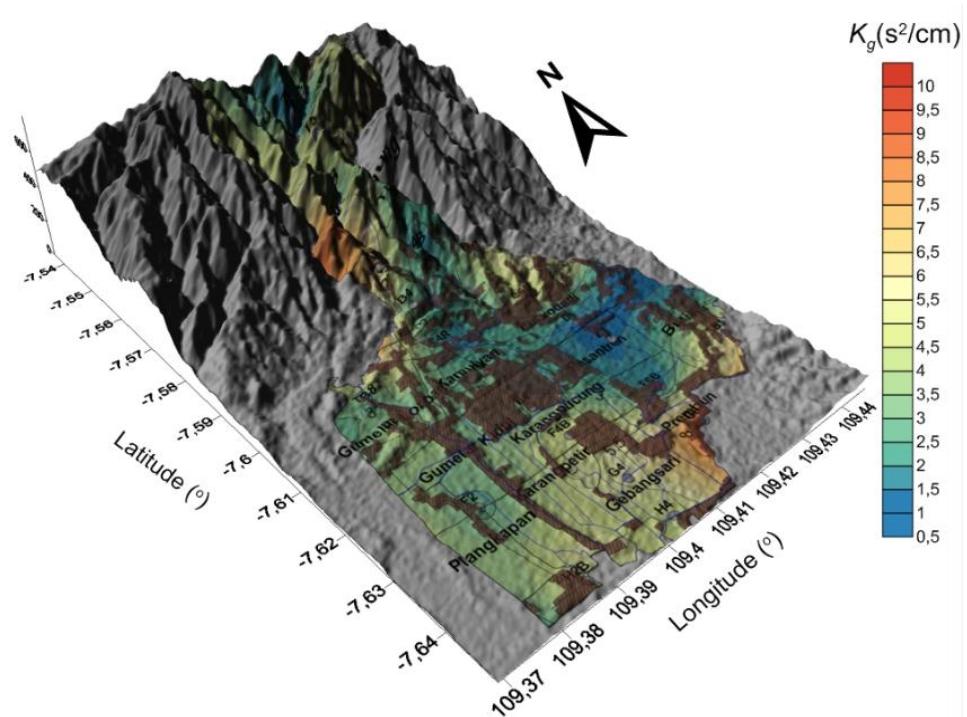
penelitian G6 sebesar  $9,92 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  yang berada di Formasi Aluvium pada Desa Preambun. *Overlay* persebaran indeks kerentanan seismik Kecamatan Tambak dengan peta topografi ditunjukkan pada Gambar 26.



Gambar 25. Mikrozonasi nilai indeks kerentanan seismik di Kecamatan Tambak.

Titik penelitian tersebut memiliki nilai frekuensi predominan yang rendah dan faktor amplifikasi yang tinggi. Hal ini menyebabkan nilai indeks kerentanan seismik di daerah tersebut menjadi tinggi. Tingginya nilai  $K_g$  tersebut menggambarkan bahwa tingkat kestabilan struktur tanah pada daerah tersebut rendah. Berdasarkan Gambar 26, terdapat 18% pemukiman yang berada di

kawasan dengan nilai  $K_g$  tinggi. Nilai indeks kerentanan seismik rendah ditunjukkan dengan warna biru yang tersebar di perbukitan pada Anggota Breksi Formasi Halang, Formasi Halang terutama di Desa Watuagung, dan sebagian Formasi Aluvium. Rendahnya nilai indeks kerentanan seismik menggambarkan tingkat kestabilan struktur tanah yang tinggi.



Gambar 26. *Overlay* persebaran indeks kerentanan seismik Kecamatan Tambak dengan peta topografi.

## **BAB V**

### **HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

#### **A. KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil penelitian maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Kecamatan Tambak Banyumas memiliki persebaran nilai frekuensi predominan antara 0,49 sampai 14,98 Hz, dan nilai faktor amplifikasi antara 3,64 sampai 27,38.
2. Nilai indeks kerentanan seismik di Kecamatan Tambak Banyumas berkisar antara  $1,23 \times 10^{-6}$  s<sup>2</sup>/cm sampai  $9,92 \times 10^{-6}$  s<sup>2</sup>/cm. Untuk nilai indeks kerentanan seismik terendah berada di Desa Watuagung pada Anggota Breksi Formasi Halang yang didominasi oleh batuan keras breksi-andesit, dan batu gamping, sedangkan untuk nilai indeks kerentanan seismik tertinggi berada di Desa Prembun pada formasi aluvium yang didominasi oleh batu pasir dan lempung.

#### **B. SARAN**

Beberapa hal yang perlu dilakukan untuk penelitian selanjutnya antara lain:

1. Melakukan penelitian dan analisis tambahan dengan metode lain khususnya metode yang terkait dengan sifat fisis batuan.
2. Titik pengukuran lebih banyak dan jarak antar titik lebih dekat agar didapatkan hasil yang lebih akurat dan memperluas batasan wilayah ke kecamatan yang lain.

## DAFTAR PUSTAKA

- 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*. Skripsi. Lampung: UNILA.
- Asikin, S., Prastistho, Gafoer, R. (1992). *Peta Geologi Lembar Banyumas, Jawa, skala 1:100.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Badan Standarisasi Nasional. (2012). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa dan Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: BSN, SNI 1726:2012.
- BMKG. (2015). *Indonesia Tsunami Early Warning System- InaTEWS*. Diunduh pada 28 Desember 2018 melalui [http://inatews.bmkg.go.id/new/tentang\\_eq.php](http://inatews.bmkg.go.id/new/tentang_eq.php).
- BMKG. (2015). Peta Seismisitas Indonesia. Diunduh pada 22 Januari 2019 melalui [repogempa.bmkg.go.id](http://repogempa.bmkg.go.id)
- BMKG. (2018). Gempabumi di Kecamatan Tambak. Diunduh pada 23 November 2018 melalui [www.bmkg.go.id/BMKG\\_Pusat/Gempabumi\\_-Tsunami/Gempabumi.bmkg](http://www.bmkg.go.id/BMKG_Pusat/Gempabumi_-Tsunami/Gempabumi.bmkg)
- BPS. (2015). Luas Wilayah di Kabupaten Banyumas. Diunduh pada 25 Maret 2019 melalui <https://banyumaskab.bps.go.id/publication/2017/09/25/64af0d3288a1f83df41aa7f/kecamatan-tambak-dalam-angka-2017.html>
- Burger, H.R. (1992). *Exploration Geophysics of the Shallow Subsurface*. Englewood Cliffs. NJ

- Daryono. (2009). *Data Mikrotremor dan Pemanfaatannya untuk Pengkajian Bahaya Gempabumi*. Yogyakarta: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- Daryono. (2011). *Indeks Kerentanan Seismik Berdasarkan Mikrotremor pada Setiap Satuan Bentuk lahan di Zona Graben Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta*. Disertasi. Yogyakarta : UGM.
- Dewi, Y. (2016). *Mikrozonasi Indeks Kerentanan Seismik di Kawasan Jalur Sesar Opak Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor*. Skripsi. Yogyakarta : UNY.
- Fah, D., Kind., Fortunat., and Giardini, D. (2006). A Theoretical Investigation of Average H/V Ratios. *Geophys. J. Int.* (2001) 145, 535-549.
- Febriani, Y., Daruwati, I., 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.
- Fitria. (2014). *Analisa Mikrotremor Untuk Mikrozonasi Indeks Kerentanan Seismik Di Kecamatan Pacitan, Jawa Timur*. Skripsi. Yogyakarta : UNY.
- Gosar, A. (2007). *Microtremor HVSR Study for Assesing* Gunadi, B. (2015). *Aplikasi Pemetaan Multi Risiko Bencana Di Kabupaten Banyumas Menggunakan Open Source Software GIS*. Jurnal. Semarang : UNDIP.
- 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*. ELSEIVER Engineering Geology 91.
- Hamilton, W. (1979). *Tectonics of Indonesian Region*, Geological Survey Professional Paper 1078, Washington, USA.

- Ibrahim, G dan Subardjo. (2005). *Pengetahuan Seismologi*. Jakarta: Badan Meteorologi dan Geofisika.
- Kayal, J.R. (2008). *Microearthquake Seismology and Seismotectonics of South Asia*. New York, USA: Springer.
- Kusworo. (2017). "Ratusan Rumah di Banyumas Tercatat Rusak Akibat Gempa". Diunduh pada 24 Januari 2019 melalui <https://jateng.tribunnews.com/2017/12/16/belasan-rumah-dan-dua-bangunan-rumah-sakit-di-banyumas-rusak-akibat-gempa-bumi>
- Kyaw, Z.L., Pramumijoyo, S., Husein, S., Fathani, T.F., Kiyono, J., (2015). Seismic Behaviours Estimation of the Shallow and Deep Soil Layers Using Microtremor Recording and EGF Technique in Yogyakarta City, Central Java Island, *Procedia Earth and Planetary Science*, Yogyakarta.
- Labertta, S. (2013). *Mikrozonasi Indeks Kerentanan Seismik Berdasarkan Analisis Mikrotremor di Kecamatan Jetis, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta*. Skripsi. Yogyakarta : UNY.
- Lermo, J., and Gracia,. (1993). *Site Effect Evaluation using Spectral Ratios with only One Station*. Amerika: Bulletin of Seismological Society of America, Vol. 83, No. 5, 1574-1594.
- Lohonauman, R. (2016). *Geologi dan Studi Endapan Turbidit Formasi Halang Daerah Watuagung dan Sekitarnya Kecamatan Tambak Kabupaten Banyumas Jawa Tengah*. Jurnal. Bogor : UNPAK.
- Manzella, A. (1990). *Geophysical Methods in Geothermal Exploration*. Pisa, Italy: Italian National Research Council International Institute for Geothermal Research.

- Mirzaoglu, M and Dykmen. (2003). Application of Microtremors to Seismic Microzoning Procedure. *Journal of The Balkan Geophysical Society Vol. 6.*
- Motamed, R., Ghalandarzadeh, A., Tawhata, I. and Tabatabei, S.H. (2007). *Seismic Microzonation and Damage Assessment of Bam City*. Southern Iran :Journal of Earthquake Engineering. 11:1, 110-132.
- 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. (1997). *Seismic Vulnerability Indices for Ground and Structures Using Microtremor*. Florence: World Congress on Railway Research.
- Nakamura, Y. (2000). *Real Time Information Systems for Seismic Hazards Mitigation UrEDAS, HERAS and PIC*. Japan: Quarterly Report of RTRI, Vol. 37, No. 3, 112-127.
- Nakamura, Y. (2008). On The H/V Spectrum. *The 14th World Conference on Earthquake Engineering* :Beijing, China.
- Nakamura, Y., Sato, T., and Nishinaga, M. (2000). *Local Site Effect of Kobe Based on Microtremor Measurement*. Palm Springs California: Proceeding of the Sixth International Conference on Seismic Zonation EERI.
- Patimah. (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.

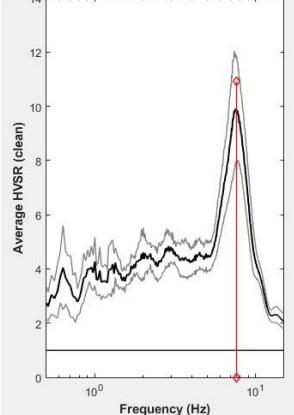
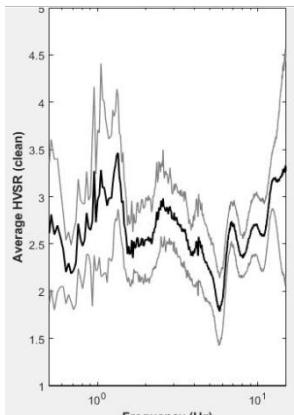
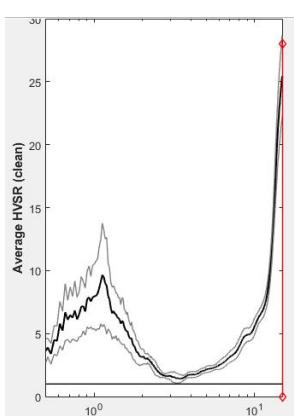
- Purnamasari, T. (2014). *Mikrozonasi Tingkat Potensi Risiko Bencana Gempabumi Di Wilayah Kabupaten Cilacap Berdasarkan Mikrotremor*. Jurnal. Yogyakarta : UGM.
- Purwasatriya, E. (2014). *Tinjauan Kembali Potensi Hidrokarbon Cekungan Banyumas Berdasarkan Data Geologi dan Data Geofisika*. Jurnal. Purwokerto : UNSOED.
- Saaduddin. (2015). *Pemetaan Indeks Kerentanan Seismik Kota Padang Sumatera Barat dan Korelasinya dengan Titik Kerusakan Gempabumi 30 September 2009*. Yogyakarta: Proceeding, Seminar Nasional Kebumian ke-8.
- SESAME. (2004). *Guidelines 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.
- Setyoajie. 2018. Gempabumi di Kecamatan Tambak berada di Desa Gebangsari. Diunduh pada 23 November 2018 . melalui: <https://radarbanyumas.co.id/gempa-27-skala-richter-guncangan-banyumas>.
- Sonjaya, Irman. (2008). *Pengenalan Gempabumi*. Yogyakarta: BMKG.
- Subramanian, N. (2008). *Design of Steel Structures: Appendix C Properties of Soil*. India: Oxford University Press.
- Telford, W. M., L. P. Geldart., R. E. Sheriff. (1990). *Applied Geophysics, Second Edition*. New York: Cambridge University Press.
- Telford, W. M., L. P. Geldart., R. E. Sheriff. (2004). *Applied Geophysics, Second Edition*. New York: Cambridge University Press.

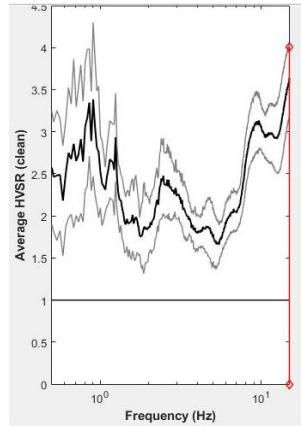
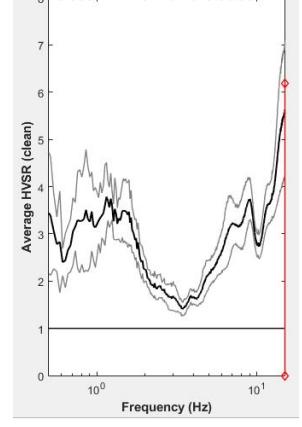
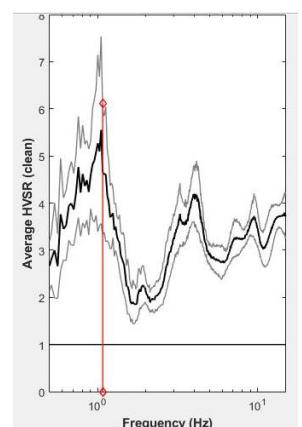
Wang, Z. (2008). *A technical note on seismic microzonation in the central United States*. Kentucky: Kentucky Geological Survey, University of Kentucky, pp. 1–8.

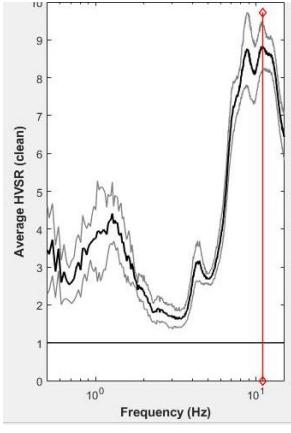
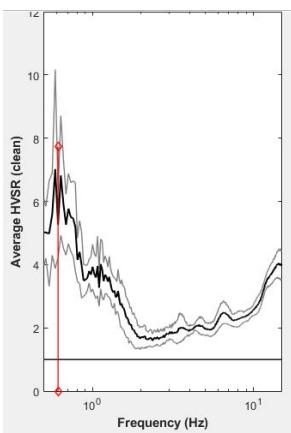
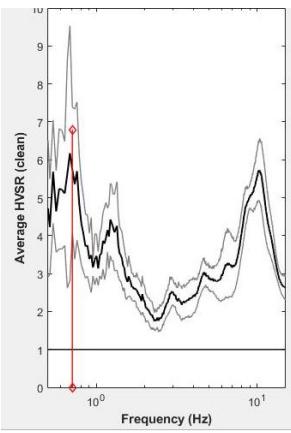
# **LAMPIRAN**

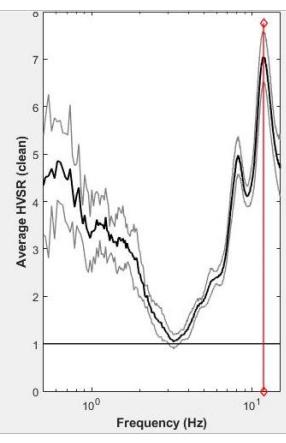
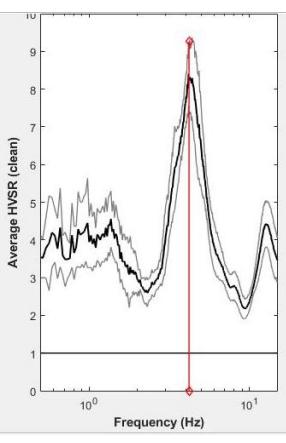
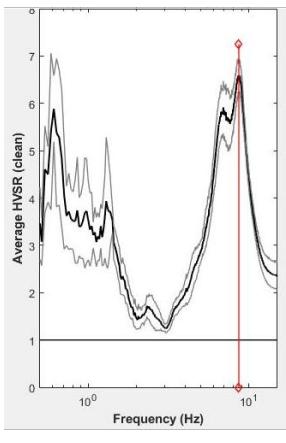
## Lampiran 1

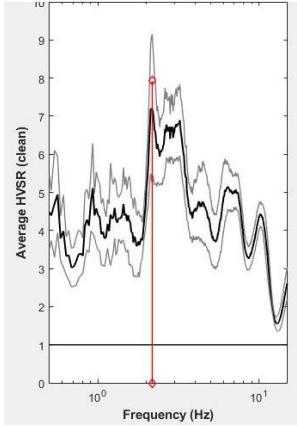
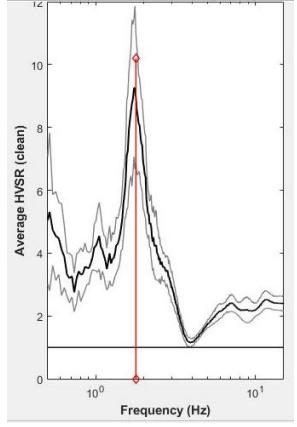
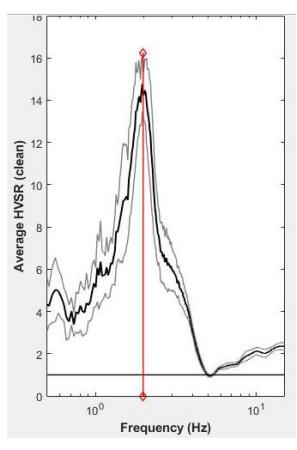
### Kriteria Kurva H/V

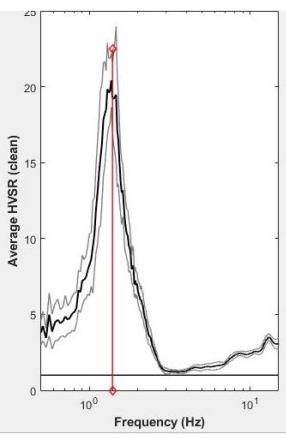
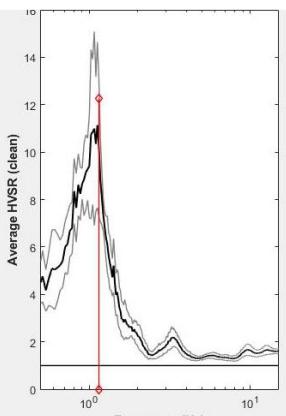
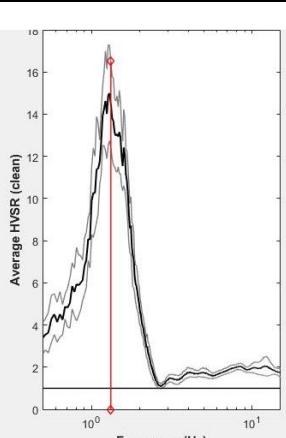
| Titik | Kurva HVSR  | Kriteria   |
|-------|---|--|
| A3    |    | $f_0 = 7,61$<br>$A = 9,92$<br><b>Kriteria Reliable</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Terpenuhi <math>7,61 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>1902,5 &gt; 200</math></li> <li>iii. Tidak Terpenuhi <math>2,436763 &gt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Tidak Terpenuhi <math>5,591563 &gt; 4,96</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>4,141492 &lt; 4,96</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>9,92 &gt; 2</math></li> <li>iv. Tidak Terpenuhi</li> <li>v. Terpenuhi <math>0,28873 &lt; 0,3805</math></li> <li>vi. Tidak Terpenuhi <math>2,436763 &gt; 1,58</math></li> </ul>       |
| A4    |   | $f_0 = 0,49$<br>$A = 4,09$<br><b>Kriteria Reliable</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Terpenuhi <math>0,49 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. Tidak Terpenuhi <math>122,5 &gt; 200</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>0,401328 &lt; 3</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Tidak Terpenuhi <math>3,258166 &gt; 2,045</math></li> <li>ii. Tidak Terpenuhi <math>2,721867 &gt; 2,045</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>4,09 &gt; 2</math></li> <li>iv. Tidak Terpenuhi</li> <li>v. Tidak Terpenuhi <math>0,154814 &gt; 0,098</math></li> <li>vi. Terpenuhi <math>0,401328 &lt; 2,5</math></li> </ul> |
| B4    |  | $f_0 = 14,98$<br>$A = 25,46$<br><b>Kriteria Reliable</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Terpenuhi <math>14,98 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>3745 &gt; 200</math></li> <li>iii. Tidak Terpenuhi <math>6,751051 &gt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Terpenuhi <math>7,513111 &lt; 12,73</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>0,143 &lt; 12,73</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>25,46 &gt; 2</math></li> <li>iv. Tidak Terpenuhi</li> <li>v. Terpenuhi <math>0,281684 &lt; 0,749</math></li> <li>vi. Tidak Terpenuhi <math>6,751051 &gt; 1,58</math></li> </ul>            |

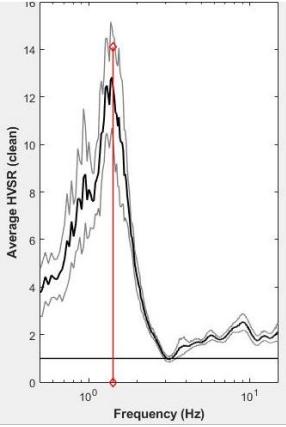
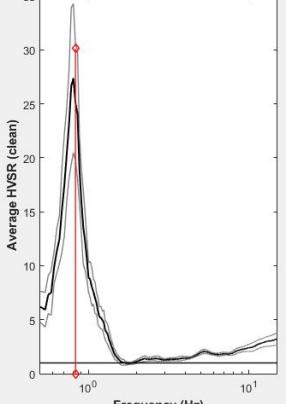
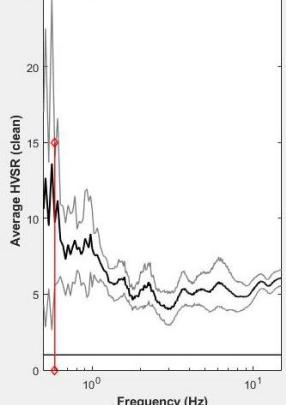
| Titik | Kurva HVSR  | Kriteria   |
|-------|---|--|
| B5    |    | $f_0 = 14,96$<br>$A = 3,64$<br><b>Kriteria Reliable</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Terpenuhi <math>14,96 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>3740 &gt; 200</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>0,260764 &lt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Tidak Terpenuhi <math>2,65107 &gt; 1,82</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>0,106 &lt; 1,82</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>3,64 &gt; 2</math></li> <li>iv. Tidak Terpenuhi</li> <li>v. Terpenuhi <math>0,281684 &lt; 0,748</math></li> <li>vi. Terpenuhi <math>0,260765 &lt; 1,58</math></li> </ul>                 |
| C3    |   | $f_0 = 14,98$<br>$A = 5,63$<br><b>Kriteria Reliable</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Terpenuhi <math>14,98 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>3745 &gt; 200</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>0,823938 &lt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Tidak Terpenuhi <math>3,353029 &gt; 2,185</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>0,189 &lt; 2,185</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>5,63 &gt; 2</math></li> <li>iv. Tidak Terpenuhi</li> <li>v. Terpenuhi <math>0,281684 &lt; 0,749</math></li> <li>vi. Terpenuhi <math>0,823938 &lt; 1,58</math></li> </ul>              |
| C4    |  | $f_0 = 1,07$<br>$A = 5,55$<br><b>Kriteria Reliable</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Terpenuhi <math>1,07 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>267,5 &gt; 200</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>1,115769 &lt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Tidak Terpenuhi <math>4,148372 &gt; 2,775</math></li> <li>ii. Tidak Terpenuhi <math>3,052354 &gt; 2,775</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>5,55 &gt; 2</math></li> <li>iv. Tidak Terpenuhi</li> <li>v. Tidak Terpenuhi <math>0,28873 &gt; 0,107</math></li> <li>vi. Terpenuhi <math>1,115769 &lt; 1,78</math></li> </ul> |

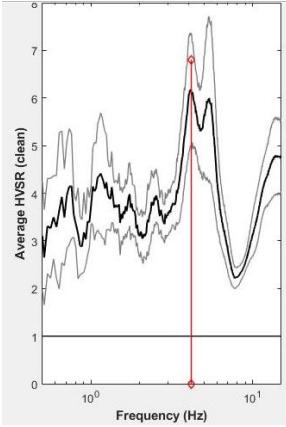
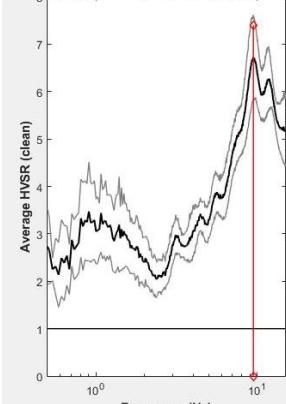
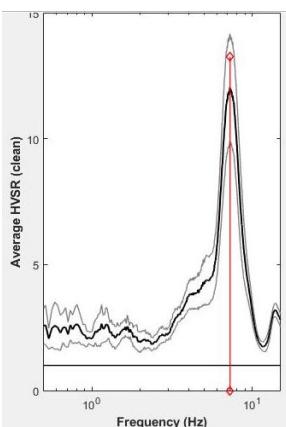
| Titik | Kurva HVSR  | Kriteria  |
|-------|---|---|
| C6    |    | $f_0 = 11,01$<br>$A = 8,84$<br><b>Kriteria Reliable</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Terpenuhi <math>11,01 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>2752,5 &gt; 200</math></li> <li>iii. Tidak Terpenuhi <math>2,663181 &gt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Tidak Terpenuhi <math>5,595007 &gt; 4,42</math></li> <li>ii. Tidak Terpenuhi <math>7,9218707 &gt; 4,42</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>8,84 &gt; 2</math></li> <li>iv. Tidak Terpenuhi</li> <li>v. Terpenuhi <math>0,28873 &lt; 0,5505</math></li> <li>vi. Tidak Terpenuhi <math>2,663181 &gt; 1,58</math></li> </ul> |
| D2    |   | $f_0 = 0,61$<br>$A = 7,02$<br><b>Kriteria Reliable</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Terpenuhi <math>0,61 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. Tidak Terpenuhi <math>152,5 &lt; 200</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>1,009494 &lt; 3</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Tidak Terpenuhi <math>5,477557 &gt; 3,51</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>2,930335 &lt; 3,51</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>7,02 &gt; 2</math></li> <li>iv. Tidak Terpenuhi</li> <li>v. Tidak Terpenuhi <math>0,15481 &gt; 0,0915</math></li> <li>vi. Terpenuhi <math>1,009494 &lt; 2</math></li> </ul>              |
| D3    |  | $f_0 = 0,71$<br>$A = 6,17$<br><b>Kriteria Reliable</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Terpenuhi <math>0,71 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. Tidak Terpenuhi <math>177,5 &lt; 200</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>0,805183 &lt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Tidak Terpenuhi <math>5,188545 &gt; 3,085</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>2,823155 &lt; 3,085</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>6,17 &gt; 2</math></li> <li>iv. Tidak Terpenuhi</li> <li>v. Tidak Terpenuhi <math>0,15814 &gt; 0,1065</math></li> <li>vi. Terpenuhi <math>0,805183 &lt; 2</math></li> </ul>            |

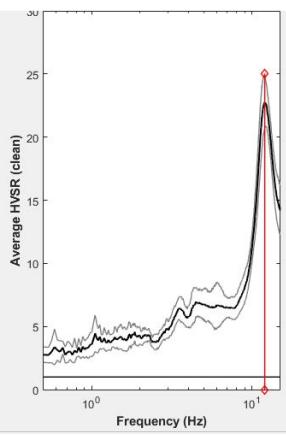
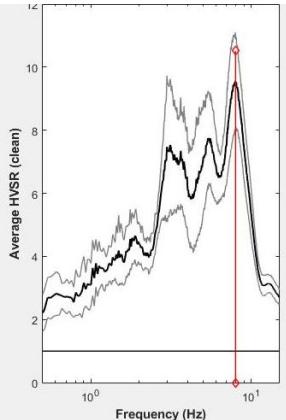
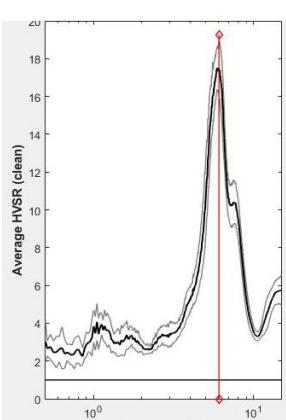
| Titik | Kurva HVSR  | Kriteria  |
|-------|---|---|
| D4    |    | $f_0 = 11,79$<br>$A = 7,05$<br><b>Kriteria Reliable</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Terpenuhi <math>11,79 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>2947,5 &gt; 200</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>1,288803 &lt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Tidak Terpenuhi <math>3,533 &gt; 3,525</math></li> <li>ii. Tidak Terpenuhi <math>5,759 &gt; 3,525</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>7,05 &gt; 2</math></li> <li>iv. Tidak Terpenuhi</li> <li>v. Terpenuhi <math>0,28873 &lt; 0,589</math></li> <li>vi. Terpenuhi <math>1,288803 &lt; 1,58</math></li> </ul> |
| D6    |   | $f_0 = 4,2$<br>$A = 8,41$<br><b>Kriteria Reliable</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Terpenuhi <math>4,2 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>1050 &gt; 200</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>1,849226 &lt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Tidak Terpenuhi <math>4,481 &gt; 4,205</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>3,749 &lt; 4,205</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>8,41 &gt; 2</math></li> <li>iv. Tidak Terpenuhi</li> <li>v. Tidak Terpenuhi <math>0,28873 &gt; 0,21</math></li> <li>vi. Tidak Terpenuhi <math>1,849226 &gt; 1,58</math></li> </ul>  |
| E4    |  | $f_0 = 8,66$<br>$A = 6,59$<br><b>Kriteria Reliable</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Terpenuhi <math>8,66 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>2165 &gt; 200</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>1,546829 &lt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Tidak Terpenuhi <math>3,700 &gt; 3,295</math></li> <li>ii. Tidak Terpenuhi <math>3,433 &gt; 3,295</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>6,59 &gt; 2</math></li> <li>iv. Tidak Terpenuhi</li> <li>v. Terpenuhi <math>0,28873 &lt; 0,433</math></li> <li>vi. Terpenuhi <math>1,546829 &lt; 1,58</math></li> </ul>     |

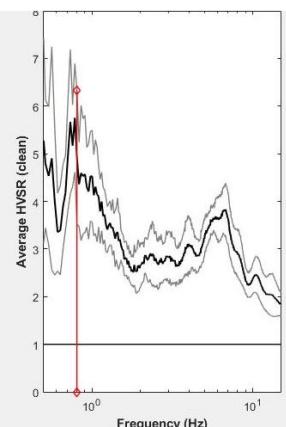
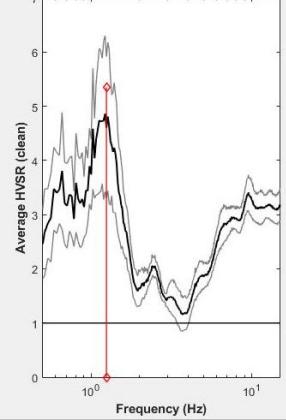
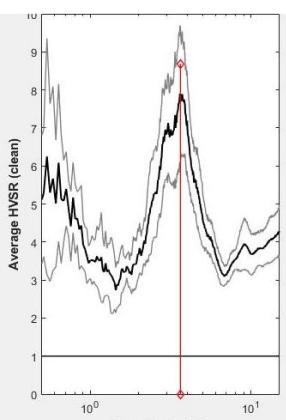
| Titik | Kurva HVSR  | Kriteria  |
|-------|---|---|
| E6    |    | $f_0 = 2,17$<br>$A = 7,2$<br><b>Kriteria Reliable</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Terpenuhi <math>2,17 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>542,5 &gt; 200</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>1,114234 &lt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Tidak Terpenuhi <math>4,277635 &gt; 3,6</math></li> <li>ii. Tidak Terpenuhi <math>4,851821 &gt; 3,6</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>7,2 &gt; 2</math></li> <li>iv. Tidak Terpenuhi</li> <li>v. Tidak Terpenuhi <math>0,28873 &gt; 0,1085</math></li> <li>vi. Terpenuhi <math>1,114234 &lt; 1,58</math></li> </ul>       |
| F2    |   | $f_0 = 1,78$<br>$A = 9,26$<br><b>Kriteria Reliable</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Terpenuhi <math>1,78 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>445 &gt; 200</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>1,998542 &lt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Tidak Terpenuhi <math>4,857758 &gt; 4,63</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>2,547647 &lt; 4,63</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>9,26 &gt; 2</math></li> <li>iv. Tidak Terpenuhi</li> <li>v. Tidak Terpenuhi <math>0,28873 &gt; 0,178</math></li> <li>vi. Tidak Terpenuhi <math>1,998542 &gt; 1,78</math></li> </ul>      |
| F4    |  | $f_0 = 1,98$<br>$A = 14,77$<br><b>Kriteria Reliable</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Terpenuhi <math>1,98 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>495 &gt; 200</math></li> <li>iii. Tidak Terpenuhi <math>3,2398 &gt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Tidak Terpenuhi <math>7,755406 &gt; 7,385</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>3,24883 &lt; 7,385</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>14,77 &gt; 2</math></li> <li>iv. Tidak Terpenuhi</li> <li>v. Tidak Terpenuhi <math>0,28873 &gt; 0,198</math></li> <li>vi. Tidak Terpenuhi <math>3,2398 &gt; 1,78</math></li> </ul> |

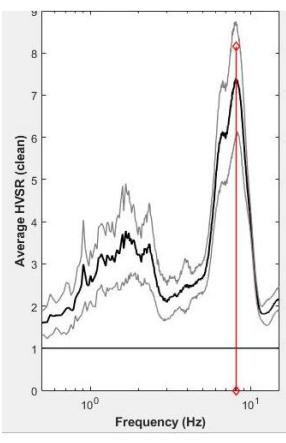
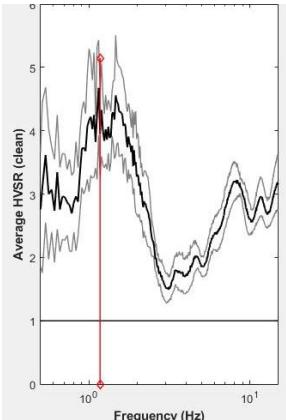
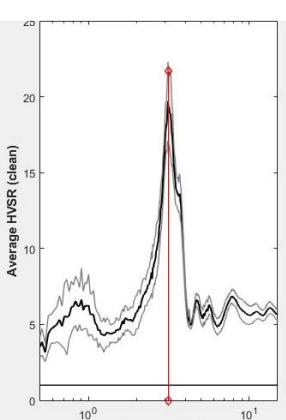
| Titik | Kurva HVSR  | Kriteria   |
|-------|---|--|
| F6    |    | $f_0 = 1,39$<br>$A = 20,43$<br><b>Kriteria Reliable</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Terpenuhi <math>1,39 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>347,5 &gt; 200</math></li> <li>iii. Tidak Terpenuhi <math>5,552 &gt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Terpenuhi <math>9,396073 &lt; 10,215</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>3,389687 &lt; 10,215</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>20,43 &gt; 2</math></li> <li>iv. Tidak Terpenuhi</li> <li>v. Tidak Terpenuhi <math>0,28873 &gt; 0,139</math></li> <li>vi. Tidak Terpenuhi <math>5,552 &gt; 1,78</math></li> </ul>       |
| G4    |   | $f_0 = 1,15$<br>$A = 11,14$<br><b>Kriteria Reliable</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Terpenuhi <math>1,15 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>287,5 &gt; 200</math></li> <li>iii. Tidak Terpenuhi <math>2,89456 &gt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Tidak Terpenuhi <math>7,529144 &gt; 5,57</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>2,268375 &lt; 5,57</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>11,14 &gt; 2</math></li> <li>iv. Tidak Terpenuhi</li> <li>v. Tidak Terpenuhi <math>0,28873 &gt; 0,115</math></li> <li>vi. Tidak Terpenuhi <math>2,89456 &gt; 1,78</math></li> </ul> |
| G6    |  | $f_0 = 1,32$<br>$A = 15$<br><b>Kriteria Reliable</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Terpenuhi <math>1,32 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>330 &gt; 200</math></li> <li>iii. Tidak Terpenuhi <math>4,448132 &gt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Tidak Terpenuhi <math>8,1766 &gt; 7,5</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>3,124266 &lt; 7,5</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>15 &gt; 2</math></li> <li>iv. Tidak Terpenuhi</li> <li>v. Tidak Terpenuhi <math>0,28873 &gt; 0,132</math></li> <li>vi. Tidak Terpenuhi <math>4,448132 &gt; 1,78</math></li> </ul>           |

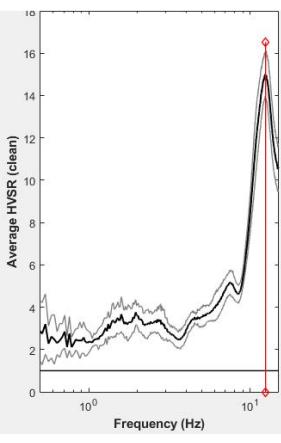
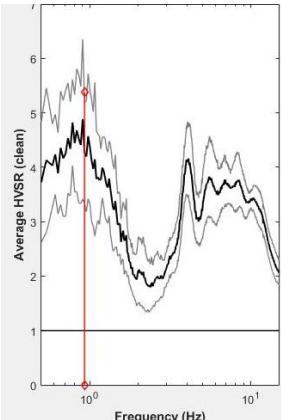
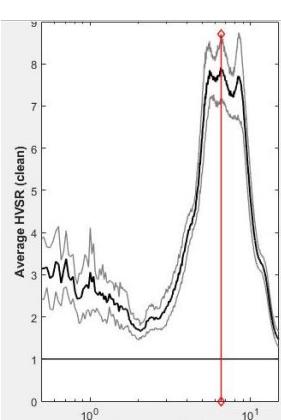
| Titik | Kurva HVSR  | Kriteria  |
|-------|---|---|
| H2    |  <p>Average HVSR (clean)</p> <p>Frequency (Hz)</p>   | $f_0 = 1,42$<br>$A = 12,82$<br><b>Kriteria Reliable</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Terpenuhi <math>1,42 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>355 &gt; 200</math></li> <li>iii. Tidak Terpenuhi <math>3,597905 &gt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Tidak Terpenuhi <math>7,825033 &gt; 6,41</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>2,583819 &lt; 6,41</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>12,82 &gt; 2</math></li> <li>iv. Tidak Terpenuhi</li> <li>v. Tidak Terpenuhi <math>0,28873 &gt; 0,142</math></li> <li>vi. Tidak Terpenuhi <math>3,597905 &gt; 1,78</math></li> </ul>    |
| H4    |  <p>Average HVSR (clean)</p> <p>Frequency (Hz)</p>  | $f_0 = 0,83$<br>$A = 27, 38$<br><b>Kriteria Reliable</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Terpenuhi <math>0,83 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>207,5 &gt; 200</math></li> <li>iii. Tidak Terpenuhi <math>7,364725 &gt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Tidak Terpenuhi <math>14,29497 &gt; 13,69</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>2,849679 &lt; 13,69</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>27,38 &gt; 2</math></li> <li>iv. Tidak Terpenuhi</li> <li>v. Tidak Terpenuhi <math>0,15481 &gt; 0,1245</math></li> <li>vi. Tidak Terpenuhi <math>7,364725 &gt; 2</math></li> </ul> |
| T3    |  <p>Average HVSR (clean)</p> <p>Frequency (Hz)</p> | $f_0 = 0,59$<br>$A = 13,62$<br><b>Kriteria Reliable</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Terpenuhi <math>0,59 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. Tidak Terpenuhi <math>147,5 &lt; 200</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>1,770426 &lt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Tidak Terpenuhi <math>11,27854 &gt; 6,81</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>6,328073 &lt; 6,81</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>13,62 &gt; 2</math></li> <li>iv. Tidak Terpenuhi</li> <li>v. Tidak Terpenuhi <math>0,15481 &gt; 0,0885</math></li> <li>vi. Terpenuhi <math>1,770426 &lt; 2</math></li> </ul>          |

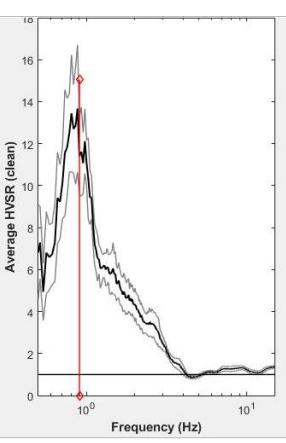
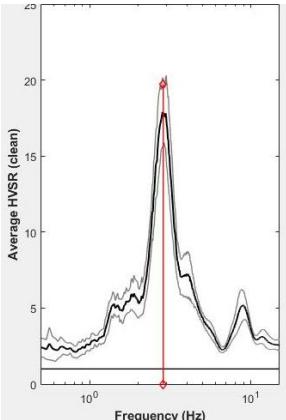
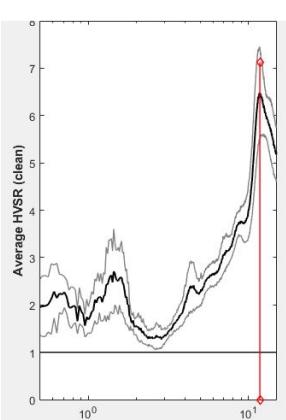
| Titik | Kurva HVSR  | Kriteria   |
|-------|---|--|
| T5    |    | $f_0 = 4,17$<br>$A = 6,18$<br><b>Kriteria Reliable</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Terpenuhi <math>4,17 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>1042,5 &gt; 2</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>1,29624 &lt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Tidak Terpenuhi <math>4,028647 &gt; 3,09</math></li> <li>ii. Tidak Terpenuhi <math>3,933359 &gt; 3,09</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>6,18 &gt; 2</math></li> <li>iv. Tidak Terpenuhi</li> <li>v. Tidak Terpenuhi <math>0,28873 &gt; 0,2085</math></li> <li>vi. Terpenuhi <math>1,29624 &lt; 1,58</math></li> </ul> |
| T6    |   | $f_0 = 9,47$<br>$A = 6,73$<br><b>Kriteria Reliable</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Terpenuhi <math>9,47 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>2367,5 &gt; 200</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>0,944011 &lt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Tidak Terpenuhi <math>4,106174 &gt; 3,365</math></li> <li>ii. Tidak Terpenuhi <math>5,815243 &gt; 3,365</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>6,37 &gt; 2</math></li> <li>iv. Tidak Terpenuhi</li> <li>v. Terpenuhi <math>0,28873 &lt; 0,4735</math></li> <li>vi. Terpenuhi <math>0,944011 &lt; 1,58</math></li> </ul> |
| T7    |  | $f_0 = 7,27$<br>$A = 12,04$<br><b>Kriteria Reliable</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Terpenuhi <math>7,27 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>1817,5 &gt; 200</math></li> <li>iii. Tidak Terpenuhi <math>3,048019 &gt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Terpenuhi <math>4,765514 &lt; 6,02</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>4,103882 &lt; 6,02</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>12,04 &gt; 2</math></li> <li>iv. Tidak Terpenuhi</li> <li>v. Terpenuhi <math>0,28873 &lt; 0,3635</math></li> <li>vi. Tidak Terpenuhi <math>3,048019 &gt; 1,58</math></li> </ul> |

| Titik | Kurva HVSR  | Kriteria  |
|-------|---|---|
| T8    |    | $f_0 = 12,03$<br>$A = 22,76$<br><b>Kriteria Reliable</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Terpenuhi <math>12,03 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>3007,5 &gt; 200</math></li> <li>iii. Tidak Terpenuhi <math>5,852214 &gt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Terpenuhi <math>9,350799 &lt; 11,38</math></li> <li>ii. Tidak Terpenuhi <math>18,0959 &gt; 11,38</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>22,76 &gt; 2</math></li> <li>iv. Tidak Terpenuhi</li> <li>v. Terpenuhi <math>0,28873 &lt; 0,6015</math></li> <li>vi. Tidak Terpenuhi <math>5,852214 &gt; 1,58</math></li> </ul> |
| TB1   |   | $f_0 = 7,98$<br>$A = 9,56$<br><b>Kriteria Reliable</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Terpenuhi <math>7,98 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>1995 &gt; 200</math></li> <li>iii. Tidak Terpenuhi <math>2,226409 &gt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Tidak Terpenuhi <math>6,891423 &gt; 4,78</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>4,533453 &lt; 4,78</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>9,56 &gt; 2</math></li> <li>iv. Tidak Terpenuhi</li> <li>v. Tidak Terpenuhi <math>0,28873 &gt; 0,399</math></li> <li>vi. Terpenuhi <math>2,226409 &lt; 1,58</math></li> </ul>         |
| TB2   |  | $f_0 = 6,08$<br>$A = 17,52$<br><b>Kriteria Reliable</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Terpenuhi <math>6,08 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>1520 &gt; 200</math></li> <li>iii. Tidak Terpenuhi <math>4,40917 &gt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Terpenuhi <math>7,010113 &lt; 8,76</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>6,503425 &lt; 8,76</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>17,52 &gt; 2</math></li> <li>iv. Tidak Terpenuhi</li> <li>v. Terpenuhi <math>0,28873 &lt; 0,304</math></li> <li>vi. Tidak Terpenuhi <math>4,40917 &gt; 1,58</math></li> </ul>               |

| Titik | Kurva HVSR  | Kriteria   |
|-------|---|--|
| TB3   |    | $f_0 = 0,81$<br>$A = 5,76$<br><b>Kriteria Reliable</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Terpenuhi <math>0,81 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>202,5 &gt; 200</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>0,761605 &lt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Tidak Terpenuhi <math>4,640125 &gt; 2,88</math></li> <li>ii. Tidak Terpenuhi <math>3,068997 &gt; 2,88</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>5,76 &gt; 2</math></li> <li>iv. Tidak Terpenuhi</li> <li>v. Terpenuhi <math>0,027282 &lt; 0,1215</math></li> <li>vi. Terpenuhi <math>0,761605 &lt; 2</math></li> </ul>    |
| TB4   |   | $f_0 = 1,24$<br>$A = 4,86$<br><b>Kriteria Reliable</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Terpenuhi <math>1,24 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>310 &gt; 200</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>1,079879 &lt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Tidak Terpenuhi <math>3,612806 &gt; 2,43</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>1,83234 &lt; 2,43</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>4,86 &gt; 2</math></li> <li>iv. Tidak Terpenuhi</li> <li>v. Tidak Terpenuhi <math>0,28873 &gt; 0,124</math></li> <li>vi. Terpenuhi <math>1,079879 &lt; 1,78</math></li> </ul>      |
| TB5   |  | $f_0 = 3,64$<br>$A = 7,9$<br><b>Kriteria Reliable</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Terpenuhi <math>3,64 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>910 &gt; 200</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>1,515234 &lt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Tidak Terpenuhi <math>4,906317 &gt; 3,95</math></li> <li>ii. Tidak Terpenuhi <math>4,087252 &gt; 3,95</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>7,9 &gt; 2</math></li> <li>iv. Tidak Terpenuhi</li> <li>v. Tidak Terpenuhi <math>0,28873 &gt; 0,182</math></li> <li>vi. Terpenuhi <math>1,515234 &lt; 1,58</math></li> </ul> |

| Titik | Kurva HVSR  | Kriteria  |
|-------|---|---|
| TB6   |    | $f_0 = 8,1$<br>$A = 7,41$<br><b>Kriteria Reliable</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Terpenuhi <math>8,1 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>2025 &gt; 200</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>1,935489 &lt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Tidak Terpenuhi <math>4,00300 &gt; 3,705</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>3,158908 &lt; 3,075</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>7,41 &gt; 2</math></li> <li>iv. Tidak Terpenuhi</li> <li>v. Terpenuhi <math>0,28873 &lt; 0,405</math></li> <li>vi. Tidak Terpenuhi <math>1,935489 &gt; 1,58</math></li> </ul>          |
| TB7   |   | $f_0 = 1,17$<br>$A = 4,68$<br><b>Kriteria Reliable</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Terpenuhi <math>1,17 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>292,5 &gt; 200</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>0,574084 &lt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Tidak Terpenuhi <math>3,413792 &gt; 2,34</math></li> <li>ii. Tidak Terpenuhi <math>2,672046 &gt; 2,34</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>4,68 &gt; 2</math></li> <li>iv. Tidak Terpenuhi</li> <li>v. Tidak Terpenuhi <math>0,28873 &gt; 0,117</math></li> <li>vi. Terpenuhi <math>0,574084 &lt; 1,78</math></li> </ul>  |
| TB8   |  | $f_0 = 3,15$<br>$A = 19,7$<br><b>Kriteria Reliable</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Terpenuhi <math>3,15 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>787,5 &gt; 200</math></li> <li>iii. Tidak Terpenuhi <math>4,155923 &gt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Terpenuhi <math>7,770919 &lt; 9,85</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>6,563458 &lt; 9,85</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>19,7 &gt; 2</math></li> <li>iv. Tidak Terpenuhi</li> <li>v. Tidak Terpenuhi <math>0,28873 &gt; 0,1575</math></li> <li>vi. Tidak Terpenuhi <math>4,155923 &gt; 1,58</math></li> </ul> |

| Titik | Kurva HVSR  | Kriteria   |
|-------|---|--|
| TB9   |    | $f_0 = 12,47$<br>$A = 15,02$<br><b>Kriteria Reliable</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Terpenuhi <math>12,47 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>3117,5 &gt; 200</math></li> <li>iii. Tidak Terpenuhi <math>3,866355 &gt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Terpenuhi <math>6,535203 &lt; 7,51</math></li> <li>ii. Tidak Terpenuhi <math>12,54366 &gt; 7,51</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>15,02 &gt; 2</math></li> <li>iv. Tidak Terpenuhi</li> <li>v. Terpenuhi <math>0,28873 &lt; 0,6235</math></li> <li>vi. Tidak Terpenuhi <math>3,866355 &gt; 1,58</math></li> </ul> |
| TB10  |   | $f_0 = 0,93$<br>$A = 4,89$<br><b>Kriteria Reliable</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Terpenuhi <math>0,93 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>232,5 &gt; 200</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>0,76829 &lt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Tidak Terpenuhi <math>4,307137 &gt; 2,445</math></li> <li>ii. Tidak Terpenuhi <math>2,554786 &gt; 2,445</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>4,89 &gt; 2</math></li> <li>iv. Tidak Terpenuhi</li> <li>v. Tidak Terpenuhi <math>0,15481 &gt; 0,1395</math></li> <li>vi. Terpenuhi <math>0,76829 &lt; 2</math></li> </ul>         |
| TB11  |  | $f_0 = 6,56$<br>$A = 7,91$<br><b>Kriteria Reliable</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Terpenuhi <math>6,56 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>1640 &gt; 200</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>1,93599 &lt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Tidak Terpenuhi <math>4,477049 &gt; 3,955</math></li> <li>ii. Tidak Terpenuhi <math>4,522699 &gt; 3,955</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>7,91 &gt; 2</math></li> <li>iv. Tidak Terpenuhi</li> <li>v. Terpenuhi <math>0,28873 &lt; 0,328</math></li> <li>vi. Tidak Terpenuhi <math>1,93599 &gt; 1,58</math></li> </ul>        |

| Titik | Kurva HVSR  | Kriteria   |
|-------|---|--|
| TB12  |    | $f_0 = 0,9$<br>$A = 13,68$<br><b>Kriteria Reliable</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Terpenuhi <math>0,9 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>225 &gt; 200</math></li> <li>iii. Tidak Terpenuhi <math>2,715563 &gt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Tidak Terpenuhi <math>9,462396 &gt; 6,84</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>4,252 &lt; 6,84</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>13,68 &gt; 2</math></li> <li>iv. Tidak Terpenuhi</li> <li>v. Tidak Terpenuhi <math>0,154814 &gt; 0,135</math></li> <li>vi. Tidak Terpenuhi <math>2,715563 &lt; 2</math></li> </ul>    |
| TB13  |   | $f_0 = 2,86$<br>$A = 17,91$<br><b>Kriteria Reliable</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Terpenuhi <math>2,86 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>715 &gt; 200</math></li> <li>iii. Tidak Terpenuhi <math>4,170684 &gt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Terpenuhi <math>6,895744 &lt; 8,955</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>4,783879 &lt; 8,955</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>17,91 &gt; 2</math></li> <li>iv. Tidak Terpenuhi</li> <li>v. Tidak Terpenuhi <math>0,28873 &gt; 0,143</math></li> <li>vi. Tidak Terpenuhi <math>4,170684 &gt; 1,58</math></li> </ul> |
| TB14  |  | $f_0 = 11,79$<br>$A = 6,48$<br><b>Kriteria Reliable</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Terpenuhi <math>11,79 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>2947,5 &gt; 200</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>1,279707 &lt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Tidak Terpenuhi <math>3,316997 &gt; 3,24</math></li> <li>ii. Tidak Terpenuhi <math>5,82294 &gt; 3,24</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>6,48 &gt; 2</math></li> <li>iv. Tidak Terpenuhi</li> <li>v. Terpenuhi <math>0,28873 &lt; 0,5895</math></li> <li>vi. Terpenuhi <math>1,279707 &lt; 1,58</math></li> </ul>      |

| No  | Kriteria untuk Kurva HVSR yang <i>Reliable</i>  |
|-----|---|
| i   | $f_0 > \frac{10}{l_w}$  |
| ii  | $n_c(f_0) > 200$  |
| iii | $\sigma A(f) < 2 \text{ for } 0,5f_0 < f < 2f_0 \text{ if } f_0 > 0,5\text{Hz}$<br>Or $\sigma A(f) < 3 \text{ for } 0,5f_0 < f < 2f_0 \text{ if } f_0 < 0,5\text{Hz}$ |
| No  | Kriteria untuk Kurva HVSR yang <i>Clear Peak</i>  |
| I   | $\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$  |
| ii  | $\exists f^- \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$   |
| iii | $A_0 > 2$   |
| iv  | $f_{peak} \left[ A_{\frac{H}{V}}(f) \pm \sigma A(f) \right] = f_0 \pm 5\%$  |
| v   | $\sigma f < \varepsilon(f_0)$   |
| vi  | $\sigma A(f_0) < \theta(f_0)$   |

**Lampiran 2**  
**Hasil Kriteria Kurva Reliabel dan Kurva *Clear Peak* berdasarkan**  
***SESAME European Research Project***

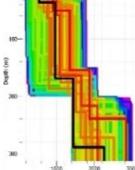
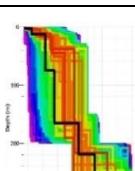
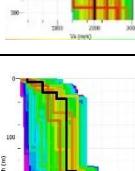
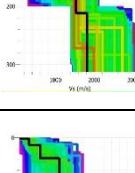
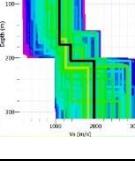
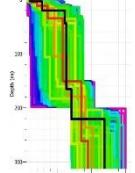
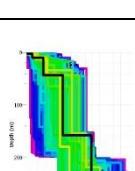
| Titik Data | $f_0$ (Hz) | $A_0$ | $n_w$ | Kriteria Reliabel |    |     | Kriteria <i>Clear Peak</i> |    |     |    |   |    |
|------------|------------|-------|-------|-------------------|----|-----|----------------------------|----|-----|----|---|----|
|            |            |       |       | I                 | II | III | i                          | ii | III | IV | V | VI |
| A3         | 7,61       | 9,92  | 10    | v                 | v  | x   | x                          | v  | v   | x  | v | x  |
| A4         | 0,49       | 4,09  | 10    | v                 | x  | v   | x                          | x  | v   | x  | x | v  |
| B4         | 14,98      | 25,46 | 10    | v                 | v  | x   | v                          | v  | v   | x  | v | x  |
| B5         | 14,96      | 3,64  | 10    | v                 | v  | v   | x                          | v  | v   | x  | v | v  |
| C3         | 14,98      | 5,63  | 10    | v                 | v  | v   | x                          | v  | v   | x  | v | v  |
| C4         | 1,07       | 5,55  | 10    | v                 | v  | v   | x                          | x  | v   | x  | x | v  |
| C6         | 11,01      | 8,84  | 10    | v                 | v  | x   | x                          | x  | v   | x  | v | x  |
| D2         | 0,61       | 7,02  | 10    | v                 | x  | v   | x                          | v  | v   | x  | x | v  |
| D3         | 0,71       | 6,17  | 10    | v                 | x  | v   | x                          | v  | v   | x  | x | v  |
| D4         | 11,79      | 7,05  | 10    | v                 | v  | v   | x                          | x  | v   | x  | v | v  |
| D6         | 4,2        | 8,41  | 10    | v                 | v  | v   | x                          | v  | v   | x  | x | x  |
| E4         | 8,66       | 6,59  | 10    | v                 | v  | v   | x                          | x  | v   | x  | v | v  |
| E6         | 2,17       | 7,2   | 10    | v                 | v  | v   | x                          | x  | v   | x  | x | v  |
| F2         | 1,78       | 9,26  | 10    | v                 | v  | v   | x                          | v  | v   | x  | x | x  |
| F4         | 1,98       | 14,77 | 10    | v                 | v  | x   | x                          | v  | v   | x  | x | x  |
| F6         | 1,39       | 20,43 | 10    | v                 | v  | x   | v                          | v  | v   | x  | x | x  |
| G4         | 1,15       | 11,14 | 10    | v                 | v  | x   | x                          | v  | v   | x  | x | x  |
| G6         | 1,32       | 15    | 10    | v                 | v  | x   | x                          | v  | v   | x  | x | x  |
| H2         | 1,42       | 12,82 | 10    | v                 | v  | x   | x                          | v  | v   | x  | x | x  |
| H4         | 0,83       | 27,38 | 10    | v                 | v  | x   | x                          | v  | v   | x  | x | x  |
| T3         | 0,59       | 13,62 | 10    | v                 | x  | v   | x                          | v  | v   | x  | x | v  |
| T5         | 4,17       | 6,18  | 10    | v                 | v  | v   | x                          | x  | v   | x  | x | v  |
| T6         | 9,47       | 6,73  | 10    | v                 | v  | v   | x                          | x  | v   | x  | v | v  |
| T7         | 7,27       | 12,04 | 10    | v                 | v  | x   | v                          | v  | v   | x  | v | x  |
| T8         | 12,03      | 22,76 | 10    | v                 | v  | x   | v                          | x  | v   | x  | v | x  |
| TB1        | 7,98       | 9,56  | 10    | v                 | v  | x   | x                          | v  | v   | x  | v | x  |
| TB2        | 6,08       | 17,52 | 10    | v                 | v  | x   | v                          | v  | v   | x  | v | x  |
| TB3        | 0,81       | 5,76  | 10    | v                 | v  | v   | x                          | x  | v   | x  | v | v  |
| TB4        | 1,24       | 4,86  | 10    | v                 | v  | v   | x                          | v  | v   | x  | x | v  |
| TB5        | 3,64       | 7,9   | 10    | v                 | v  | v   | x                          | x  | v   | x  | x | v  |
| TB6        | 8,1        | 7,41  | 10    | v                 | v  | v   | x                          | v  | v   | x  | v | x  |
| TB7        | 1,17       | 4,68  | 10    | v                 | v  | v   | x                          | x  | v   | x  | x | v  |
| TB8        | 3,15       | 19,7  | 10    | v                 | v  | x   | v                          | v  | v   | x  | x | x  |
| TB9        | 12,47      | 15,02 | 10    | v                 | v  | x   | v                          | x  | v   | x  | v | x  |
| TB10       | 0,93       | 4,89  | 10    | v                 | v  | v   | x                          | x  | v   | x  | x | v  |
| TB11       | 6,56       | 7,91  | 10    | v                 | v  | v   | x                          | x  | v   | x  | v | x  |
| TB12       | 0,9        | 13,68 | 10    | v                 | v  | x   | x                          | v  | v   | x  | x | x  |
| TB13       | 2,86       | 17,91 | 10    | v                 | v  | x   | v                          | v  | v   | x  | x | x  |
| TB14       | 11,79      | 6,48  | 10    | v                 | v  | v   | x                          | x  | v   | x  | v | v  |

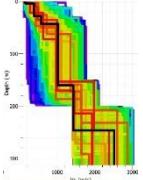
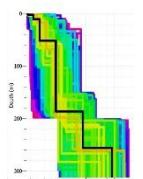
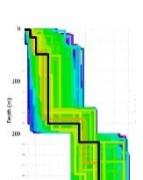
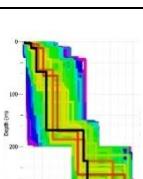
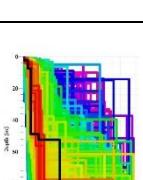
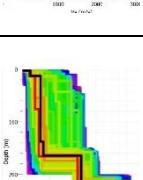
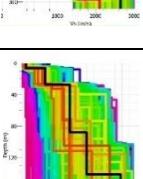
Tanda (v) menunjukkan bahwa syarat terpenuhi dan tanda (x) menunjukkan bahwa syarat tidak terpenuhi.

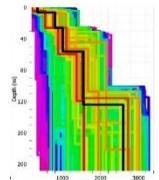
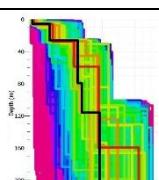
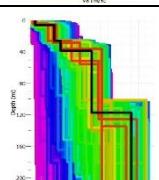
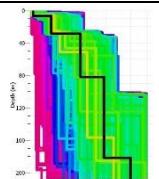
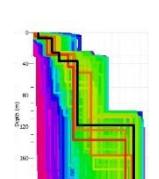
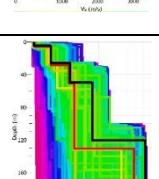
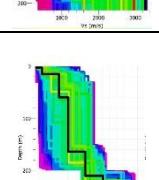
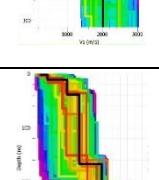
### Lampiran 3

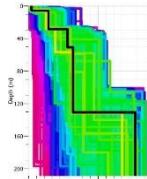
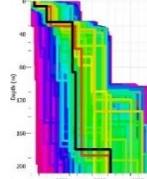
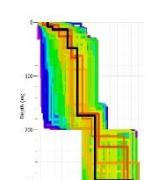
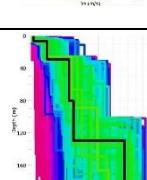
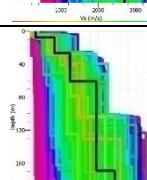
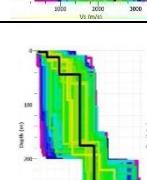
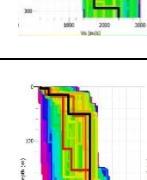
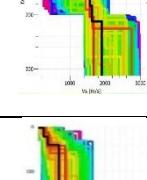
#### Hasil Analisis Nilai *Shear-wave Velocity* ( $v_s$ ) dengan *Dinver*

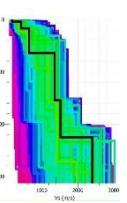
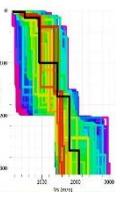
| Titik | Formasi | <i>Misfit</i> | Gambar | $v_s$ (m/s) | Kedalaman (m) | Jenis   |
|-------|---------|---------------|--------|-------------|---------------|---------|
| A3    | Halang  | 0,275         |        | 286,20      | 5,39          | Sedimen |
|       |         |               |        | 761,13      | 26,52         |         |
|       |         |               |        | 750,25      | 37,63         |         |
|       |         |               |        | 1799,56     | 128,23        | Bedrock |
|       |         |               |        | 2814,29     | 208,54        |         |
|       |         | 0,148         |        | 262,63      | 4,61          | Sedimen |
| A4    | Halang  |               |        | 763,80      | 25,65         |         |
|       |         |               |        | 793,27      | 32,62         |         |
|       |         |               |        | 1334,73     | 121,97        | Bedrock |
|       |         |               |        | 2955,35     | 208,54        |         |
|       |         | 0,231         |        | 117,86      | 2,21          | Sedimen |
| B4    | Halang  |               |        | 386,24      | 11,07         |         |
|       |         |               |        | 763,79      | 39,48         |         |
|       |         |               |        | 829,51      | 168,93        | Bedrock |
|       |         |               |        | 1359,33     | 269,41        |         |
|       |         |               |        | 2239,31     | 312,53        |         |
| B5    | Halang  | 0,143         |        | 170,82      | 2,24          | Sedimen |
|       |         |               |        | 455,68      | 12,49         |         |
|       |         |               |        | 993,70      | 61,96         |         |
|       |         |               |        | 1363,60     | 170,61        | Bedrock |
|       |         |               |        | 1641,12     | 216,68        |         |
|       |         |               |        | 2709,05     | 312,17        |         |
| C3    | Halang  | 0,163         |        | 103,39      | 2,21          | Sedimen |
|       |         |               |        | 321,01      | 12,89         |         |
|       |         |               |        | 597,97      | 46,34         |         |
|       |         |               |        | 953,79      | 165,69        | Bedrock |
|       |         |               |        | 1674,37     | 264,20        |         |
|       |         |               |        | 2779,23     | 312,53        |         |
| C4    | Halang  | 0,184         |        | 144,62      | 3,14          | Sedimen |
|       |         |               |        | 372,35      | 12,62         |         |
|       |         |               |        | 668,77      | 51,29         |         |
|       |         |               |        | 1433,07     | 156,14        | Bedrock |
|       |         |               |        | 1676,35     | 269,62        |         |
|       |         |               |        | 2170,13     | 312,07        |         |
| C6    | Halang  | 0,232         |        | 185,85      | 3,36          | Sedimen |
|       |         |               |        | 500,15      | 16,75         |         |
|       |         |               |        | 908,27      | 35,50         |         |
|       |         |               |        | 1373,29     | 162,25        |         |

|    |          |       |   |         |        |          |
|----|----------|-------|---|---------|--------|----------|
|    |          |       |   |         |        | Bedrock  |
|    |          |       |   | 1596,25 | 261,48 |          |
|    |          |       |   | 1944,09 | 312,51 |          |
| D2 | Halang   | 0,174 |    | 224,69  | 5,39   | Sediment |
|    |          |       |   | 519,56  | 12,00  |          |
|    |          |       |   | 546,92  | 36,16  |          |
|    |          |       |   | 976,27  | 169,03 | Bedrock  |
|    |          |       |   | 1441,74 | 288,80 |          |
|    |          |       |   | 2254,84 | 312,39 |          |
|    |          |       |   |         |        |          |
| D3 | Halang   | 0,177 |    | 134,36  | 2,78   | Sediment |
|    |          |       |   | 308,23  | 12,45  |          |
|    |          |       |   | 672,74  | 74,89  |          |
|    |          |       |   | 924,24  | 165,73 | Bedrock  |
|    |          |       |   | 1575,43 | 218,62 |          |
|    |          |       |   | 2001,00 | 312,58 |          |
|    |          |       |   |         |        |          |
| D4 | Halang   | 0,179 |   | 281,09  | 5,79   | Sediment |
|    |          |       |   | 668,37  | 23,85  |          |
|    |          |       |   | 1029,24 | 34,74  | Bedrock  |
|    |          |       |   | 1282,75 | 159,28 |          |
|    |          |       |   | 1530,85 | 212,16 | Sediment |
|    |          |       |   | 1815,03 | 312,40 |          |
|    |          |       |   |         |        |          |
| D6 | Alluvium | 0,263 |  | 106,62  | 2,43   | Sediment |
|    |          |       |   | 337,83  | 13,42  |          |
|    |          |       |   | 611,72  | 38,17  | Bedrock  |
|    |          |       |   | 1093,69 | 175,87 |          |
|    |          |       |   | 1376,47 | 205,97 | Sediment |
|    |          |       |   | 1964,80 | 312,50 |          |
|    |          |       |   |         |        |          |
| E4 | Alluvium | 0,191 |  | 187,57  | 2,94   | Sediment |
|    |          |       |   | 548,31  | 20,02  |          |
|    |          |       |   | 1221,30 | 43,70  | Bedrock  |
|    |          |       |   | 1260,47 | 165,68 |          |
|    |          |       |   | 1413,58 | 220,91 | Sediment |
|    |          |       |   | 2395,95 | 312,58 |          |
|    |          |       |   |         |        |          |
| E6 | Alluvium | 0,247 |  | 121,56  | 1,97   | Sediment |
|    |          |       |   | 264,27  | 10,13  |          |
|    |          |       |   | 579,86  | 43,30  | Bedrock  |
|    |          |       |   | 1140,06 | 153,63 |          |
|    |          |       |   | 1964,80 | 246,52 | Sediment |
|    |          |       |   | 2006,88 | 312,47 |          |
|    |          |       |   |         |        |          |
| F2 | Alluvium | 0,178 |  | 157,58  | 3,47   | Sediment |
|    |          |       |   | 374,75  | 19,87  |          |
|    |          |       |   | 822,59  | 69,2   |          |
|    |          |       |   | 1023,32 | 160,87 |          |

|    |                               |       |   |  |         |        |         |
|----|-------------------------------|-------|---|--|---------|--------|---------|
|    |                               |       |   |  | 1622,59 | 239,06 | Bedrock |
|    |                               |       |   |  | 2188,41 | 312,54 |         |
| F4 | Alluvium                      | 0,207 |    |  | 200,72  | 4,72   | Sedimen |
|    |                               |       |   |  | 431,26  | 10,22  |         |
|    |                               |       |   |  | 476,91  | 35,47  |         |
|    |                               |       |   |  | 999,39  | 152,89 | Bedrock |
|    |                               |       |   |  | 1983,17 | 246,40 |         |
|    |                               |       |   |  | 2371,67 | 312,40 |         |
| F6 | Alluvium                      | 0,184 |    |  | 136,72  | 2,91   | Sedimen |
|    |                               |       |   |  | 293,54  | 11,08  |         |
|    |                               |       |   |  | 480,62  | 51,87  |         |
|    |                               |       |   |  | 935,07  | 186,69 | Bedrock |
|    |                               |       |   |  | 1710,84 | 256,47 |         |
|    |                               |       |   |  | 2547,14 | 312,58 |         |
| G4 | Alluvium                      | 0,114 |   |  | 120,76  | 2,439  | Sedimen |
|    |                               |       |   |  | 252,27  | 16,94  |         |
|    |                               |       |   |  | 417,62  | 49,34  |         |
|    |                               |       |   |  | 751,19  | 181,22 | Bedrock |
|    |                               |       |   |  | 1624,19 | 216,57 |         |
|    |                               |       |   |  | 2169,00 | 312,66 |         |
| G6 | Alluvium                      | 0,161 |  |  | 149,95  | 3,30   | Sedimen |
|    |                               |       |   |  | 320,95  | 12,10  |         |
|    |                               |       |   |  | 455,94  | 57,74  |         |
|    |                               |       |   |  | 713,34  | 168,68 | Bedrock |
|    |                               |       |   |  | 1692,22 | 227,74 |         |
|    |                               |       |   |  | 1791,22 | 312,11 |         |
| H2 | Alluvium                      | 0,195 |  |  | 127,25  | 2,34   | Sedimen |
|    |                               |       |   |  | 278,21  | 21,10  |         |
|    |                               |       |   |  | 609,97  | 106,22 |         |
|    |                               |       |   |  | 945,22  | 170,71 | Bedrock |
|    |                               |       |   |  | 1500,66 | 246,52 |         |
|    |                               |       |   |  | 2594,05 | 312,53 |         |
| H4 | Alluvium                      | 0,169 |  |  | 112,99  | 2,23   | Sedimen |
|    |                               |       |   |  | 302,58  | 11,94  |         |
|    |                               |       |   |  | 563,31  | 137,44 |         |
|    |                               |       |   |  | 633,60  | 163,94 | Bedrock |
|    |                               |       |   |  | 1623,70 | 244,04 |         |
|    |                               |       |   |  | 2643,83 | 312,56 |         |
| T3 | Anggota Breksi Formasi Halang | 0,309 |  |  | 315,19  | 6,05   | Sedimen |
|    |                               |       |   |  | 844,04  | 26,97  |         |
|    |                               |       |   |  | 1528,36 | 87,73  |         |
|    |                               |       |   |  | 2005,81 | 141,68 | Bedrock |
|    |                               |       |   |  | 2955,28 | 208,62 |         |

|     |  |       |   |         |        |         |
|-----|--|-------|---|---------|--------|---------|
|     |  |       |   |         |        |         |
| T5  | Anggota<br>Breksi<br>Formasi<br>Halang | 0,239 |    | 341,21  | 6,43   | Sedimen |
|     |  |       |   | 805,06  | 26,20  |         |
|     |  |       |   | 1009,78 | 56,10  | Bedrock |
|     |  |       |   | 1549,66 | 124,50 |         |
|     |  |       |   | 2597,79 | 208,54 |         |
|     |  |       |   |         |        |         |
| T6  | Anggota<br>Breksi<br>Formasi<br>Halang | 0,188 |    | 258,90  | 5,69   | Sedimen |
|     |  |       |   | 690,23  | 26,08  |         |
|     |  |       |   | 1391,13 | 79,47  | Bedrock |
|     |  |       |   | 1491,26 | 115,54 |         |
|     |  |       |   | 1921,05 | 208,62 |         |
| T7  | Anggota<br>Breksi<br>Formasi<br>Halang | 0,183 |    | 304,32  | 5,98   | Sedimen |
|     |  |       |   | 802,76  | 25,68  |         |
|     |  |       |   | 971,41  | 38,87  |         |
|     |  |       |   | 1779,53 | 117,31 | Bedrock |
|     |  |       |   | 2812,88 | 208,51 |         |
| T8  | Anggota<br>Breksi<br>Formasi<br>Halang | 0,256 |   | 263,55  | 6,75   | Sedimen |
|     |  |       |   | 699,98  | 28,40  |         |
|     |  |       |   | 1403,32 | 81,91  | Bedrock |
|     |  |       |   | 1967,75 | 181,69 |         |
|     |  |       |   | 2599,60 | 208,57 |         |
| TB1 | Anggota<br>Breksi<br>Formasi<br>Halang | 0,262 |  | 335,86  | 7,60   | Sedimen |
|     |  |       |   | 721,64  | 25,78  |         |
|     |  |       |   | 914,92  | 36,55  |         |
|     |  |       |   | 1430,42 | 118,39 | Bedrock |
|     |  |       |   | 3015,97 | 208,53 |         |
|     |  |       |   |         |        |         |
| TB2 | Anggota<br>Breksi<br>Formasi<br>Halang | 0,200 |  | 251,46  | 4,61   | Sedimen |
|     |  |       |   | 714,86  | 25,68  |         |
|     |  |       |   | 1235,05 | 49,79  | Bedrock |
|     |  |       |   | 1834,65 | 120,76 |         |
|     |  |       |   | 3264,94 | 208,54 |         |
| TB3 | Halang                                 | 0,157 |  | 116,3   | 2,74   | Sedimen |
|     |  |       |   | 289,25  | 14,70  |         |
|     |  |       |   | 772,50  | 59,28  |         |
|     |  |       |   | 1031,93 | 163,77 | Bedrock |
|     |  |       |   | 1516,20 | 210,22 |         |
|     |  |       |   | 2022,85 | 312,41 |         |
| TB4 | Halang                                 | 0,154 |  | 261,93  | 2,28   | Sedimen |
|     |  |       |   | 445,13  | 11,38  |         |
|     |  |       |   | 972,50  | 38,69  | Bedrock |
|     |  |       |   | 1297,25 | 167,38 |         |

|      |  |       |   |         |         |         |  |
|------|--|-------|---|---------|---------|---------|--|
|      |  |       |   |         | 1907,90 | 253,64  |  |
|      |  |       |   |         | 2541,86 | 312,01  |  |
| TB5  | Anggota<br>Breksi<br>Formasi<br>Halang | 0,203 |    | 271,32  | 5,82    | Sedimen |  |
|      |  |       |   | 714,27  | 28,37   |         |  |
|      |  |       |   | 1208,84 | 50,76   | Bedrock |  |
|      |  |       |   | 1348,14 | 130,80  |         |  |
|      |  |       |   | 2959,21 | 208,54  |         |  |
| TB6  | Anggota<br>Breksi<br>Formasi<br>Halang | 0,153 |    | 284,97  | 5,73    | Sedimen |  |
|      |  |       |   | 612,16  | 25,25   |         |  |
|      |  |       |   | 1286,15 | 86,22   | Bedrock |  |
|      |  |       |   | 1358,13 | 179,53  |         |  |
|      |  |       |   | 2285,87 | 208,15  |         |  |
| TB7  | Halang                                 | 0,178 |    | 395,41  | 8,08    | Sedimen |  |
|      |  |       |   | 529,71  | 13,29   |         |  |
|      |  |       |   | 972,58  | 48,41   |         |  |
|      |  |       |   | 1248,24 | 174,18  | Bedrock |  |
|      |  |       |   | 1761,23 | 294,82  |         |  |
|      |  |       |   | 2866,27 | 312,53  |         |  |
|      |  |       |   | 259,68  | 6,56    | Sedimen |  |
| TB8  | Anggota<br>Breksi<br>Formasi<br>Halang | 0,293 |   | 624,01  | 28,86   |         |  |
|      |  |       |   | 1217,10 | 79,84   |         |  |
|      |  |       |   | 1327,24 | 128,81  |         |  |
|      |  |       |   | 2702,50 | 208,27  |         |  |
|      |  |       |   | 335,87  | 7,85    | Sedimen |  |
| TB9  | Anggota<br>Breksi<br>Formasi<br>Halang | 0,181 |  | 839,75  | 26,81   |         |  |
|      |  |       |   | 1257,25 | 60,17   |         |  |
|      |  |       |   | 1977,09 | 169,38  |         |  |
|      |  |       |   | 2452,18 | 207,97  |         |  |
|      |  |       |   | 166,96  | 2,48    | Sedimen |  |
| TB10 | Alluvium                               | 0,201 |  | 387,07  | 12,01   |         |  |
|      |  |       |   | 727,25  | 44,30   |         |  |
|      |  |       |   | 1309,79 | 175,62  |         |  |
|      |  |       |   | 1707,20 | 294,86  |         |  |
|      |  |       |   | 2392,76 | 312,66  |         |  |
|      |  |       |   | 172,80  | 3,34    | Sedimen |  |
| TB11 | Alluvium                               | 0,231 |  | 396,96  | 15,05   |         |  |
|      |  |       |   | 960,54  | 50,57   |         |  |
|      |  |       |   | 1569,02 | 183,07  |         |  |
|      |  |       |   | 1624,91 | 212,29  |         |  |
|      |  |       |   | 1904,37 | 312,58  |         |  |
|      |  |       |   | 114,02  | 2,70    | Sedimen |  |
| TB12 | Alluvium                               | 0,169 |  | 249,58  | 22,06   |         |  |
|      |  |       |   | 363,83  | 40,71   |         |  |

|      |          |       |   |         |        |                 |
|------|----------|-------|---|---------|--------|-----------------|
|      |          |       |   | 685,42  | 194,19 |                 |
| TB13 | Aluvium  | 0,253 |  | 1427,62 | 274,95 | <i>Bedrock</i>  |
|      |          |       |   | 1758,89 | 312,38 |                 |
|      |          |       |   | 180,03  | 4,17   |                 |
| TB14 | Alluvium | 0,148 |  | 426,66  | 17,45  | <i>Sediment</i> |
|      |          |       |   | 652,92  | 64,60  |                 |
|      |          |       |   | 1363,10 | 154,46 | <i>Bedrock</i>  |
|      |          |       |   | 1521,91 | 225,32 |                 |
|      |          |       |   | 2406,04 | 312,53 |                 |
|      |          |       |   | 149,89  | 2,87   | <i>Sediment</i> |
|      |          |       |   | 491,02  | 13,94  |                 |
|      |          |       |   | 926,45  | 99,89  |                 |
|      |          |       |   | 1461,02 | 164,11 | <i>Bedrock</i>  |
|      |          |       |   | 1811,45 | 266,86 |                 |
|      |          |       |   | 2105,15 | 312,53 |                 |

**Lampiran 4**  
**Data Hasil Penelitian**

| <b>Titik</b> | <b>Koordinat</b>                   |                                   | $f_0$ | $A_0$ | $\nu_s$ | $\nu_b$ | <b>Indeks Kerentanan Seismik</b><br>$K_g \times 10^{-6}$<br>(1/cm/s <sup>2</sup> ) |
|--------------|------------------------------------|-----------------------------------|-------|-------|---------|---------|--|
|              | <b>Longitude</b><br>( $^{\circ}$ ) | <b>Latitude</b><br>( $^{\circ}$ ) |       |       |         |         |  |
| A3           | 109,4049                           | -7,58349                          | 7,61  | 9,92  | 286,2   | 2306,92 | 5,68   |
| A4           | 109,4134                           | -7,58406                          | 0,49  | 4,09  | 262,63  | 2145,04 | 1,61   |
| B4           | 109,4045                           | -7,59218                          | 14,98 | 25,46 | 252,05  | 1799,32 | 2,43   |
| B5           | 109,4212                           | -7,5896                           | 14,96 | 3,64  | 313,25  | 1904,59 | 4,71   |
| C3           | 109,3947                           | -7,59297                          | 14,98 | 5,63  | 494,04  | 2226,8  | 9,63   |
| C4           | 109,4037                           | -7,60149                          | 1,07  | 5,55  | 395,25  | 1759,85 | 1,65   |
| C6           | 109,4220                           | -7,6014                           | 11,01 | 8,84  | 531,42  | 1637,87 | 4,39   |
| D2           | 109,3863                           | -7,61035                          | 0,61  | 7,02  | 430,39  | 1848,29 | 4,43   |
| D3           | 109,3951                           | -7,6105                           | 0,71  | 6,17  | 371,78  | 1788,21 | 3,04   |
| D4           | 109,4045                           | -7,61003                          | 11,79 | 7,05  | 474,73  | 1414,46 | 3,02   |
| D6           | 109,4243                           | -7,61011                          | 4,2   | 8,41  | 352,05  | 1478,32 | 1,35   |
| E4           | 109,4046                           | -7,61923                          | 8,66  | 6,59  | 367,94  | 1572,82 | 3,23   |
| E6           | 109,4254                           | -7,61632                          | 2,17  | 7,2   | 321,89  | 1703,91 | 1,42   |
| F2           | 109,3855                           | -7,62821                          | 1,78  | 9,26  | 266,16  | 1905,5  | 2,56   |
| F4           | 109,4047                           | -7,62684                          | 1,98  | 14,77 | 369,63  | 2177,42 | 5,13   |
| F6           | 109,4227                           | -7,62867                          | 1,39  | 20,43 | 303,63  | 2128,99 | 1,43   |
| G4           | 109,4048                           | -7,63779                          | 1,15  | 11,14 | 263,55  | 1896,59 | 5,77   |
| G6           | 109,4218                           | -7,6376                           | 1,32  | 15    | 410,04  | 1741,72 | 9,92   |
| H2           | 109,3876                           | -7,64618                          | 1,42  | 12,82 | 336,14  | 2047,35 | 5,73   |
| H4           | 109,4045                           | -7,64656                          | 0,83  | 27,38 | 403,12  | 2133,76 | 4,29   |
| T3           | 109,4146                           | -7,54725                          | 0,59  | 13,62 | 315,19  | 2163,15 | 1,23   |
| T5           | 109,4129                           | -7,55623                          | 4,17  | 6,18  | 341,21  | 1719,07 | 5,41   |
| T6           | 109,4098                           | -7,56511                          | 9,47  | 6,73  | 474,56  | 1601,14 | 3,02   |
| T7           | 109,4055                           | -7,57536                          | 7,27  | 12,04 | 304,32  | 2296,2  | 8,81   |
| T8           | 109,4144                           | -7,57608                          | 12,03 | 22,76 | 481,76  | 1990,22 | 2,19   |
| TB1          | 109,4263                           | -7,53639                          | 7,98  | 9,56  | 335,86  | 2223,19 | 5,22   |
| TB2          | 109,4203                           | -7,5422                           | 6,08  | 17,52 | 483,16  | 2111,54 | 2,42   |
| TB3          | 109,387                            | -7,60366                          | 0,81  | 5,76  | 202,77  | 1523,66 | 2,72   |
| TB4          | 109,4383                           | -7,60283                          | 1,24  | 4,86  | 353,53  | 1915,67 | 1,01   |
| TB5          | 109,4252                           | -7,56036                          | 3,64  | 7,9   | 492,79  | 2153,67 | 8,07   |
| TB6          | 109,427                            | -7,58381                          | 8,1   | 7,41  | 448,56  | 1958,58 | 3,51   |
| TB7          | 109,4359                           | -7,59464                          | 1,17  | 4,68  | 462,56  | 1958,58 | 9,69   |
| TB8          | 109,3798                           | -7,55296                          | 3,15  | 19,7  | 441,84  | 1748,94 | 7,14   |
| TB9          | 109,3657                           | -7,57151                          | 12,47 | 15,02 | 335,87  | 1895,5  | 9,68   |
| TB10         | 109,3739                           | -7,60412                          | 0,93  | 4,89  | 427,09  | 1803,25 | 1,44   |
| TB11         | 109,3716                           | -7,62622                          | 6,56  | 7,91  | 284,88  | 1699,43 | 5,69   |
| TB12         | 109,3751                           | -7,6492                           | 0,9   | 13,68 | 353,21  | 1593,25 | 1,32   |
| TB13         | 109,4401                           | -7,62761                          | 2,86  | 17,91 | 419,87  | 1763,68 | 6,44   |
| TB14         | 109,4463                           | -7,619                            | 11,79 | 6,48  | 320,45  | 1792,54 | 2,01   |

Keterangan *Datasheet* pada tabel :

1.  $f_0$  merupakan nilai frekuensi predominan yang diperoleh dari kurva H/V,
2.  $A_0$  merupakan nilai faktor amplifikasi yang diperoleh dari kurva H/V,
3.  $v_s$  merupakan nilai kecepatan gelombang geser di lapisan sedimen yang diperoleh dari hasil *ground profile* pada *Dinver*,
4.  $v_b$  merupakan nilai kecepatan gelombang geser di lapisan dasar atau *bedrock* diperoleh dari hasil *ground profile* pada *Dinver*,
5.  $K_g$  merupakan nilai indeks kerentanan seismik yang dihitung dari persamaan berikut,

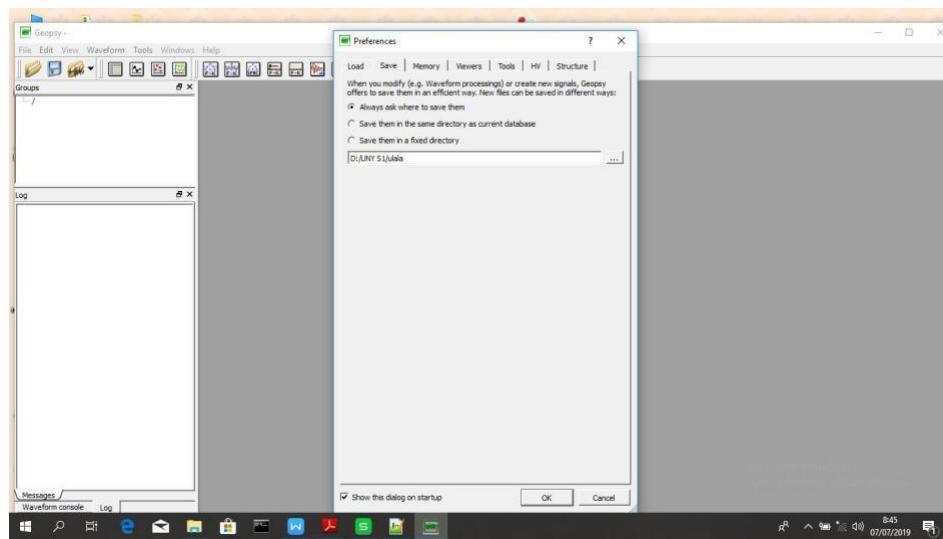
$$K_g = \frac{A^2}{\pi^2 f_0 v_b}$$

## Lampiran 5

### Pengolahan Data

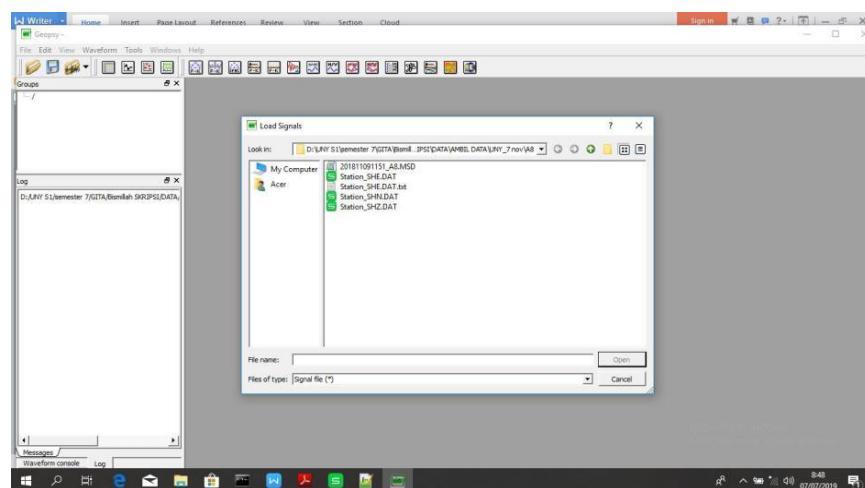
#### A. Pengolahan Sinyal Mikrotremor dengan *Geopsy*

1. Membuka *software Geopsy*, kemudian pada desktop akan muncul tampilan seperti pada Gambar L1.



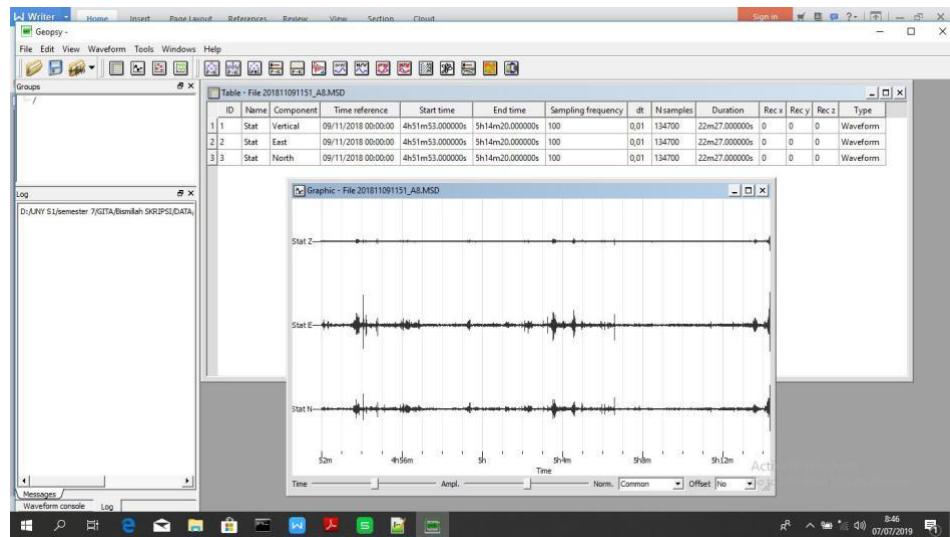
Gambar L1. Tampilan awal *Geopsy*

2. Klik OK pada *Preferences*, kemudian memilih menu *import signal* dan pilih data pengukuran yang akan dianalisis dalam format *.MSD* seperti pada Gambar L2.



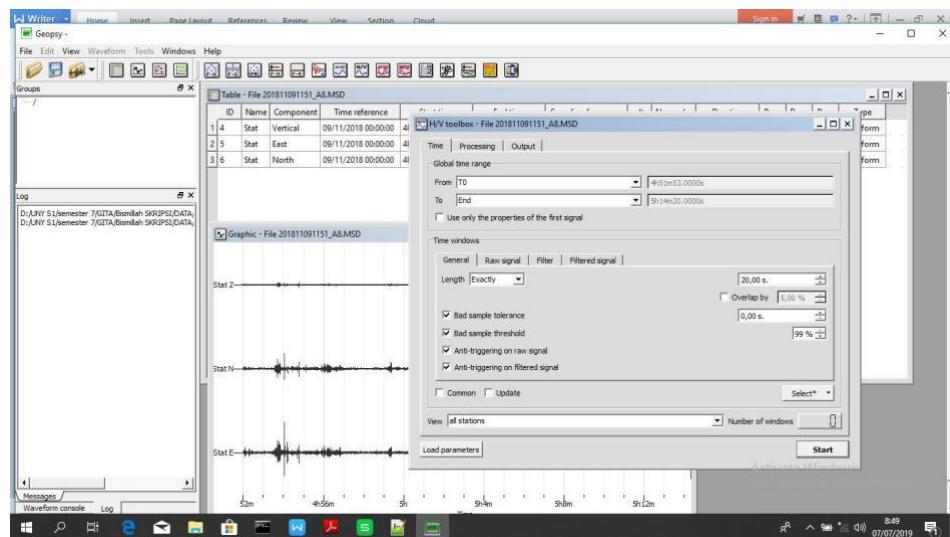
Gambar L2. Tampilan proses *import signal*.

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



Gambar L3. Tampilan sinyal yang telah *diimport* pada *Geopsy*

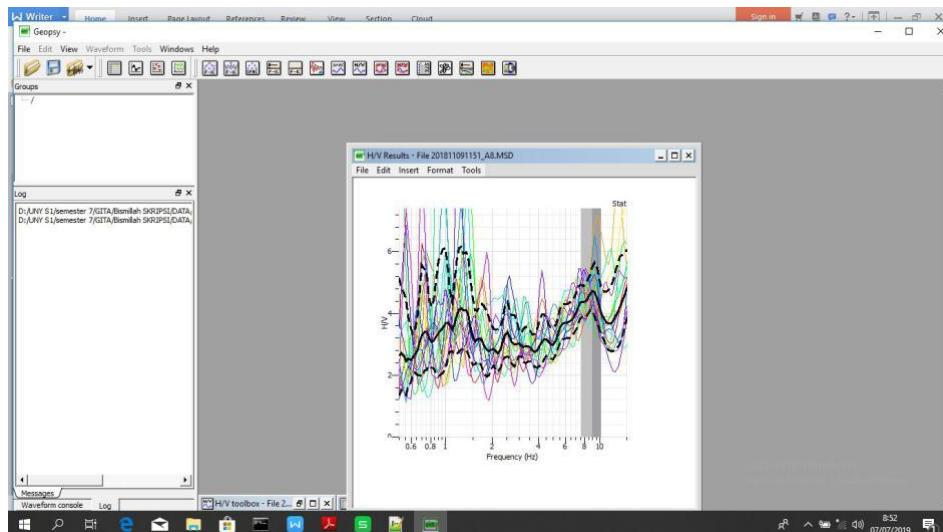
4. Klik H/V ada *toolbox* *Software Sessary-Geopsy* sehingga muncul tampilan seperti pada Gambar L4.



Gambar L4. Tampilan pengaturan dalam *H/V Toolbox*

5. Pada *H/V toolbox*, setting nilai *Time*, *Processing*, dan *Output* dengan ketentuan :

- a. Pada pengaturan *Time, setting* nilai *length windows* dengan 20.00 sekon. Kemudian hilangkan centang pada *anti-triggering on raw sinyal* dan klik *add* pada menu *select* untuk memilih sinyal tanpa *noise* secara manual.
  - b. Pada pengaturan *Processing, setting smoothing type* dengan Konno & Omachi.
  - c. Pada pengaturan *Output, setting* nilai *frequency sampling* 0.50 Hz sampai 15 Hz dengan *Number of samples* 100.
6. Setelah pengaturan pada *H/V Toolbox* selesai, kemudian pilih *Start*, maka akan muncul hasil pengolahan sinyal mikrotremor menjadi kurva H/V seperti pada Gambar L5.



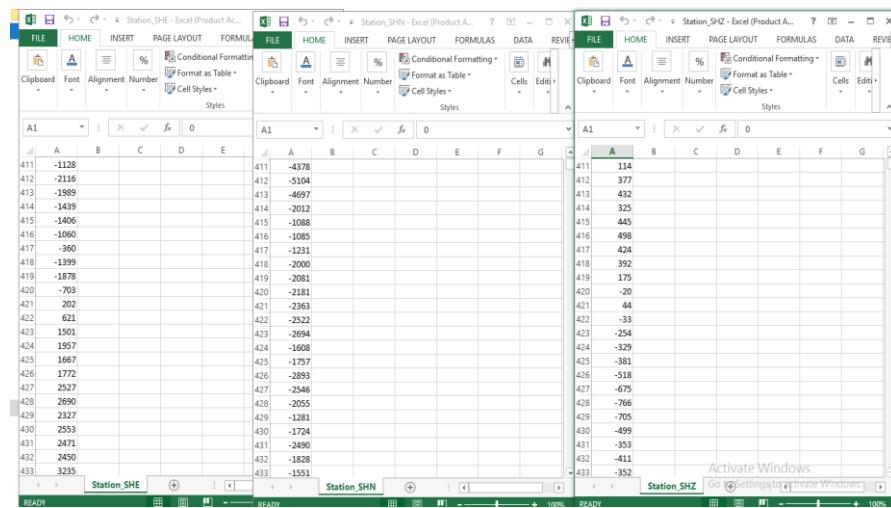
Gambar L5. Tampilan Kurva H/V

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

8. Melihat nilai kurva H/V dalam format *.txt*. dapat dibuka menggunakan *software Microsoft Excel*.

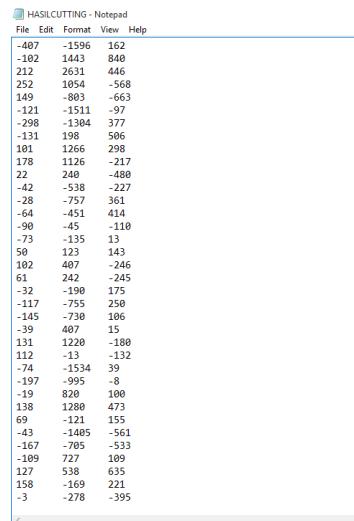
## B. Cutting Data Mikrotremor Menggunakan Microsoft Excel

1. Membuka Trace sinyal yang terdiri dari 3 komponen sinyal yaitu East-West, North-South, dan Vertical dalam format .dat yang dapat dibuka menggunakan Excel seperti pada Gambar L6.



Gambar L6. 3 Komponen Sinyal (East-West, North-South, dan Vertical).

2. Memilih sinyal yang memiliki nilai diantara nilai -3333,3 – 3333,3, setiap sinyal mengumpulkan sebanyak 27500 data untuk mendapatkan 11 *windowing*.
3. Mengabungkan 3 sinyal tersebut menggunakan Excel selanjutnya disimpan dalam format .xls atau .txt seperti pada Gambar L7.



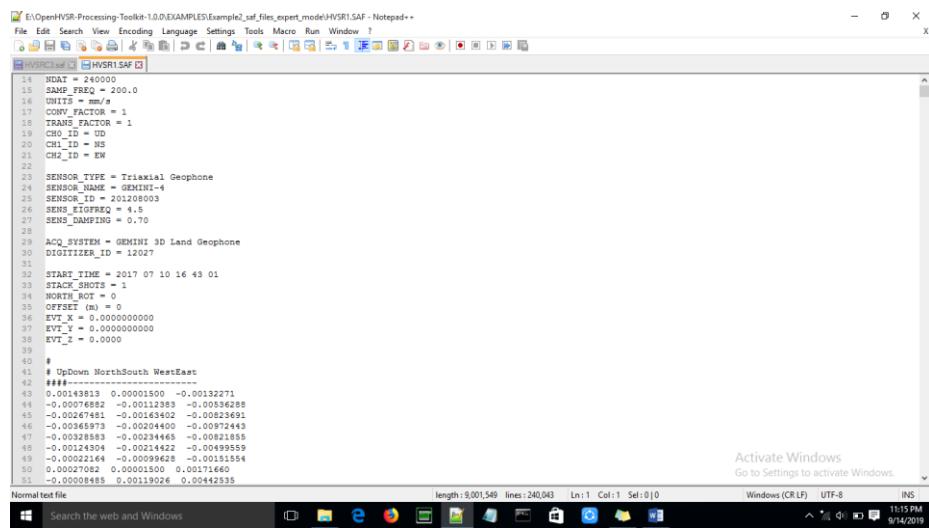
File Edit Format View Help

|      |       |      |
|------|-------|------|
| -407 | -1596 | 162  |
| -182 | 1443  | 846  |
| 212  | 2634  | 446  |
| 252  | 1824  | -568 |
| 149  | -893  | -663 |
| -121 | -1511 | -97  |
| -298 | -1304 | 377  |
| -131 | 198   | 586  |
| 101  | 1266  | 298  |
| 178  | 1126  | -217 |
| 22   | 248   | -488 |
| -42  | -538  | -227 |
| -28  | -757  | 361  |
| -64  | -451  | 414  |
| -90  | -45   | -118 |
| -73  | 125   | 13   |
| 58   | 123   | 143  |
| 102  | 497   | -246 |
| 61   | 242   | -245 |
| -32  | -198  | 175  |
| -117 | -755  | 250  |
| -145 | -730  | 106  |
| -39  | 407   | 15   |
| 131  | 1220  | -188 |
| 112  | -13   | -132 |
| -74  | -1534 | 39   |
| -197 | -995  | -8   |
| -19  | 820   | 160  |
| 138  | 1280  | 473  |
| 69   | -121  | 155  |
| -43  | -1405 | -561 |
| -167 | -705  | -533 |
| -109 | 727   | 109  |
| 127  | 538   | 635  |
| 158  | -169  | 221  |
| -3   | -278  | -395 |

Gambar L7. Gabungan 3 komponen sinyal

### C. Mengubah Format .txt Menjadi .SAF Menggunakan Notepad++

1. Membuka *software* Notepad++, kemudian memilih menu *File* → *Open* → membuka folder *OpenHVS-Processing-Toolkit-1.0.0* → *examples* → *example2\_saf\_files\_expert\_mode* → memilih salah satu *file*, misalnya *HVS1.SAF* seperti pada Gambar L8.



```
14 NDAT = 240000
15 SAMP_FREQ = 200.0
16 UNITZ = mm/s
17 CONV_FACTOR = 1
18 TRANS_FACTOR = 1
19 CH1_ID = 10
20 CH2_ID = 11
21 CH3_ID = 12
22
23 SENSOR_TYPE = Triaxial Geophone
24 SENSOR_NAME = GEMINI-4
25 SENSOR_ID = 201209003
26 SENS_EIGFREQ = 4.5
27 SENS_DAMPING = 0.70
28
29 ACQ_SYSTEM = GEMINI 3D Land Geophone
30 DIGITIZER_ID = 12027
31
32 START_TIME = 2017 07 10 16 43 01
33 STACK_SHOTS = 1
34 NORTH_ROT = 0
35 OFFSET (m) = 0
36 EVT_X = 0.0000000000
37 EVT_Y = 0.0000000000
38 EVT_Z = 0.0000
39
40 # UpDown NorthSouth WestEast
41 #####
42 0.00143813 0.00001500 -0.00132271
43 -0.0076882 -0.00112383 -0.00536288
44 0.00214492 -0.00204400 -0.00171665
45 -0.00363973 0.00204400 -0.00972443
46 -0.00323883 -0.00234466 -0.00821855
47 -0.00124304 -0.00214492 -0.00499559
48 -0.00022164 -0.0009626 -0.00151554
49 0.00019026 0.00019026 0.00171665
50 -0.00009485 0.00119026 0.00425339
```

Gambar L8. Contoh file dengan format .SAF

2. Kemudian mengubah *NDAT* (banyaknya data), *SAMP\_FREQ* (disesuaikan pada saat pengukuran di lapangan), *START TIME* (disesuaikan pada waktu pengukuran yang tercantum pada *software* *TDS 5.2* untuk lebih detailnya), setelah itu menyalin data tiga komponen sinyal mikrotremor yang diperoleh dari hasil *cutting* sinyal seperti pada Gambar L9.

```

14 NDAT = 27500
15 SAMP_FREQ = 100.0
16 DUDY = 1
17 CONV_FACTOR = 1
18 TRANS_FACTOR = 1
19 CHD_ID = UD
20 CH1_ID = US
21 CH2_ID = EM
22
23 SENSOR_TYPE = Triaxial Geophone
24 SENSOR_ID = GEMINI-4
25 SENSOR_ID = 2013040003
26 SENS_EIGFREQ = 4.5
27 SENS_DAMPING = 0.70
28
29 ACQ_SYSTEM = GEMINI 3D Land Geophone
30 DILITIZER_ID = 12027
31
32 START_TIME = 2018 12 7 8 39 14
33 SPTIME_SHOT = 1
34 NORTH = 0
35 OFFSET (m) = 0
36 EVT_X = 0.0000000000
37 EVT_Y = 0.0000000000
38 EVT_Z = 0.0000
39
40 # UpDown NorthSouth WestEast
41 -----
42
43 244 482 -459
44 305 359 -908
45 285 418 -979
46 119 411 -532
47 42 341 -314
48 148 -322
49 -96 77 177
50 -73 -275 545
51 -37 -428 773

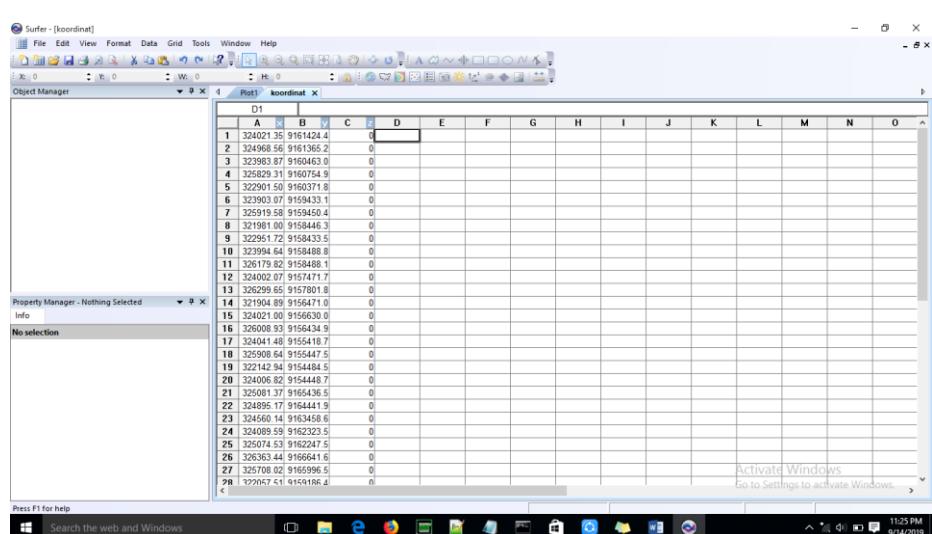
```

Gambar L9. File format .SAF yang telah diubah

3. Menyimpan *file* dengan format .SAF pada folder baru, misalnya folder 1 untuk *file* HVSRA3.SAF.
4. Mengulangi langkah 1 sampai 3 sebanyak data penelitian dan disimpan pada folder yang terpisah (setiap 1 data memiliki 1 folder), contohnya data penelitian sebanyak 39 data maka membuat folder sebanyak 39 untuk format .SAF.

#### D. Membuat Koordinat dengan Format .txt Menggunakan Surfer12

1. Membuka *software* Surfer 12, kemudian memilih *icon New Worksheet* pada toolbar, mengisi kolom A, B, dan C, di mana kolom A diisi dengan koordinat x, kolom B diisi dengan koordinat y, dan kolom C diisi dengan 0 seperti pada Gambar L10.



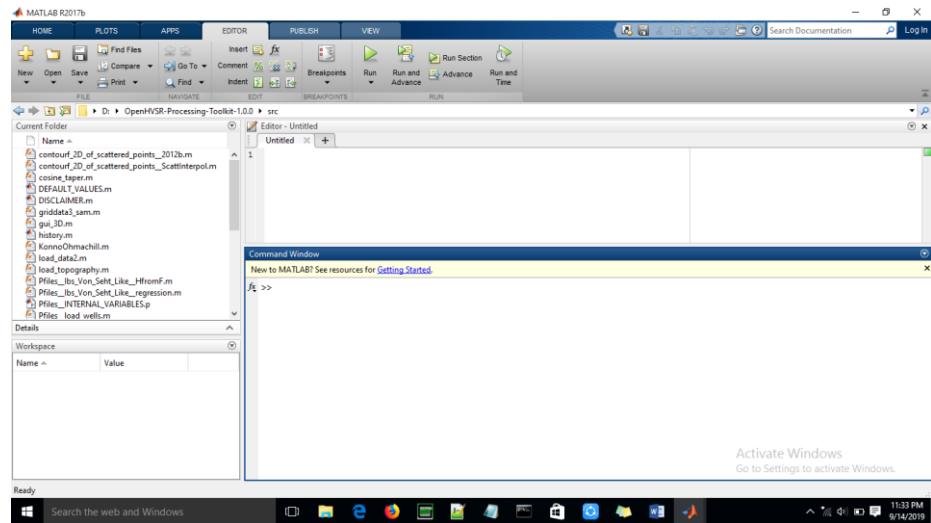
|    | A         | B         | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O |
|----|-----------|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1  | 324021.35 | 9151424.4 | 0 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 2  | 324969.56 | 9161365.2 | 0 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 3  | 323983.87 | 9160463.0 | 0 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 4  | 325829.31 | 9160754.9 | 0 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 5  | 322901.50 | 9160371.8 | 0 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 6  | 323903.07 | 9159433.1 | 0 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 7  | 325916.58 | 9159450.4 | 0 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 8  | 321981.00 | 9158446.3 | 0 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 9  | 322951.72 | 9158433.5 | 0 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 10 | 325194.89 | 9158436.0 | 0 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 11 | 326179.82 | 9158489.1 | 0 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 12 | 324002.07 | 9157471.7 | 0 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 13 | 326299.65 | 9157801.8 | 0 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 14 | 321904.89 | 9156471.0 | 0 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 15 | 324021.00 | 9156630.0 | 0 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 16 | 326008.93 | 9156434.9 | 0 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 17 | 324041.48 | 9155418.7 | 0 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 18 | 325908.64 | 9155447.5 | 0 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 19 | 322142.94 | 9154484.5 | 0 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 20 | 324001.82 | 9154448.7 | 0 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 21 | 324000.95 | 9154436.5 | 0 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 22 | 324895.17 | 9154441.9 | 0 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 23 | 324460.14 | 9153449.6 | 0 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 24 | 324089.59 | 9162323.5 | 0 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 25 | 326074.53 | 9162247.5 | 0 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 26 | 326363.44 | 9166641.6 | 0 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 27 | 325708.02 | 9166599.5 | 0 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 28 | 329057.51 | 9159186.4 | 0 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |

Gambar L10. Membuat titik koordinat menggunakan Surfer

2. Menyimpan *file* dengan format .txt. yang disimpan pada folder di setiap titik penelitian.

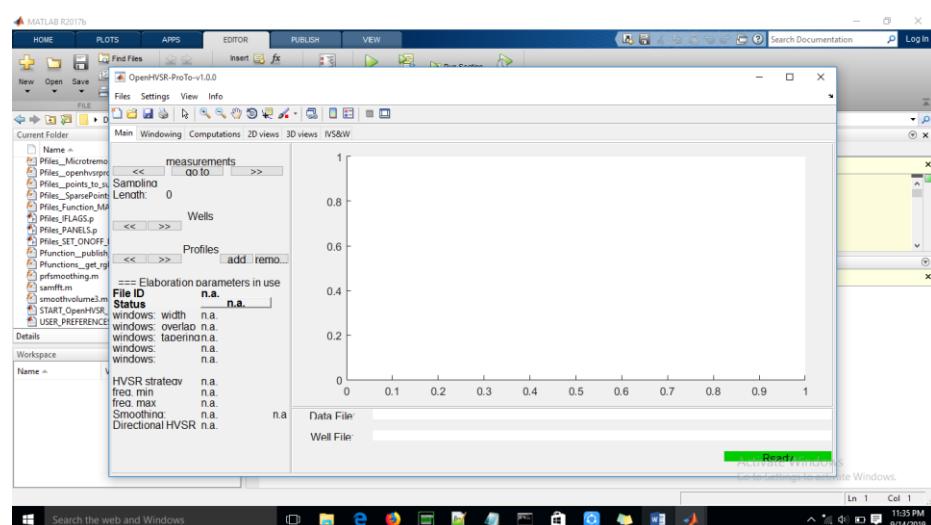
## E. Analisis kurva H/V menggunakan Open HVSR

1. Membuka *software* Matlab 2017b, lalu muncul tampilan jendela *editor* dan *command window* seperti pada Gambar L11.



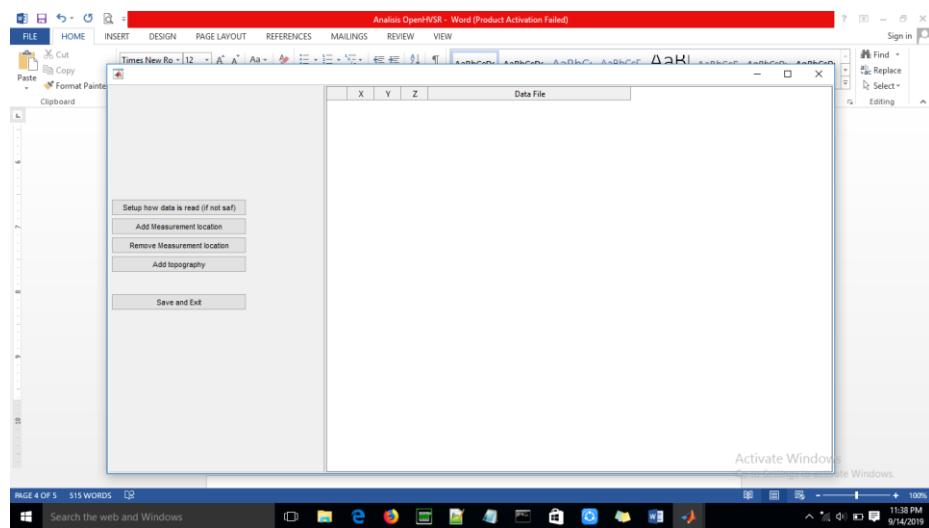
Gambar L11. Tampilan awal Matlab 2017b

2. Untuk memulai menggunakan OpenHVSR, maka memilih menu *Open* → memilih file pada folder *OpenHVSR-Processing-Toolkit-1.0.0* → *src* → *START\_OpenHVSR\_ProTo.m* → Mengklik *Run* pada *toolbar*, sehingga muncul jendela OpenHVSR yang siap digunakan seperti pada Gambar L12.



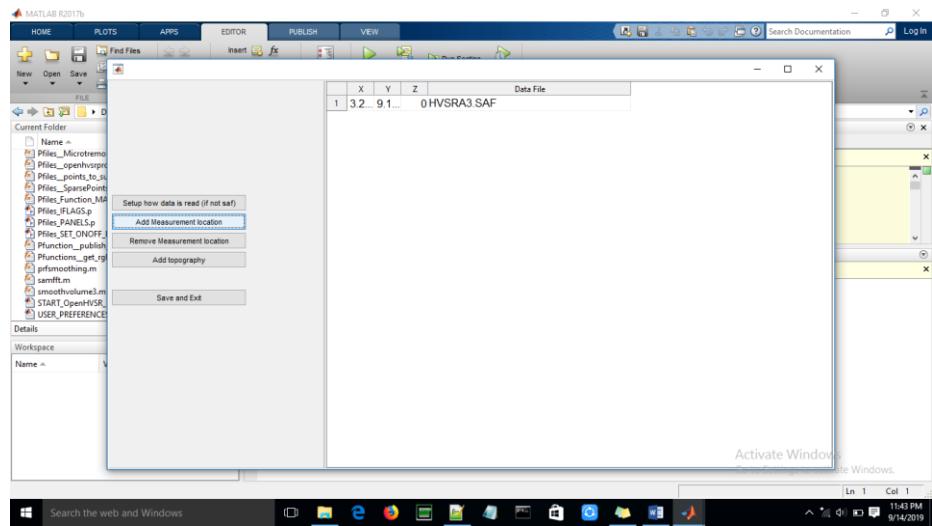
Gambar L12. *START\_OpenHVSR\_ProTo.m* setelah di *Run* menggunakan Matlab2017b

3. Kemudian membuat *project* baru dengan memilih menu *Files* → *create/edit project* → membuat *folder* untuk OpenHVSR dan membuat *folder* lagi di dalamnya yangsesuai dengan banyaknya titik penelitian → lalu *select folder* yang telah dibuat dan akan muncul tampilan seperti pada Gambar L13.



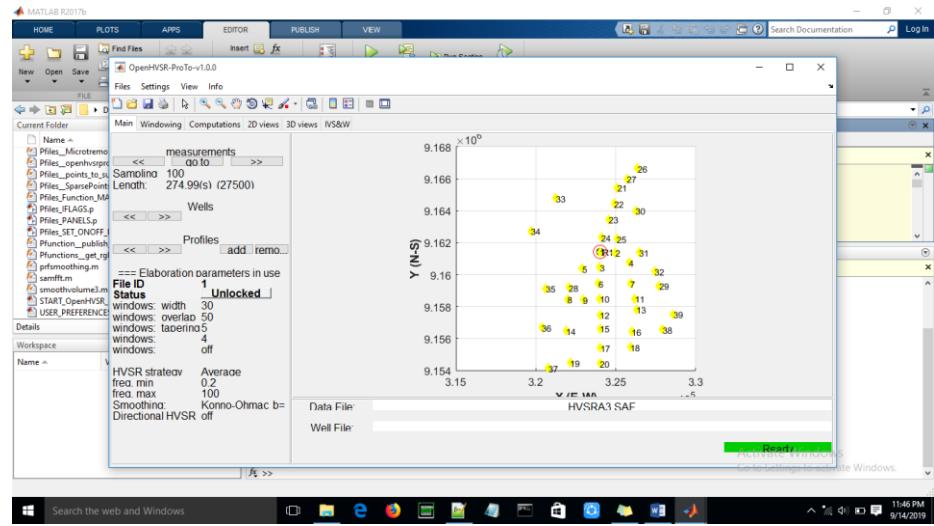
Gambar L13. Tampilan *create/edit project*

4. Tampilan pada Gambar L13. ditunjukkan untuk menyalin koordinat penelitian pada semua titik pengukuran dengan memilih *Add Measurement location* → muncul kolom x, y, dan z di mana kolom x dan y diisi dengan koordinat x dan y sedangkan kolom z diisi 0 → *OK* → memilih *file* format .SAF yang sudah dibuat sesuai koordinat yang ditulis, contohnya seperti pada Gambar L14 menggunakan data HVSRA3.SAF pada folder 1.



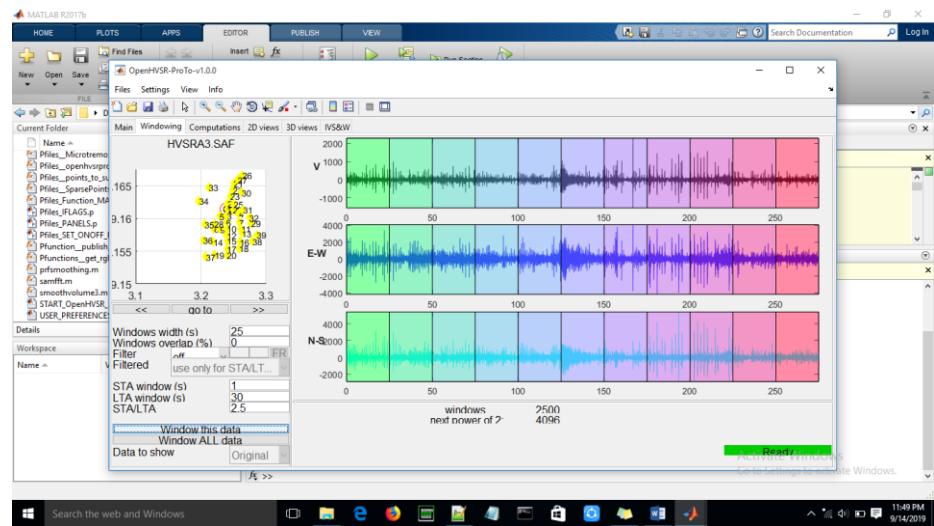
Gambar L14. Tampilan *Add Measurement*

5. Melakukan langkah 4 sebanyak titik penelitian, kemudian *Add topography* → memilih *file* yang berisi titik koordinat yang sudah dibuat dalam format .txt → *Save and exit*
6. Membuka *software* Matlab 2017b, lalu memilih menu *Open* → memilih file pada folder *OpenHVSRR-Processing-Toolkit-1.0.0* → *src* → *START-OpenHVSRR\_ProTo.m* → Mengklik *Run* pada *toolbar*, sehingga muncul jendela OpenHVSRR yang siap digunakan.
7. Setelah itu memilih menu *Files* → *load project* → memilih *file* format .m → *Open*, sehingga muncul jendela baru seperti pada Gambar L15.



Gambar L15. Tampilan *load project*

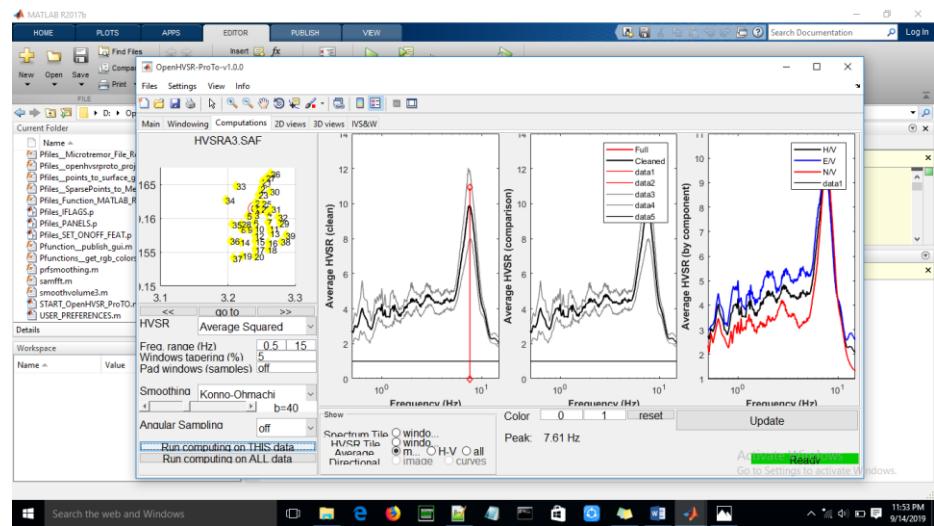
8. Melakukan *windowing* kembali menggunakan OpenHVSR seperti pada Gambar L16 dengan memilih *windowing* → mengatur *windows width (s)*, *windows overlap (%)*, dan STA/LTA yang disesuaikan pada *software Geopsy* → *windows this data*.



Gambar L16. Tampilan *windowing*

9. Selanjutnya untuk membuat kurva *H/V* maka memilih *computations* → mengatur *freq.range (Hz)* dan *smoothing* (disesuaikan pada *software Geopsy*),

average HVSР, dan *color* → *Run computing on this data*, sehingga muncul kurva H/V seperti pada Gambar L17.

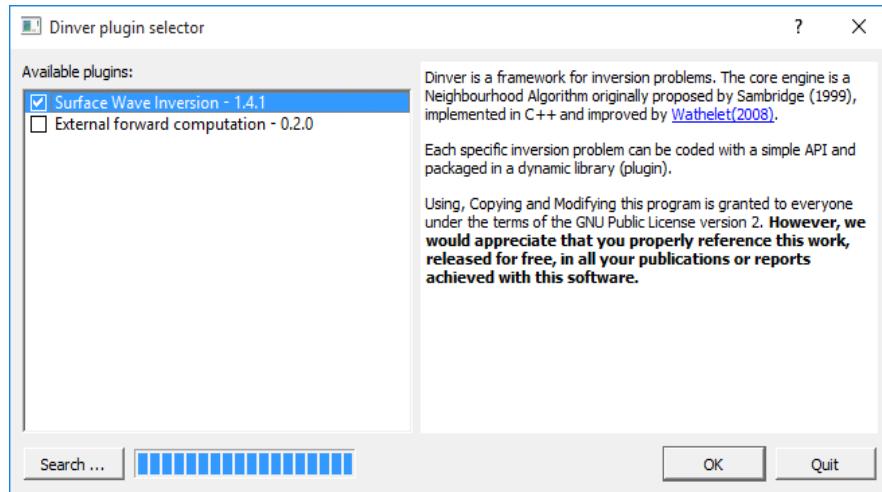


Gambar L17. Tampilan kurva H/V

10. Menyimpan kurva *H/V* dengan memilih menu *Files* → *save full output set (.txt)* → *select folder* sesuai titik penelitian.

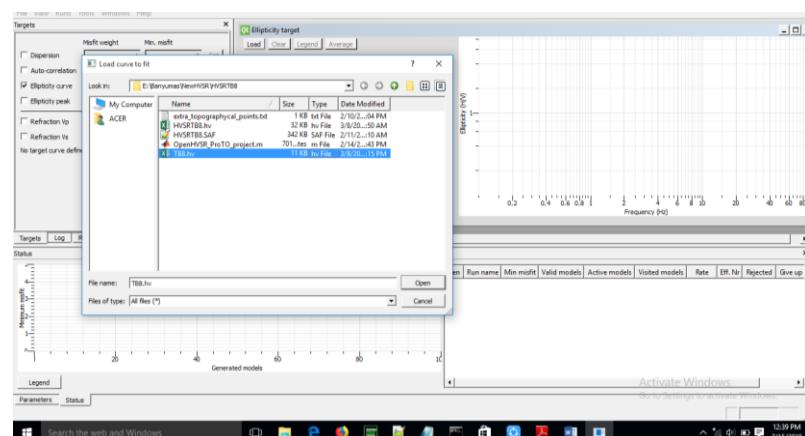
## F. Menganalisis Kurva H/V dengan Pemodelan *Ellipticity Curve* menggunakan *Dinver*

1. Membuka *Dinver*, sehingga akan muncul tampilan seperti Gambar pada Gambar L18→ klik *OK*.



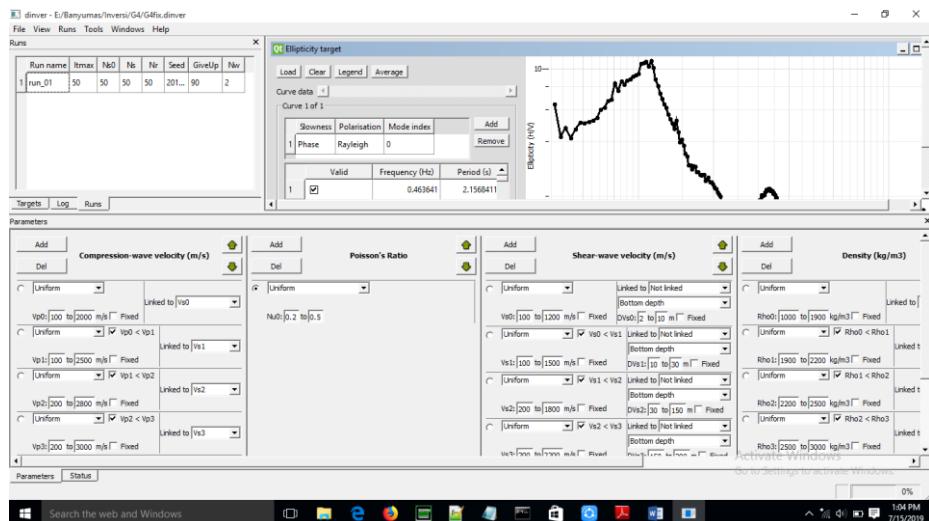
Gambar L18. Tampilan *dinverplugin selector*

2. Memilih *Ellipticity Curve* pada kotak *Target* lalu mengklik *Set → Load*, akan muncul kotak *load curve to fit* dan input *file* data dalam format *.hv* hasil analisis kurva H/V dari program OpenHVSR yang telah diubah ke dalam format *.hv Geopsy* seperti pada Gambar L19 kemudian klik *Open*.



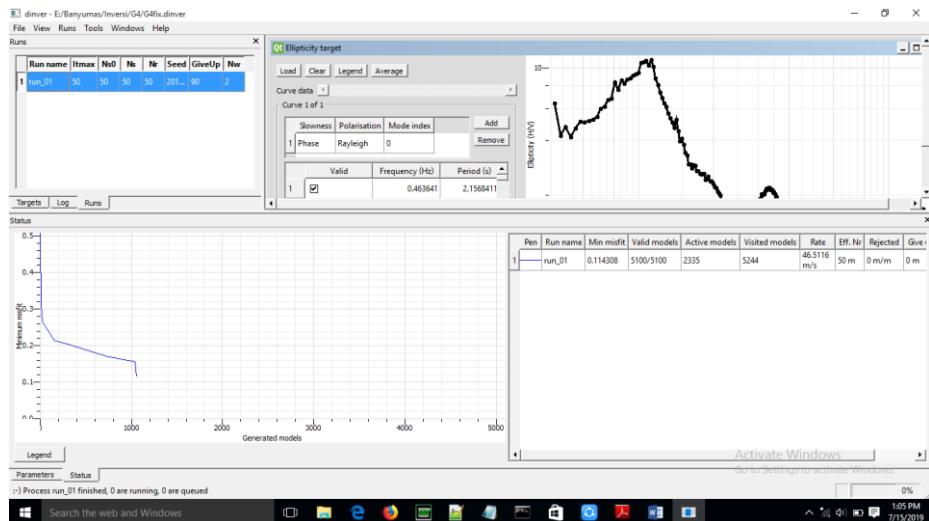
Gambar L19. Tampilan memasukkan data kurva H/V untuk diolah.

3. Setelah muncul kurva H/V seperti pada Gambar L20 kemudian memilih menu *Tools* → *Parameters* maka akan muncul kotak *Parameters* di pojok kiri kemudian klik



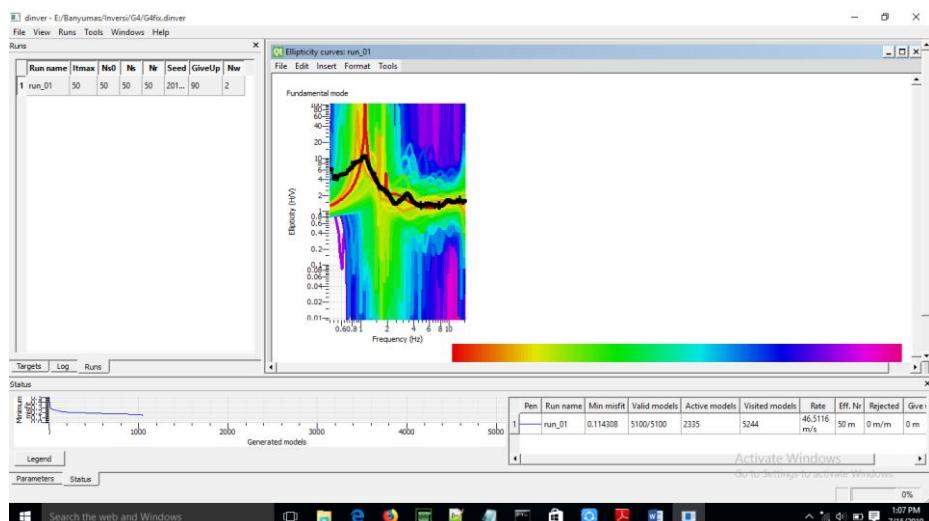
Gambar L20. Tampilan pengisian parameter

4. Pada kotak *Parameters* terdapat empat komponen input data yang terdiri dari *Compression-wave velocity*, *Poisson's Ratio*, *Shear-wave velocity*, dan *Density*. input data pada komponen-komponen di atas seperti pada Gambar harus disesuaikan dengan banyaknya *layer* (lapisan) yang dibutuhkan untuk interpretasi *ground profile* yaitu dengan memperhatikan karakteristik geologi serta kondisi di lapangan.
5. Kemudian memilih menu *Runs* → *Add* → *Status* untuk mengetahui nilai *misfit*-nya tunggu sampai proses perhitungan *misfit*-nya berhenti dan hasilnya terlihat seperti pada Gambar L21.



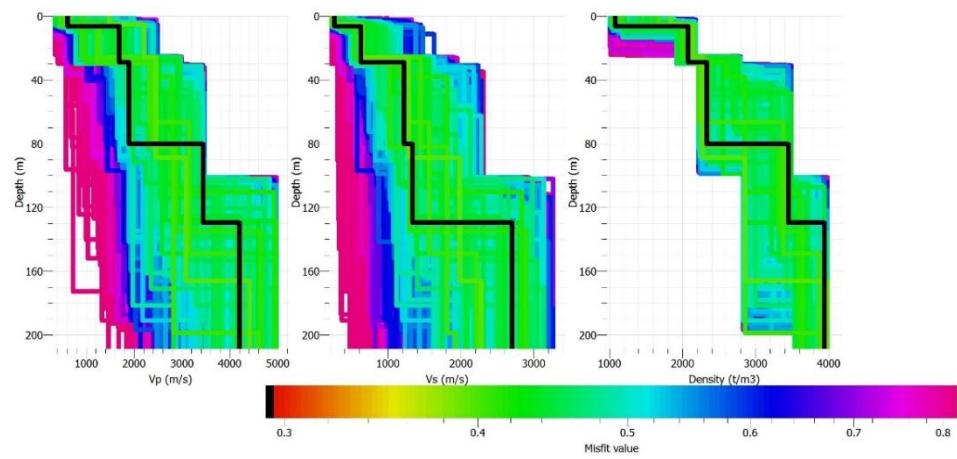
Gambar L21. Tampilan jendela *Status*

6. Memilih menu *View* → *Ellipticity* untuk melihat hasil analisis kurva seperti pada Gambar 22.



Gambar L22. Tampilan *ellipticity*

7. Kemudian untuk melihat hasil pemodelan *ground profile* memilih menu *View* → *Ground Profile* (ditampilkan 3 profil yaitu  $V_p$ ,  $V_s$  dan *density*) seperti pada Gambar L23. Diperoleh informasi kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) dan ketebalan sedimen ( $h$ ).



Gambar L23. Tampilan *ground profiles*

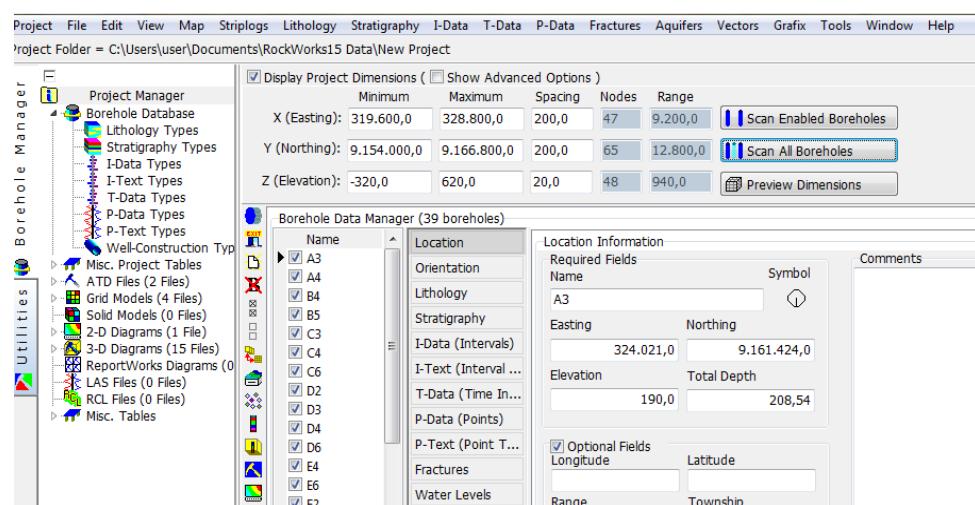
## G. Proses Pemodelan 3D Lapisan Sedimen dengan *RockWorks15*

1. Membuat *datasheet* di *Microsoft Excel* untuk memudahkan pengisian data di *RockWorks15* seperti pada Gambar L24.

|    | A  | B      | C      | D        |
|----|----|--------|--------|----------|
| 1  | ID | H0     | H1     | FORMASI  |
| 2  | A3 | 0      | 128.23 | SEDIMENT |
| 3  |    | 128.23 | 208    | BEDROCK  |
| 4  | A4 | 0      | 121.97 | SEDIMENT |
| 5  |    | 121.97 | 208    | BEDROCK  |
| 6  | B4 | 0      | 269.41 | SEDIMENT |
| 7  |    | 269.41 | 312    | BEDROCK  |
| 8  | B5 | 0      | 216.68 | SEDIMENT |
| 9  |    | 216.68 | 312    | BEDROCK  |
| 10 | C3 | 0      | 264.2  | SEDIMENT |
| 11 |    | 264.2  | 312    | BEDROCK  |
| 12 | C4 | 0      | 269.62 | SEDIMENT |
| 13 |    | 269.62 | 312    | BEDROCK  |
| 14 | C6 | 0      | 261.48 | SEDIMENT |
| 15 |    | 261.48 | 312    | BEDROCK  |
| 16 | D2 | 0      | 288.8  | SEDIMENT |
| 17 |    | 288.8  | 312    | BEDROCK  |

Gambar L24. *Datasheet* pemodelan 3D Lapisan Sedimen.

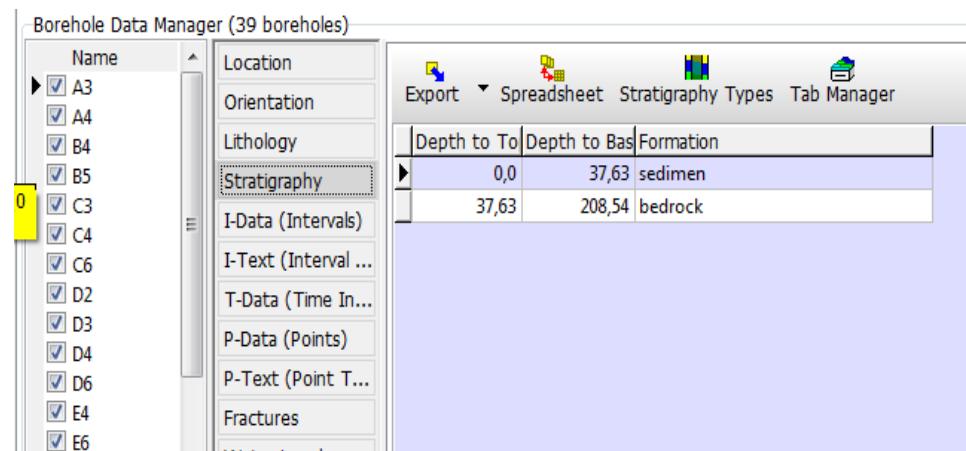
2. Membuka *software Rockworks 15* dan memilih halaman *Boreholes*, kemudian mengisi data lokasi satu-persatu di kolom *Boreholes* seperti pada Gambar L25.



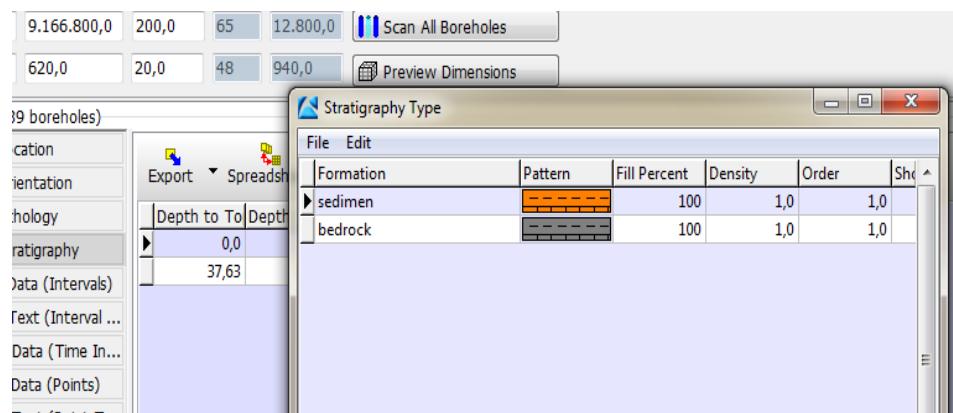
Gambar L25. Tampilan menu *Borehole* di *software Rockworks15*.

3. Mengisi data stratigrafi di kolom *borehole* seperti pada Gambar L26.

Kemudian, dipilih dua jenis lapisan yakni *sedimen* dan *bedrock* dengan cara membuka pengaturan pada *Stratigraphy Types* seperti pada Gambar L27.

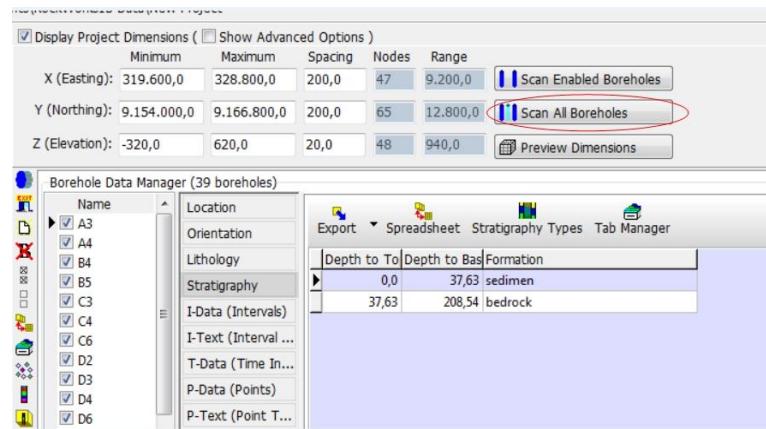


Gambar L26. Tampilan pengisian kolom *Borehole* di stratigrafi



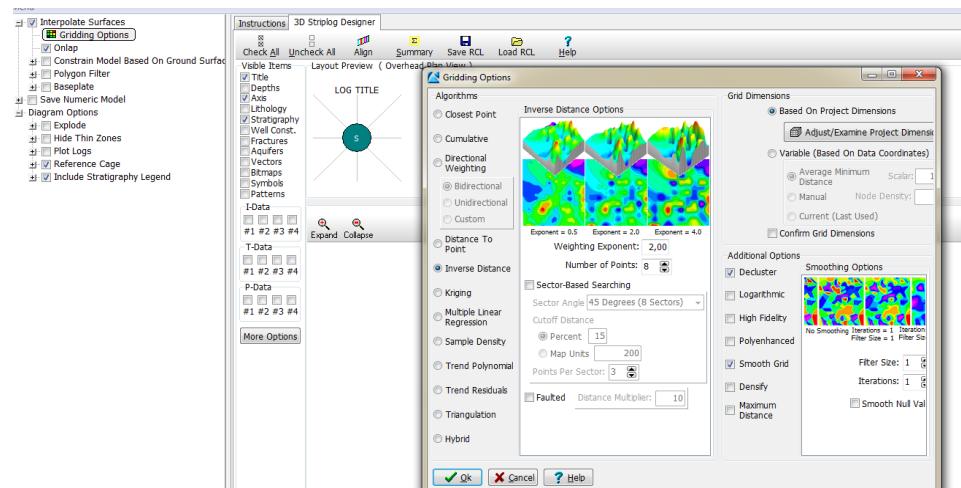
Gambar L27. Tampilan pengaturan di *Stratigraphy Types*

4. Melakukan pengisian data lokasi dan stratigrafi di kolom *borehole* untuk semua titik pengukuran. Setelah seluruh *borehole* terisi, kemudian memilih *Scan Enabled Boreholes* seperti pada Gambar L28.



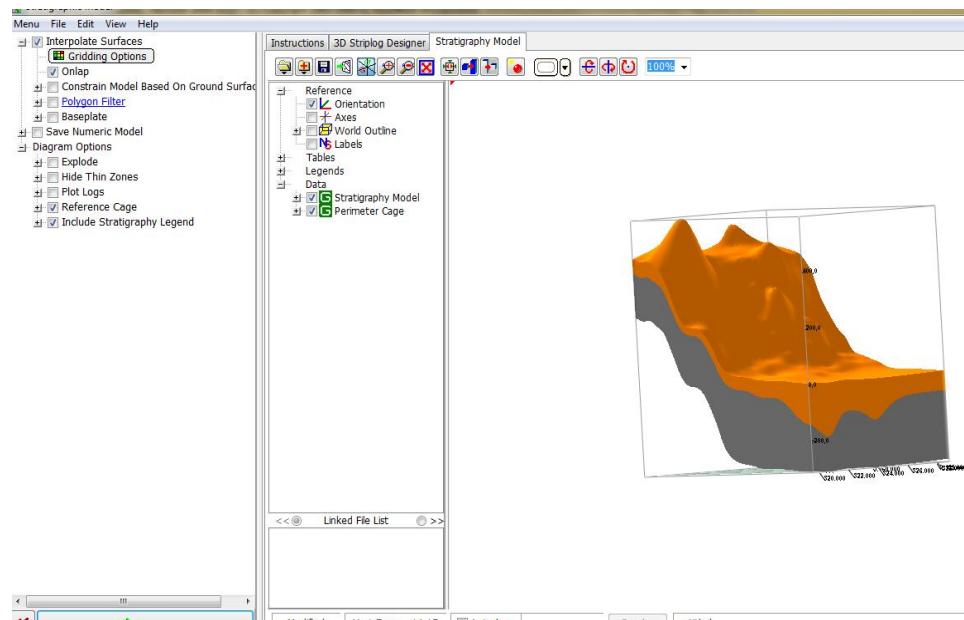
Gambar L28. Tampilan pada kolom *Scan Enabled Boreholes*

5. Memodelkan secara 3D dengan memilih menu *Stratigraphy*, kemudian pilih Model. Pemodelan dipilih pengaturan standar, yakni *Interpolate Surface* dan *Gridding* seperti pada Gambar L29.



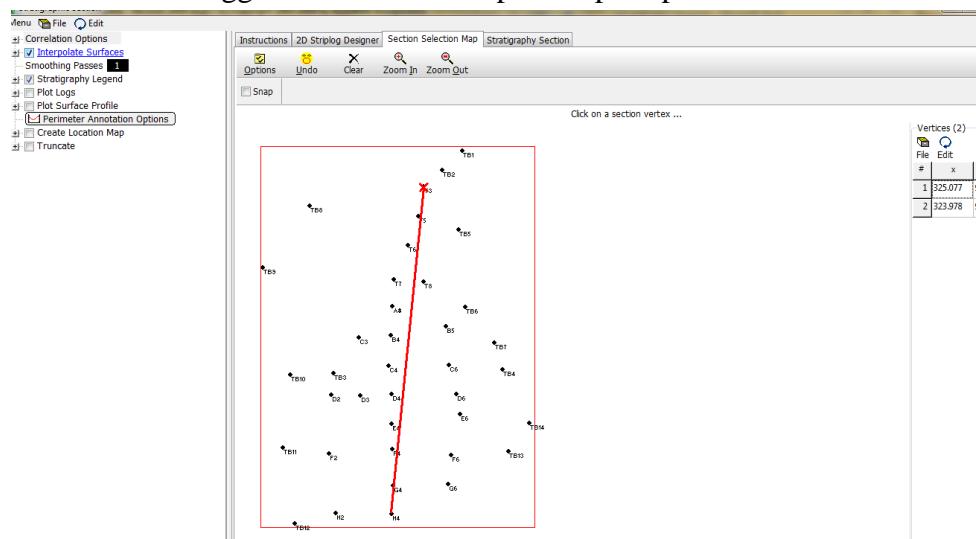
Gambar L29. Tampilan pengaturan *Gridding* pada *Interpolate Surfaces*

6. Setelah itu pilih *Process* dan akan muncul tampilan seperti pada Gambar L30.



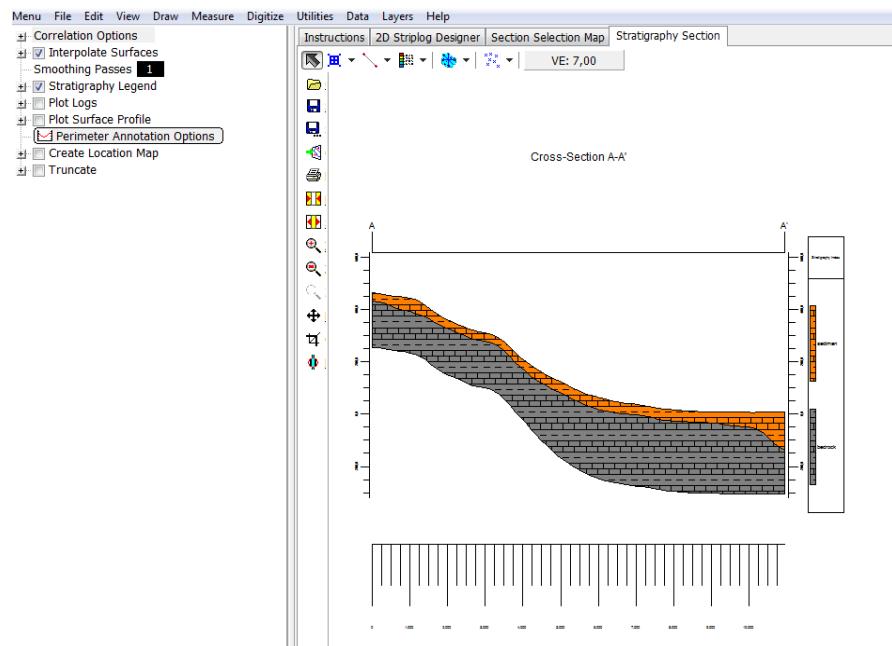
Gambar L30. Tampilan hasil pemodelan 3D lapisan sedimen dan *bedrock*

7. Melakukan sayatan hasil pemodelan 3D dengan cara memilih menu *Stratigraphy*, kemudian pilih *Section - Modeled*. Memilih garis sayatan dengan cara memasukkan titik awal dan titik akhir sayatan di tabel *Vertices* sehingga akan muncul tampilan seperti pada Gambar L31.



Gambar L31. Tampilan garis sayatan pada *Stratigraphic Section*

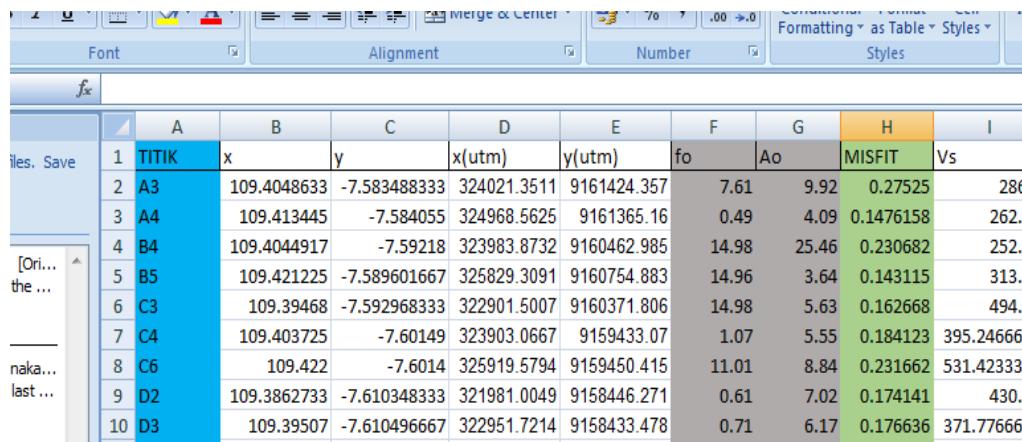
8. Kemudian pilih *Process* seperti pada Gambar L32.



Gambar L32. Tampilan *Cross-Section* dari *Stratigraphic Model*

## H. Proses Mikrozonasi dengan *Surfer12*

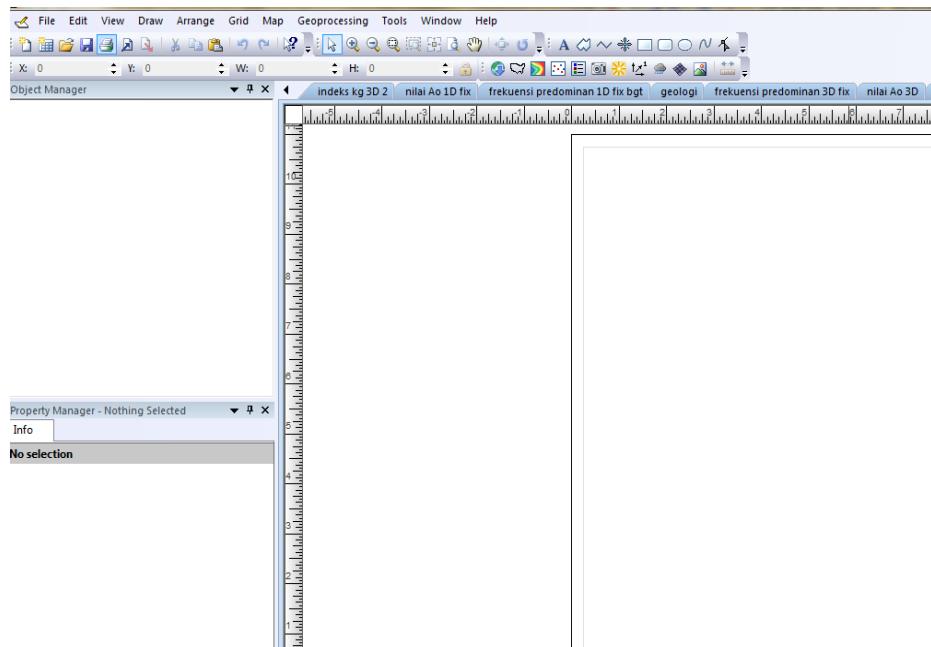
1. Membuat *datasheet* mikrozonasi pada *Microsoft Excel* seperti pada Gambar L33.



|    | A     | B           | C            | D           | E           | F     | G     | H         | I         |
|----|-------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------|-------|-----------|-----------|
| 1  | TITIK | x           | y            | x(utm)      | y(utm)      | fo    | Ao    | MISFIT    | Vs        |
| 2  | A3    | 109.4048633 | -7.583488333 | 324021.3511 | 9161424.357 | 7.61  | 9.92  | 0.27525   | 286       |
| 3  | A4    | 109.413445  | -7.584055    | 324968.5625 | 9161365.16  | 0.49  | 4.09  | 0.1476158 | 262       |
| 4  | B4    | 109.4044917 | -7.59218     | 323983.8732 | 9160462.985 | 14.98 | 25.46 | 0.230682  | 252       |
| 5  | B5    | 109.421225  | -7.589601667 | 325829.3091 | 9160754.883 | 14.96 | 3.64  | 0.143115  | 313       |
| 6  | C3    | 109.39468   | -7.592968333 | 322901.5007 | 9160371.806 | 14.98 | 5.63  | 0.162668  | 494       |
| 7  | C4    | 109.403725  | -7.60149     | 323903.0667 | 9159433.07  | 1.07  | 5.55  | 0.184123  | 395.24666 |
| 8  | C6    | 109.422     | -7.6014      | 325919.5794 | 9159450.415 | 11.01 | 8.84  | 0.231662  | 531.42333 |
| 9  | D2    | 109.3862733 | -7.610348333 | 321981.0049 | 9158446.271 | 0.61  | 7.02  | 0.174141  | 430       |
| 10 | D3    | 109.39507   | -7.610496667 | 322951.7214 | 9158433.478 | 0.71  | 6.17  | 0.176636  | 371.77666 |

Gambar L33. Tampilan data mikrozonasi

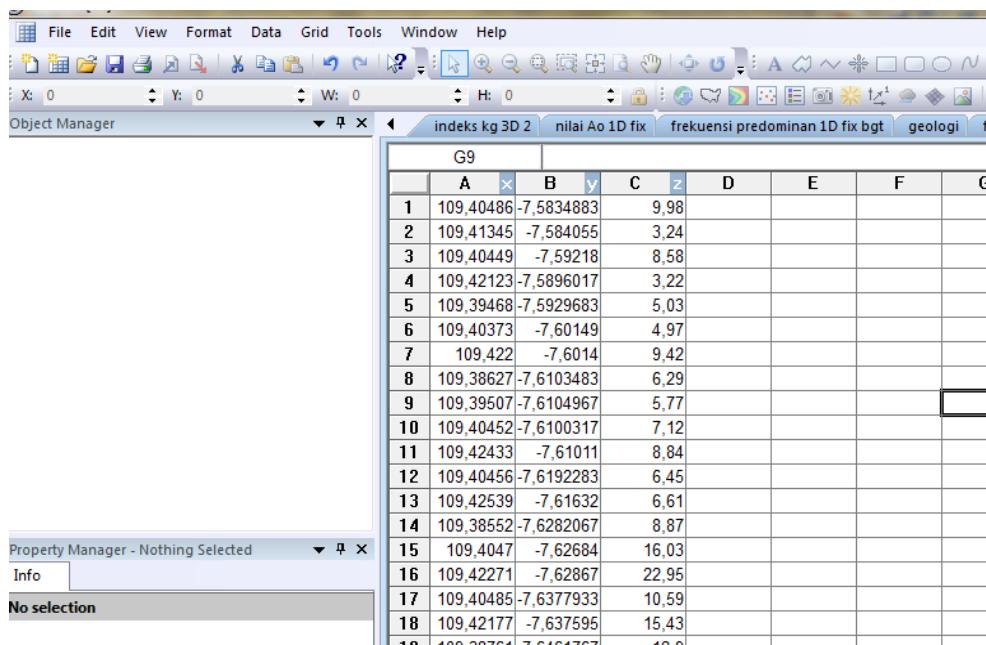
2. Membuka *software Surfer12*, tampilannya seperti pada Gambar L34.



Gambar L34. Tampilan *software Surfer12*

3. Memilih jendela *Worksheet* dengan mengklik ikon *New Worksheet*. Kemudian mengisi tabel dengan ketentuan: kolom A adalah koordinat *longitude*, kolom B adalah koordinat *latitude*, dan kolom C adalah nilai

parameter yang akan dimikrozonasi seperti pada Gambar L35. Simpan file dengan format *.dat*.



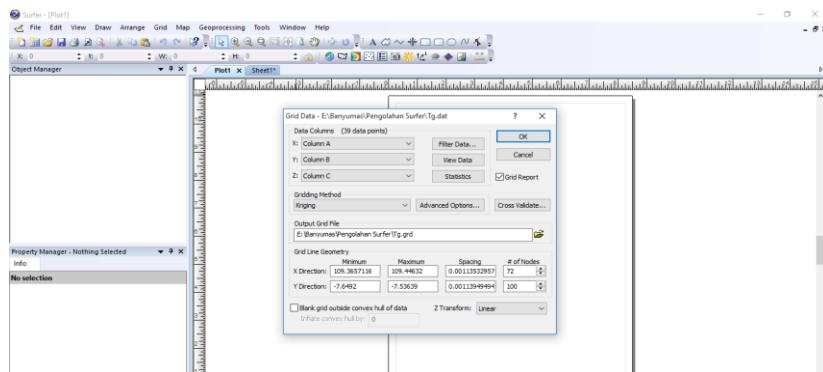
The screenshot shows the Surfer software interface with a worksheet titled 'G9'. The worksheet contains a table with 18 data points, each with X, Y, and Z coordinates. The columns are labeled A, B, C, D, E, F, and G. The data points are as follows:

|    | A         | B          | C     | D | E | F | G |
|----|-----------|------------|-------|---|---|---|---|
| 1  | 109,40486 | -7,5834883 | 9,98  |   |   |   |   |
| 2  | 109,41345 | -7,584055  | 3,24  |   |   |   |   |
| 3  | 109,40449 | -7,59218   | 8,58  |   |   |   |   |
| 4  | 109,42123 | -7,5896017 | 3,22  |   |   |   |   |
| 5  | 109,39468 | -7,5929683 | 5,03  |   |   |   |   |
| 6  | 109,40373 | -7,60149   | 4,97  |   |   |   |   |
| 7  | 109,422   | -7,6014    | 9,42  |   |   |   |   |
| 8  | 109,38627 | -7,6103483 | 6,29  |   |   |   |   |
| 9  | 109,39507 | -7,6104967 | 5,77  |   |   |   |   |
| 10 | 109,40452 | -7,6100317 | 7,12  |   |   |   |   |
| 11 | 109,42433 | -7,61011   | 8,84  |   |   |   |   |
| 12 | 109,40456 | -7,6192283 | 6,45  |   |   |   |   |
| 13 | 109,42539 | -7,61632   | 6,61  |   |   |   |   |
| 14 | 109,38552 | -7,6282067 | 8,87  |   |   |   |   |
| 15 | 109,4047  | -7,62684   | 16,03 |   |   |   |   |
| 16 | 109,42271 | -7,62867   | 22,95 |   |   |   |   |
| 17 | 109,40485 | -7,6377933 | 10,59 |   |   |   |   |
| 18 | 109,42177 | -7,637595  | 15,43 |   |   |   |   |

The 'Property Manager - Nothing Selected' panel shows 'Info' and 'No selection'.

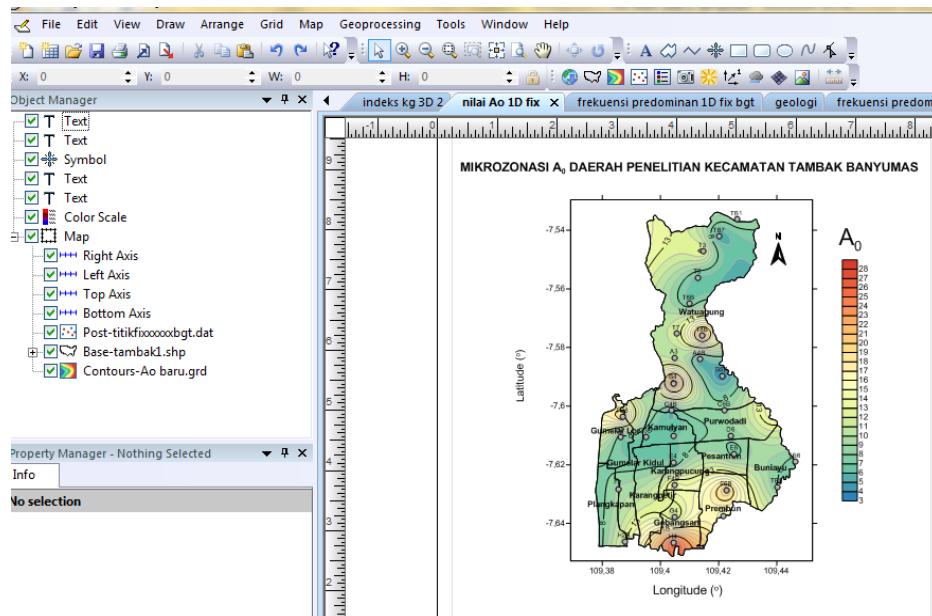
Gambar L35. Tampilan pengisian *worksheet*

- Untuk memulai proses mikrozonasi, kembali ke jendela *Plot* → menu *Grid* → *Data* → pilih file format *.dat* yang akan dimikrozonasi kemudian klik *Open*.
- Memilih metode Kriging pada tampilan pengaturan *Gridding* seperti pada Gambar L36 kemudian klik *OK*.



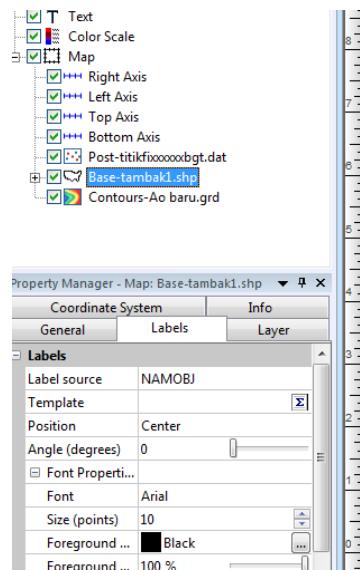
Gambar L36. Tampilan pengaturan *Gridding*

6. Menampilkan hasil *Gridding* dengan cara memilih ikon *New Contour Map* → pilih *file* yang telah disimpan dengan format .grd → klik *Open*, maka akan muncul hasil *Gridding* dalam bentuk kontur.
7. Untuk memunculkan titik pengukuran memilih ikon *New Post Map* buka *Worksheet* yang sudah disimpan dalam format .txt, dengan ketentuan kolom A adalah koordinat *longitude*, kolom B adalah *latitude*, kolom C adalah elevasi dan kolom D adalah nama titik
8. Satukan titik koordinat dengan peta kontur dengan cara memilih menu *Map* kemudian pilih *Overlay*. Pengaturan *symbol* dan pemunculan nama titik koordinat dilakukan dengan cara *Property Manager* pilih *General* kemudian *Label* seperti pada Gambar L37.



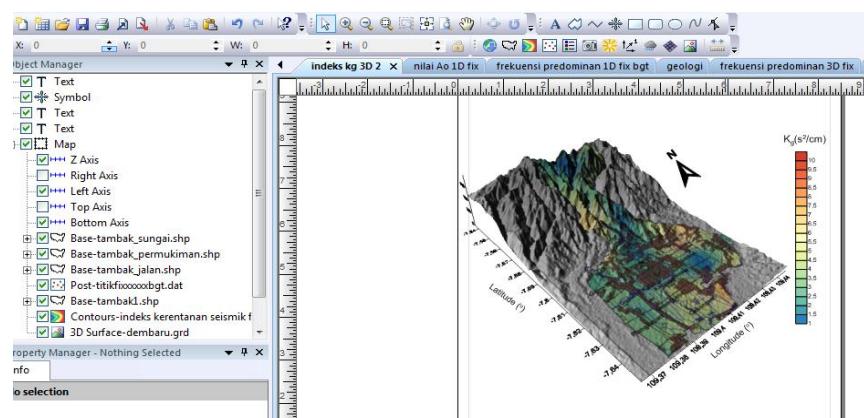
Gambar L37. Tampilan Mikrozonasi untuk 1D.

9. Untuk memunculkan nama Desa di Kecamatan Tambak memilih menu *.shp* kemudian *Labels* lalu *Label source* seperti pada Gambar L38.



Gambar L38. Tampilan untuk pengisian nama desa di *Label source*.

10. Untuk membuat mikrozonasi topografi daerah penelitian yaitu dengan cara memilih *New 3D Surface* pada *Toolbar* – pilih data DEM yang telah diunduh – mengoverlay kontur dengan memilih menu *Map* kemudian pilih *Overlay* seperti pada Gambar L39.



Gambar L39. Tampilan hasil penambahan data DEM

11. Menyimpan hasil mikrozonasi dengan pilih menu *File – Export – simpan* dalam format *.jpg*.

## Lampiran 6

### Dokumentasi Penelitian di Kecamatan Tambak

