

**ANALISIS SINYAL MIKROTREMOR DI KAWASAN JALUR SESAR
MINOR BAYAT KABUPATEN KLATEN**

SKRIPSI

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



Oleh :

Khoerul Muna
NIM. 14306141036

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

2020

LEMBAR PERSETUJUAN

Tugas Akhir Skripsi dengan Judul

ANALISIS SINYAL MIKROTREMOR PADA KAWASAN JALUR SESAR MINOR BAYAT DI KABUPATEN KLATEN

Disusun oleh :

Khoerul Muna
NIM. 14306141036

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

Yogyakarta, 16... Januari 2020

Dosen Pembimbing I

Menyetujui,

Dosen Pembimbing II

Laila Katriani, S. Si, M. Si.
NIP. 198504152012122001

Nugroho Budi Wibowo, M. Si.
NIP. 19840223200811011

Mengetahui,

Ketua Program Studi Fisika



Dr. Warsono, S. Pd., M. Si.
NIP. 196811011999031002

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir Skripsi dengan judul

**ANALISIS SINYAL MIKROTREMOR PADA KAWASAN JALUR SESAR
MINOR BAYAT KABUPATEN KLATEN**

Disusun oleh :

Khoerul Muna
NIM. 14306141036

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji Tugas Akhir Skripsi
Program Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta pada tanggal 23 Januari 2020

TIM PENGUJI

| Nama/Jabatan | Jabatan | Tanda Tangan | Tanggal |
|---|-----------------------|---|----------------|
| <u>Laila Katriani, M.Si.</u> NIP. 198504152012122001 | Ketua Penguji |  | |
| <u>Denny Darmawan, M.Sc.</u> NIP. 197912022003121002 | Penguji Utama |  | |
| Nugroho Budi Wibowo, M.Si. NIP. 198402232008011011 | Sekretaris Penguji |  | |

Yogyakarta, ... Januari 2020
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta
Dekan

Prof. Dr. Ariswan, M.Si.
NIP. 19590914 198803 1 003

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir Skripsi dengan judul

**ANALISIS SINYAL MIKROTREMOR PADA KAWASAN JALUR SESAR
MINOR BAYAT KABUPATEN KLATEN**

Disusun oleh :

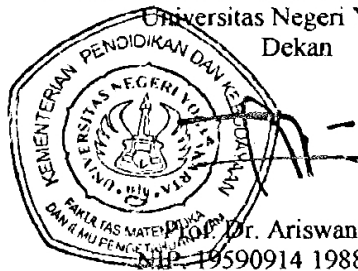
Khoerul Muna
NIM. 14306141036

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji Tugas Akhir Skripsi
Program Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta pada tanggal 23 Januari 2020

TIM PENGUJI

| Nama/Jabatan | Jabatan | Tanda Tangan | Tanggal |
|---|-----------------------|--|-----------------|
| <u>Laila Katriani, M.Si</u> NIP. 198504152012122001 | Ketua Penguji |  | 23 Januari 2020 |
| <u>Denny Darmawan, M.Sc</u> NIP. 197912022003121002 | Penguji Utama |  | 23 Januari 2020 |
| <u>Nugroho Budi Wibowo, M.Si</u> NIP. 198402232008011011 | Sekretaris Penguji |  | 23 Januari 2020 |

Yogyakarta, 24 Januari 2020
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta
Dekan



KOP. Dr. Ariswan, M.Si.
NIP. 19590914 198803 1 003

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Khoerul Muna

NIM : 14306141036

Program studi : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Judul Skripsi : Analisis Sinyal Mikrotremor Pada Kawasan Jalur Sesar Minor
Bayat Kabupaten Klaten

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

Yogyakarta, Januari 2020

Yang menyatakan,

Khoerul Muna

NIM. 14306141036

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur atas ridlo Allah SWT karya ini saya persembahkan untuk :

1. Kedua orang tua tercinta (Bapak Kholil dan Ibu Siti Khoeriyah) yang senantiasa memberikan dukungan terutama dukungan doa yang selalu dipanjatkan untuk anak-anaknya, selalu membimbing kami untuk menjadi anak yang berguna bagi Agama, Nusa dan Bangsa.
2. Kepada kakak tercinta (Mas Agus Sulaiman, Mba Inayatul Khasanah, Mba Muhlisoh, Mba Khikmi Sholihati, Mas Mohammad Nurzaman) dan untuk adik tercinta (Akhmad Sultoni) yang selalu memberikan dukungan, menyemangati untuk menggapai cita-cita dan menimba ilmu setingga mungkin.
3. Pribadi saya sendiri yang selalu berusaha menjadi lebih baik dan baik lagi, menjadi manusia yang bermanfaat.
4. Almamater Universitas Negeri Yogyakarta tempat menimba ilmu selama 4 tahun lebih. Dan sebagai tempat mendapatkan hal-hal baru dan pengalaman baru, semoga apa yang didapatkan menjadikan pribadi saya lebih baik dan bermanfaat bagi orang lain.
5. Pondok Pesantren Al-Luqmaniyyah Yogyakarta tempat menimba ilmu agama. Al-Luqmaniyyah merupakan tempat bagi saya mendalami ilmu agama lebih dalam lagi, membentuk pribadi dan karakter sesuai Agama, serta mendidik untuk menjadi pribadi yang memiliki akhlak dan budi pakerti yang baik.

MOTTO

“Taka ada satu pun di dunia ini yang kekal. Maka, ukirlah cerita indah sebagai kenangan. Karena dunia memang sebuah cerita”

(KH. Hasyim As'ari)

”In the middle of difficulty lies opportunity”

‘Di tengah-tengah kesulitan terbentang peluang’

(Albert Einstein)

“Warnai Hidup Dengan Senyuman”

(Khoerul Muna)

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum wr. wb.

Alhamdulillah segala puji atas kehadiran Allah SWT berkat rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulisan Tugas Akhir Skripsi dengan judul “Analisis Sinyal Mikrotremor pada Kawasan Jalur Sesar Minor Bayat Kabupaten Klaten “ dapat terselesaikan dengan baik.

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

1. Bapak Prof. Dr. Ariswan selaku Dekan FMIPA UNY yang telah mengesahkan Tugas Akhir Skripsi ini.
2. Bapak Jalsin Ikhsan, Ph.D. Selaku Wakil Dekan I FMIPA UNY yang telah menyetujui izin pelaksanaan penelitian.
3. Bapak Dr. Warsono, M. Si. Selaku Ketua Jurusan Pendidikan Fisika UNY yang telah membantu dalam hal administrasi.
4. Ibu Laila Katriani, M. Si. Selaku Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan dan motivasi sehingga Tugas Akhir Skripsi ini dapat terselesaikan.
5. Bapak Nugroho Budi Wibowo, M. Si. Selaku Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, motivasi, dan selalu sabar dalam memberikan arahan, mulai dari kegiatan PKL dilanjutkan Tugas Akhir Skripsi. Terima Kasih untuk ilmu dan waktunya.
6. Bapak Denny Darmawan, M. Si. Selaku pembimbing bidang geofisika FMIPA UNY sekaligus sebagai penguji I yang telah membimbing dan memberikan arahan.
7. Bapak Bambang Ruwanto, M. Si. Selaku Pembimbing Akademik yang telah membimbing dan memberikan nasihat selama studi di Universitas Negeri Yogyakarta.

8. Bapak/Ibu dosen Program Studi Fisika FMIPA UNY. Terima kasih atas bimbingan dan ilmu yang sudah diajarkan. Semoga apa yang sudah diajarkan menjadi ilmu yang bermanfaat.
9. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Kelas I Stasiun Geofisika D.I. Yogyakarta yang telah membantu dan memfasilitasi peralatan lapangan selama penelitian berlangsung.
10. Tim Geo Klaten (Kartini, Hanif, dan Rofiki) untuk kerelaan berjuang Bersama.
11. Teman-teman kelas Fisika B 2014 yang saya anggap keluargaku di kampus.
12. Teman-teman Geofisika 2014 yang menjadi tempat berdiskusi tempat curhat, dan saling membantu menyelesaikan Tugas Akhir Skripsi.
13. Semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu sudah yang telah membantu menyelesaikan Tugas Akhir Skripsi baik secara langsung atau tidak langsung.

Tidak ada kata lain selain ucapan terima kasih yang sebesar besarnya. Penulis menyadari bahwa penulisan tugas akhir skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, maka dari itu kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan untuk penyempurnaan tugas akhir skripsi ini. Semoga karya ini dapat memberi kemanfaatan bagi pembaca khususnya dan masyarakat pada umumnya. Amiin.

Yogyakarta, Januari 2020

Penulis

Khoerul Muna

NIM. 14306141036

ANALISIS SINYAL MIKROTREMOR DI KAWASAN JALUR SESAR MINOR BAYAT KABUPATEN KLATEN

Oleh :

Khoerul Muna
NIM. 14306141036

ABSTRAK

Penelitian tentang karakteristik sinyal mikrotremor telah dilakukan di kawasan jalur sesar minor Bayat yang bertujuan untuk mengetahui mikrozonasi nilai frekuensi dominan (f_0) dan nilai faktor amplifikasi (A_0) di sekitar sesar minor Bayat di wilayah Kecamatan Bayat, mengetahui struktur bawah permukaan berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser, dan mengetahui hubungan antara arah sumber gelombang geser dengan jalur sesar minor Bayat berdasarkan kurva *H/V rotate* dan *rose diagram*.

Penelitian ini dibatasi pada kawasan dengan koordinat geografis $7^{\circ}44'21,492''$ - $7^{\circ}46'36,438$ LS dan $110^{\circ}36'49''$ - $110^{\circ}40'45''$ BT dengan 27 titik pengukuran. Pengambilan data dilakukan menggunakan *Digital Portable Seismograph* merek Taide tipe TDL-303S dengan durasi pengukuran ± 30 menit di setiap titik pengukuran. Data yang diperoleh berupa sinyal mikrotremor yang diolah dengan metode HVSR pada *software Geopsy* sehingga didapatkan parameter f_0 dan A_0 . Parameter tersebut digunakan untuk data *input* pengolahan menggunakan metode *ellipticity curve* dengan *software Dinver* sehingga didapatkan *ground profile* yang menyatakan nilai kecepatan gelombang geser (V_s) beserta kedalamannya (H). Nilai V_s beserta H digunakan untuk pemodelan *rose diagram* dan *solid model 3D*. Data sinyal mikrotremor juga diolah dengan metode *H/V rotate* yang bertujuan untuk mengetahui arah datangnya sumber gelombang.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nilai f_0 di kawasan jalur sesar minor Bayat berkisar 0,5 – 16 Hz, dengan nilai tertingginya berada pada Formasi Wonosari-Punung dan nilai terendahnya pada Formasi Gunungapi Merapi, sedangkan untuk nilai A_0 berkisar 0,6 - 5,8. Nilai V_s berkisar 388 – 1.988 m/s yang menunjukkan struktur bawah permukaan berupa batuan lunak sampai batuan keras. Adapun arah sumber datang gelombang berdasarkan *H/V rotate* dan *rose diagram* rata-rata mengarah ke utara - selatan yaitu arah tegak lurus jalur sesar minor Bayat. Jenis sesar ini berupa sesar mendatar yang dikuatkan dengan adanya perbedaan nilai V_s berupa blok utara dan blok selatan pada jalur sesar minor Bayat.

Kata Kunci : Mikrotremor, Sesar Minor Bayat, HVSR.

MICROTREMOR SIGNAL ANALYSIS ON BAYAT MINOR FAULT LINE IN KLATEN REGENCY

By :

Khoerul Muna
NIM. 14306141036

ABSTRACT

The research on microtremor characteristics had been carried out in Bayat minor fault line area and was aimed to determine the microzonation of predominant frequency (f_0) and amplification factors (A_0) around Bayat minor fault line in Bayat subdistrict, to determine subsurface structure based on the value of shear wave velocity, and to determine relationship between the direction of shear wave with Bayat minor fault line based on H/V rotate curve and rose diagram.

The research was carried out in area with geographical coordinates of $7^{\circ}44'21,492''$ - $7^{\circ}46'36,438$ S and $110^{\circ}36'49''$ - $110^{\circ}40'45''$ E with 27 measurement points. Data retrieval was done using Taide TDL-303S Digital Portable Seismograph with duration of ± 30 minutes for each measurement. Data obtained in the form of microtremor signals were then processed by HVSR method in Geopsy to get f_0 , and A_0 . These parameters were used as data input for ellipticity curve method using Dinver to obtain ground profiles that show the value of shear wave velocity (V_s) and depth (H). The value of V_s and H were used to get rose diagram and 3D solid model. Microtremor signals also were processed by H/V rotate method to obtain the direction of the wave's source.

The result showed that f_0 value in Bayat minor fault line is ranged between 0,5 Hz – 16 Hz, with the highest value is at Wonosari-Punung Formation and the lowest value is at Merapi Formation. A_0 value is ranged between 0,6 – 5,8, and V_s value is ranged between 388 – 1.988 m/s which shows subsurface structure in the form of soft rock to hard rock. The direction of the wave's source based on H/V rotate and rose diagram is mostly oriented to north-south that is oriented perpendicular to Bayat minor fault line. This fault is a strike slip fault proved with the presence of V_s value difference in the form of northern block and southern block on the Bayat minor fault line.

Keywords : Microtremor, Minor Bayat Fault Line, HVSR.

DAFTAR ISI

Contents

| | |
|--|------|
| HALAMAN JUDUL | iv |
| HALAMAN PERSETUJUAN | ivi |
| HALAMAN PENGESAHAN | iiiv |
| HALAMAN PERNYATAAN | iv |
| HALAMAN PERSEMBAHAN | v |
| MOTTO | vi |
| KATA PENGANTAR | vii |
| ABSTRAK | ix |
| DAFTAR ISI | xi |
| DAFTAR LAMPIRAN | xiv |
| DAFTAR TABEL | xv |
| BAB I | 1 |
| PENDAHULUAN | 1 |
| A. Latar Belakang | 1 |
| B. Identifikasi Masalah | 6 |
| C. Batasan Masalah | 7 |
| D. Rumusan Masalah | 7 |
| E. Tujuan Penelitian | 8 |
| F. Manfaat Penelitian | 8 |
| BAB II | 9 |
| DASAR TEORI | 9 |
| A. Gempabumi | 9 |
| B. Gelombang Seismik | 12 |
| 1. Gelombang badan (<i>body wave</i>) | 17 |
| 2. Gelombang permukaan (<i>surface wave</i>) | 20 |
| C. Sesar (<i>Fault</i>) | 22 |
| D. Sesar minor Bayat | 26 |
| E. Mikrotemor | 27 |
| F. Transformasi Fourier | 29 |
| G. Penghalusan Data | 32 |

| | | |
|-----------------------------------|---|----|
| H. | <i>Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR)</i> | 33 |
| I. | Mikrozonasi | 35 |
| J. | Frekuensi Predominan | 36 |
| K. | Faktor Amplifikasi..... | 38 |
| L. | Poisson Ratio (σ)..... | 39 |
| M. | Densitas (ρ) | 41 |
| N. | Litologi | 42 |
| O. | Ketebalan Lapisan Sedimentasi (H)..... | 43 |
| P. | <i>Ground Profile Vs</i> | 44 |
| Q. | <i>H/V Rotate dan Rose Diagram</i> | 45 |
| R. | Geologi Daerah Penelitian..... | 47 |
| | 1. Kecamatan Bayat | 47 |
| | 2. Stratigrafi Daerah Penelitian..... | 48 |
| BAB III | | 52 |
| METODE PENELITIAN | | 52 |
| A. | Waktu dan Tempat Penelitian | 52 |
| B. | Alat dan Bahan Penelitian..... | 52 |
| C. | Teknik Pengambilan Data..... | 54 |
| D. | Teknik Analisis Data..... | 57 |
| E. | Diagram Alir Penelitian..... | 64 |
| BAB IV | | 65 |
| HASIL DAN PEMBAHASAN | | 65 |
| A. | Mikrozonasi Frekuensi Predominan (f_0) dan Faktor Amplifikasi (A_0) ... | 65 |
| | 1. Mikrozonasi Frekuensi Predominan (f_0)..... | 66 |
| | 2. Mikrozonasi Faktor Amplifikasi (A_0)..... | 68 |
| B. | Model Penampang Seismik Kurva <i>H/V</i> | 69 |
| C. | Analisis Lapisan Bawah Permukaan dengan Metode <i>Ellipticity Curve</i> ... | 74 |
| D. | <i>Solid Model</i> Kecepatan Gelombang Geser di Kawasan Sesar Minor Bayat 76 | |
| E. | Analisis <i>H/V Rotate dan Rose Diagram</i> di Kawasan Sesar. | 81 |
| | 1. <i>H/V rotate</i> di kawasan sesar | 81 |
| | 2. <i>Rose diagram</i> | 86 |
| BAB V | | 88 |

| | |
|-----------------------------------|-----------|
| KESIMPULAN DAN SARAN | 88 |
| A. Kesimpulan..... | 88 |
| B. Saran | 89 |
| DAFTAR PUSTAKA | 90 |
| LAMPIRAN 1..... | 95 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|--|-----|
| Lampiran 1. Kriteria <i>Reliable</i> dan <i>Clear Peak</i> | 95 |
| Lampiran 2. Hasil Analisis Nilai V_s , menggunakan Metode Inversi, Arah Sumber Gelombang, dan Spektrum Penampang Seismik Kurva H/V | 104 |
| Lampiran 3. Tahapan Pengolahan Sinyal Mikrotremor..... | 113 |
| Lampiran 4. Dokumentasi Pengambilan Data | 135 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 1. Klasifikasi Tanah berdasarkan Nilai Frekuensi Predominan | 37 |
| Tabel 2. Klasifikasi Nilai Faktor Amplifikasi | 39 |
| Tabel 3. Harga Poisson <i>Ratio</i> dari Batuan Sedimen | 40 |
| Tabel 4. Nilai Variasi Densitas Batuan | 42 |
| Tabel 5. Data Nilai V_s pada Beberapa Batuan | 43 |
| Tabel 6. Klasifikasi <i>Site</i> Berdasarkan Nilai V_s Hasil Penyelidikan Tanah dan Laboratorium SNI 1726 | 43 |
| Tabel 7. Nilai Kecepatan Gelombang Primer pada beberapa Batuan | 43 |
| Tabel 8. Klasifikasi <i>Site</i> berdasarkan Nilai V_s | 42 |
| Tabel 9. Syarat Penelitian Mikrotremor | 42 |
| Tabel 10. Nilai <i>Threshold</i> | 60 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 1. Klasifikasi Tanah berdasarkan Nilai Frekuensi Predominan | 37 |
| Tabel 2. Klasifikasi Nilai Faktor Amplifikasi | 39 |
| Tabel 3. Harga Poisson <i>Ratio</i> dari Batuan Sedimen | 40 |
| Tabel 4. Nilai Variasi Densitas Batuan | 42 |
| Tabel 5. Data Nilai V_s pada Beberapa Batuan | 43 |
| Tabel 6. Klasifikasi <i>Site</i> Berdasarkan Nilai V_s Hasil Penyelidikan Tanah dan Laboratorium SNI 1726 | 43 |
| Tabel 7. Nilai Kecepatan Gelombang Primer pada beberapa Batuan | 43 |
| Tabel 8. Klasifikasi <i>Site</i> berdasarkan Nilai V_s | 42 |
| Tabel 9. Syarat Penelitian Mikrotremor | 42 |
| Tabel 10. Nilai <i>Threshold</i> | 60 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 1. Lempeng Tektonik | 1 |
| Gambar 2. Subduksi antara Lempeng Samudera dan Lempeng Benua | 2 |
| Gambar 3. Peta Geologi Kecamatan Bayat | 4 |
| Gambar 4. Ilustrasi Gerakan Lempeng Bumi | 10 |
| Gambar 5. Ilustrasi Teori Kekenyalan Elastis | 11 |
| Gambar 6. Komponen Tegangan (<i>stress</i>) | 13 |
| Gambar 7. Gelombang Badan dan Gelombang Permukaan..... | 17 |
| Gambar 8. Gelombang Primer (P) | 18 |
| Gambar 9. Gelombang Sekunder (S) | 19 |
| Gambar 10. Gelombang Rayleigh | 21 |
| Gambar 11. Gelombang Love | 22 |
| Gambar 12. Kedudukan Bidang Sesar dan Arah Garis Ruang | 23 |
| Gambar 13. Sesar Naik (<i>thrust fault</i>) | 24 |
| Gambar 14. Sesar Turun (<i>normal fault</i>)..... | 25 |
| Gambar 15. Sesar Mendatar (<i>strike-slip fault</i>)..... | 25 |
| Gambar 16. Metode Stereografi..... | 26 |
| Gambar 17. Zona Sesar dengan Metode Stereografi | 27 |
| Gambar 18. Sinyal Mikrotremor di <i>Geopsy</i> | 28 |
| Gambar 19. Sketsa Arah <i>Rose Diagram</i> dengan Zona Sesar..... | 47 |
| Gambar 20. Peta Administrasi Kecamatan Bayat | 48 |
| Gambar 21. (a) Laptop, (b) Antena GPS, (c) Seismometer,(d) <i>Digitizer</i> . (e) Kompas. | 54 |
| Gambar 22. Desain Survai Penelitian Sesar Minor Bayat | 55 |
| Gambar 23. Data yang terekam saat pengukuran..... | 57 |
| Gambar 24. <i>Cutting</i> Sinyal Mikrotremor Titik TA 66..... | 57 |
| Gambar 25. Kurva <i>H/V</i> menggunakan Matlab..... | 58 |

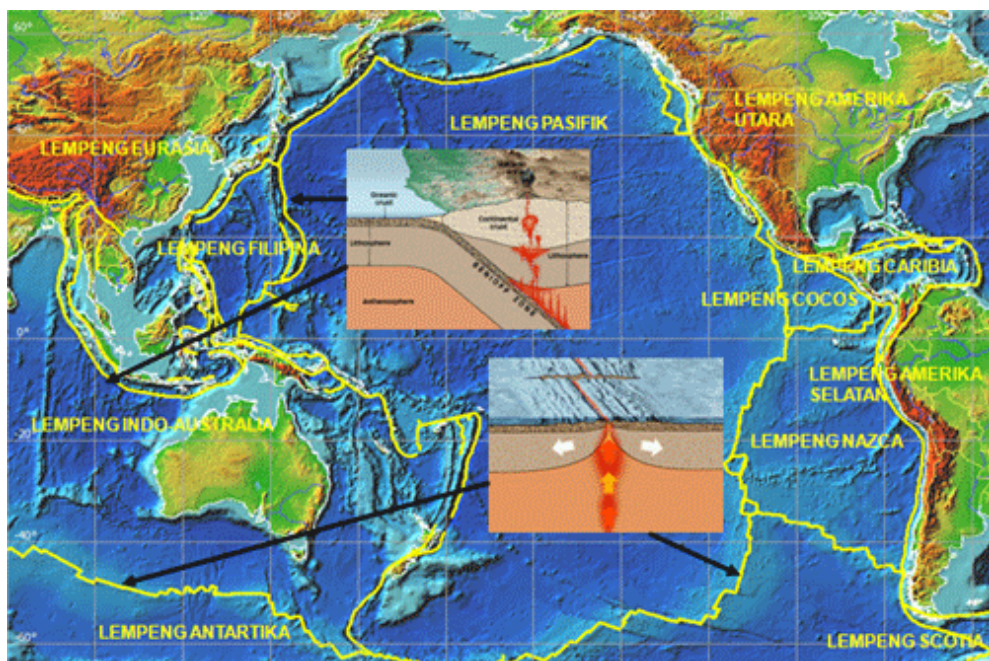
| | |
|--|----|
| Gambar 26. <i>Ground profile</i> Nilai Kecepatan Gelombang S(V_s) dan Kedalaman(<i>depth</i>) | 61 |
| Gambar 27. Penampingan Seismik Lintasan 4 di Jalur Sesar Minor Bayat..... | 62 |
| Gambar 28. a) Spektrum <i>H/V</i> Titik TA0, b) <i>Rose Diagram</i> Titik TA0..... | 63 |
| Gambar 29. Diagram Alir Penelitian | 64 |
| Gambar 30. Mikrozonasi <i>f_o</i> yang di Overlay dengan Jalur Sesar Bayat | 67 |
| Gambar 31. Mikrozonasi Nilai Faktor Ampifikasi | 68 |
| Gambar 32. Lintasan Penampang Seismik di Kawasan Sesar Minor Bayat.... | 70 |
| Gambar 33. Model Lintasan Penampang Seismik di Jalur Sesar Minor Bayat(a) Lintasan 1, (b) Lintasan 2, (c) Lintasan 3, (d) Lintasan 4..... | 72 |
| Gambar 34. Model Lintasan Penampang Seismik di Jalur Sesar Minor Bayat(a) Lintasan 5, (b) Lintasan 6, (c) Lintasan 7, (d) Lintasan 8..... | 73 |
| Gambar 35. Kurva <i>Ground Profile</i> Nilai Kecepatan Gelombang Geser (V_s) dan Kedalaman (<i>depth</i>) | 76 |
| Gambar 36. <i>Solid Model</i> 3D Nilai V_s | 77 |
| Gambar 37. Sayatan <i>Solid Model</i> 3D..... | 77 |
| Gambar 38. ampilan Sayatan 3D (a). Sayatan Pertama, (b) Sayatan Kedua, (c) Sayatan ketiga, (d) Sayatan Keempat, (e) Sayatan Kelima..... | 78 |
| Gambar 39. <i>Spektrum H/V</i> menggunakan <i>Software Geopsy</i> untuk Titik Pengukuran (a) TA0, (b) TA6, (c) TA7, (d) TA12, (e) TA24, (f) TA29Re . . . | 83 |
| Gambar 40. <i>Spektrum H/V</i> menggunakan <i>Software Geopsy</i> untuk Titik Pengukuran (a) TA40, (b) TA41, (c) TA66, (d) TA73..... | 84 |
| Gambar 41. <i>Rose Diagram</i> Titik Pengukuran TA8 | 86 |
| Gambar 42. Persebaran Titik Pengukuran di Sekitar Jalur Sesar Bayat | 87 |

BAB I

PENDAHULUAN

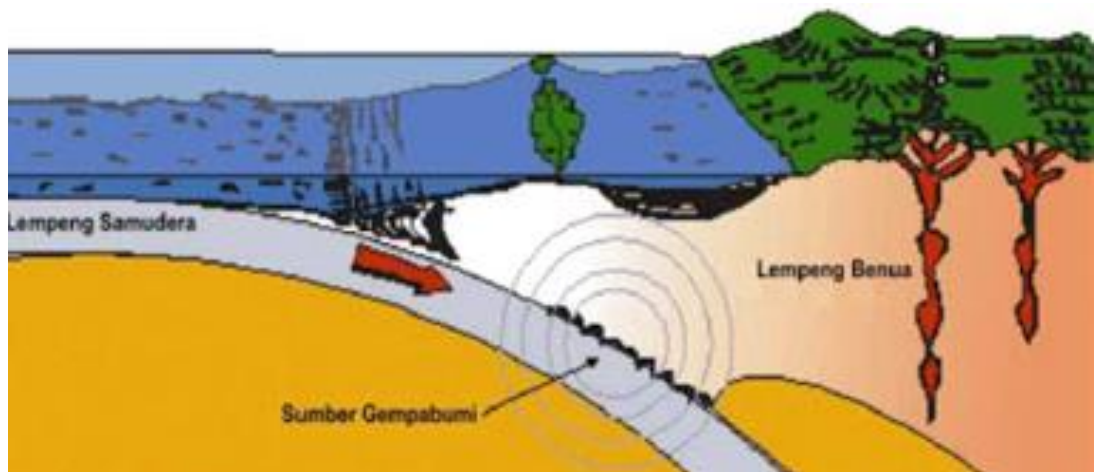
A. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang terletak di antara dua benua besar yaitu Benua Asia dan Benua Australia. Di samping itu, Indonesia juga berada di antara tiga pertemuan lempeng tektonik besar (Gambar 1). Pertama Lempeng Pasifik di bagian timur yang merupakan lempeng paling aktif di dunia bergerak ke barat - barat laut dengan kecepatan sekitar 10 cm per tahun, kedua Lempeng Eurasia di bagian utara bergerak ke arah barat daya dengan kecepatan sekitar 13 cm per tahun, dan ketiga Lempeng Indo-Australia di bagian selatan bergerak ke arah utara - timur laut dengan kecepatan sekitar 7 cm per tahun.



Gambar 1. Lempeng Tektonik (BMKG, 2011)

Daerah pertemuan dua lempeng dikenal dengan zona subduksi. Subduksi merupakan pertemuan dua lempeng yang diakibatkan karena adanya pergerakan lempeng yang saling mendekat. Subduksi bisa terjadi di batas antara lempeng benua dan samudra atau sesama lempeng samudra. Gambar 2 menunjukkan pertemuan antara Lempeng Indo-Australia dengan Lempeng Eurasia yang mengakibatkan menyusupnya Lempeng Indo-Australia ke bawah Lempeng Eurasia karena Lempeng Indo-Australia relatif lebih tipis dan memiliki berat jenis yang lebih besar dibanding Lempeng Eurasia. Akibatnya akan terjadi akumulasi energi desakan yang melampaui batas elastisitas lempeng, sehingga muncul bidang patahan pada lempeng. Pelepasan energi ini diwujudkan dalam bentuk gempa bumi. Pertemuan Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia berada di sepanjang lepas pantai Sumatra – Jawa hingga Nusa Tenggara. Pertemuan dua lempeng tersebut terjadi di laut, sehingga jika terjadi gempa bumi dengan kedalaman dangkal berpotensi tsunami.



Gambar 2. Subduksi antara Lempeng Samudera dan Lempeng Benua (Suparka, 2011)

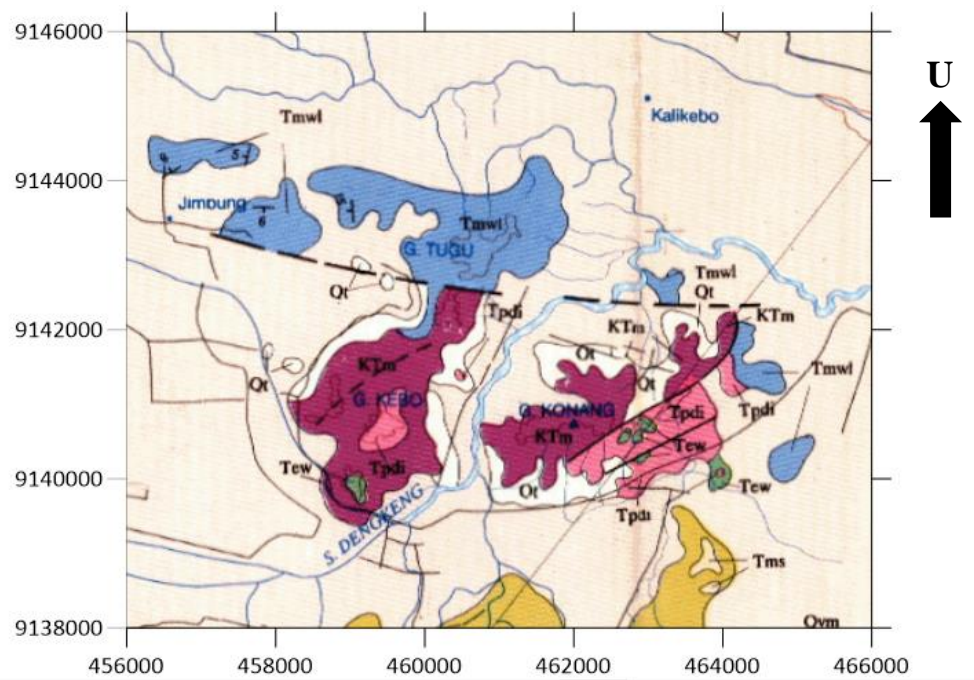
Beberapa gempa bumi besar yang terjadi akibat aktivitas tektonik pertemuan Lempeng Indo-Australia dengan Lempeng Eurasia di antaranya gempa Bengkulu 2000 (Mw 7,8), gempa Aceh-Andaman diikuti tsunami tahun 2004 (Mw 9,2), gempa Nias Simeulue tahun 2005 (Mw 8,7), gempa Jawa Selatan diikuti tsunami tahun 2006 (Mw 7,6), gempa Bengkulu tahun 2007 (Mw 8,4 dan 7,9), gempa Padang tahun 2009 (Mw 7,6), gempa Aceh tahun 2012 (Mw 8,5), gempa Mentawai (Mw 7,8), dan gempa Lombok (Mw 7,0) (Azanella, 2018).

Aktivitas subduksi menyebabkan terbentuknya banyak bidang patahan atau sesar. Sesar merupakan suatu rekahan pada batuan yang telah mengalami pergeseran sehingga terjadi perpindahan antara bagian yang berhadapan, dengan arah yang sejajar dengan bidang (Asikin, 1979). Beberapa sesar aktif yang terbentuk akibat aktivitas subduksi Lempeng Indo-Australia dan Eurasia adalah Sesar Opak di Yogyakarta, Sesar Grindulu di Jawa Timur, dan Sesar Cimandiri di Jawa Barat.

Sesar Opak merupakan sesar aktif yang memanjang dari Kabupaten Bantul Yogyakarta sampai Kabupaten Klaten Jawa Tengah. Diduga penyebab utama gempa tektonik tanggal 27 Mei 2006 yang memiliki kekuatan gempa diperkirakan 5,9 Skala Richter dengan pusat gempa berada pada kedalaman 33 kilometer adalah Sesar Opak (Abidin *et al.*, 2009). Wilayah yang mengalami kerusakan parah dan banyak korban jiwa berada di kanan-kiri jalur Sesar Opak yaitu Kecamatan Kretek, Bambanglipuro, Jetis, Imogiri, Piyungan, Berbah, Kalasan, Prambanan dan Klaten (IAGI, 2006). Gempa ini menewaskan lebih dari 5000 jiwa dan melukai lebih dari 20.000 jiwa, sementara kerusakan bangunan lebih dari 10.000

buah (BAPPENAS, 2006). Selain kedekatan lokasi dengan Sesar Opak, tingkat kerusakan dan banyaknya korban jiwa juga dipengaruhi oleh keberadaan sesar minor yang banyak ditemukan di beberapa wilayah.

Tingkat kerusakan bangunan dan bahaya gempabumi tidak hanya dipengaruhi oleh aktivitas tektonik dan kedekatan dengan zona subduksi saja, tetapi juga dipengaruhi oleh jenis dan karakteristik batuan. Pergerakan sesar dapat menyebabkan gempabumi dan daerah di sekitar sesar menjadi wilayah yang berbahaya. Kabupaten Klaten merupakan wilayah yang dekat dengan zona subduksi dan Sesar Opak. Oleh karena itu, wilayah Kecamatan Bayat dikategorikan sebagai wilayah dengan resiko tinggi bencana yang ditimbulkan dari aktivitas tektonik, dibuktikan dengan fakta kerusakan yang diakibatkan dari gempa Yogyakarta 2006 yaitu rumah rusak total 3477, rusak berat 4190, dan rumah rusak ringan 8023 (BAPPEDA, 2006).



Gambar 3. Peta Geologi Kecamatan Bayat (Surono *et al.*, 1992)

Berdasarkan uraian yang telah disampaikan di atas, keberadaan sesar minor seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 dapat memicu terjadinya bencana gempabumi dan menjadi ancaman tersendiri bagi masyarakat yang tinggal di daerah tersebut. Sementara itu penelitian tentang sesar minor Kecamatan Bayat masih terbatas. Metode yang dapat mengidentifikasi keberadaan jalur sesar minor yaitu metode mikroseismik dengan mengkaji mikrozonasi nilai frekuensi dominan, mikrozonasi nilai amplifikasi, analisis penampang seismik kurva H/V , analisis bawah permukaan berdasarkan nilai V_s , kontrol struktur berdasarkan analisis arah sumber gelombang dengan menggunakan $H/V rotate$ dan pemodelan *rose diagram*.

Parameter nilai frekuensi dominan dan amplifikasi diperoleh dari metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR). Metode HVSR merupakan metode yang membandingkan antara komponen vertikal dari sinyal dengan komponen horizontal dari sinyal yang diperoleh dari pengukuran mikrotremor (Nakamura, 1989). Parameter nilai frekuensi dominan dan amplifikasi tersebut dapat digunakan untuk mengetahui struktur geologi yang berpengaruh pada tingkat kerusakan bangunan akibat gempabumi. Hasil dari pengolahan HVSR dilanjutkan dengan menggunakan metode *ellipticity curve*. Metode ini digunakan untuk mendapatkan nilai kecepatan gelombang geser (V_s). Gelombang geser atau gelombang S (Gelombang Sekunder) merupakan gelombang yang simpangannya tegak lurus dengan arah penjalaran gelombang. Gelombang ini merupakan salah satu jenis dari gelombang badan (*body wave*). Nilai gelombang geser ini

digunakan untuk merepresentasikan kondisi bawah permukaan suatu wilayah (Kanli, 2011).

Kurva H/V dan nilai gelombang geser diolah kembali menjadi penampang seismik kurva H/V yang direpresentasikan berdasarkan hubungan antara ketebalan lapisan sedimen dengan nilai H/V . Adapun nilai ketebalan sedimen diperoleh dari nilai periode dominan (T_0), kemudian spektrum dalam domain periode diubah ke dalam domain kedalaman untuk merepresentasikan ketebalan lapisan sedimen dan faktor amplifikasi di titik pengukuran. Metode mikroseismik sering digunakan untuk mengidentifikasi kawasan rawan gempa bumi. Selain itu, metode ini juga dapat digunakan untuk mengidentifikasi keberadaan sesar di suatu wilayah.

Penelitian yang sudah dilakukan berkaitan dengan sesar minor di Bayat di antaranya penelitian oleh Ikhwanur *et al.*, tahun 2018 dengan metode proyeksi stereografi, sedangkan metode mikroseismik yang digunakan untuk mengidentifikasi jalur sesar pernah dilakukan di Campo Imperatore Italia Tengah oleh Pischitta *et al.*, tahun 2017. Berdasarkan pemaparan di atas, diharapkan penelitian yang dilakukan dengan menggunakan metode mikroseismik dapat menambah referensi mengenai keberadaan sesar minor di Kecamatan Bayat.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas dapat diidentifikasi beberapa permasalahan dalam penelitian ini, yaitu :

1. Indonesia merupakan negara yang berada di antara tiga lempeng besar dunia, yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Pasifik. Aktivitas lempeng tersebut menjadi sumber utama terjadinya gempa bumi.
2. Pulau Jawa terletak di dekat zona subduksi Lempeng Indo-Australia dengan Eurasia, sehingga rawan terjadi gempa bumi
3. Kecamatan Bayat merupakan salah satu daerah di Indonesia yang rentan terhadap bencana alam terutama adanya jalur sesar di daerah tersebut.
4. Terbatasnya informasi mengenai identifikasi sesar minor menggunakan metode mikroseismik di Kecamatan Bayat.

C. Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi sebagai berikut :

1. Pengambilan data dilakukan di Kecamatan Bayat di sepanjang jalur sesar.
2. Pengambilan data mikroseismik mengacu pada aturan yang ditetapkan oleh *SESAME European Research Project* (SESAME, 2004).
3. Pengambilan data mikroseismik menggunakan *Digital Portable Seismograph* merek Taide tipe TDL-303S dengan titik penelitian sebanyak 27 data.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah yang dipaparkan sebelumnya, maka dapat ditentukan rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana mikrozonasi nilai frekuensi dominan dan nilai amplifikasi di wilayah Kecamatan Bayat?

2. Bagaimana arah dan struktur bawah permukaan jalur sesar minor di Kecamatan Bayat berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser?
3. Bagaimana hubungan antara arah sumber gelombang geser dengan jalur sesar berdasarkan dari spektrum kurva *H/V rotate*?

E. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, tujuan penelitian ini adalah :

1. Mengetahui mikrozonasi nilai frekuensi dominan dan nilai amplifikasi sesar minor Bayat di sekitar wilayah Kecamatan Bayat.
2. Mengetahui arah dan struktur bawah permukaan jalur sesar minor di Kecamatan Bayat berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser.
3. Mengetahui hubungan antara arah sumber gelombang geser dengan jalur sesar berdasarkan dari kurva *H/V rotate* dan *rose diagram*.

F. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Memberikan informasi dan gambaran adanya sesar minor di daerah Klaten terutama Kecamatan Bayat.
2. Memberikan informasi kepada pemerintah daerah setempat dalam antisipasi bencana terkait pembangunan dan pengembangan infrastruktur.
3. Sebagai bahan masukan dan referensi untuk penelitian selanjutnya.

BAB II

DASAR TEORI

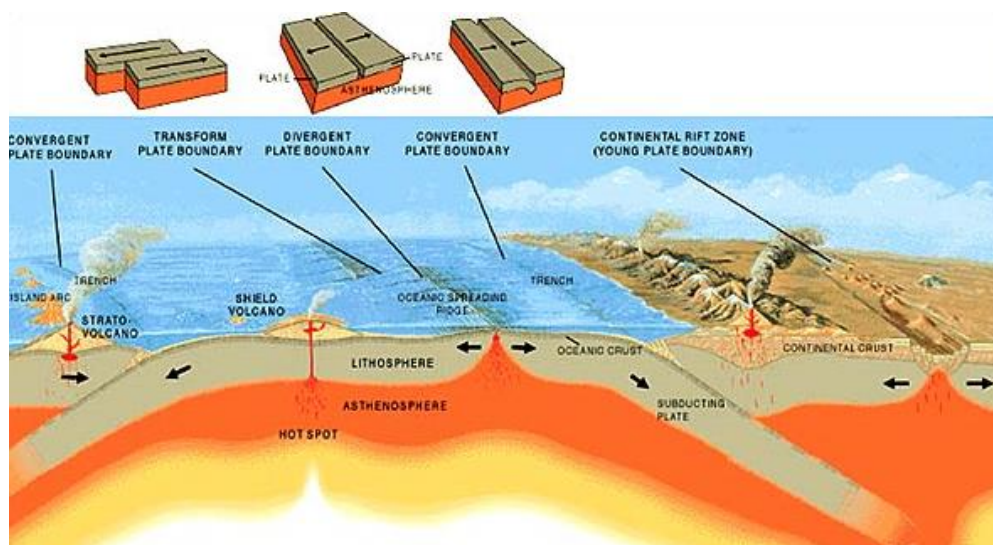
A. Gempabumi

Gempabumi adalah peristiwa bergetarnya bumi akibat pelepasan energi di dalam bumi secara tiba-tiba, ditandai dengan patahnya lapisan batuan pada kerak bumi. Penyebab gempabumi bermacam-macam, dapat bersumber dari aktivitas tektonik, aktivitas vulkanik (gunung api), meteor jatuh, longsor, bom nuklir bawah permukaan dan masih banyak yang lainnya, tetapi di antara beberapa penyebab tersebut, aktivitas tektonik merupakan faktor utama dari terjadinya gempabumi. Gempa tektonik adalah getaran yang dihasilkan dari peristiwa pematahan atau gesekan batuan akibat benturan dua lempeng bumi secara perlahan. Benturan dua lempeng akan mengakibatkan gempabumi, karena adanya peristiwa pelepasan energi. Energi yang dihasilkan berupa getaran yang dipancarkan ke segala arah dalam bentuk gelombang seismik sehingga efeknya dapat dirasakan di permukaan bumi sebagai getaran atau guncangan tanah (BMKG, 2015).

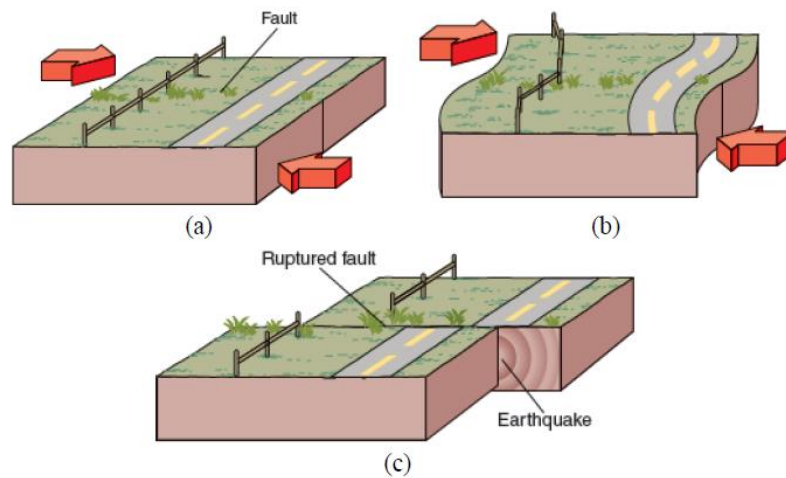
Teori lempeng tektonik menyatakan, permukaan bumi terbagi atas kira-kira 20 pecahan besar yang disebut dengan lempeng, ketebalannya kurang lebih 70 Km. sifat lempeng kaku dan bergerak di atas astenosfer yang cair dan panas, akibatnya lempeng tektonik bebas untuk bergerak dan saling berinteraksi satu sama lain. Daerah perbatasan lempeng-lempeng tektonik merupakan tempat yang memiliki kondisi tektonik yang aktif sehingga sangat rawan menyebabkan gempabumi, dan pembentukan dataran tinggi (BMKG, 2015).

Terdapat 3 kemungkinan pergerakan lempeng tektonik relatif terhadap lempeng lainnya, yaitu kedua lempeng saling menjauh (divergen), saling mendekat (konvergen) dan saling geser (transform) (Widodo, 2012). Gerakan lempeng kadang macet dan saling mengunci yang mengakibatkan terjadi pengumpulan energi yang berlangsung terus menerus sampai suatu saat batuan pada lempeng tektonik tersebut tidak kuat lagi menahan sehingga terjadi pelepasan mendadak yang dikenal dengan gempa bumi (Thomson, 2006). Ilustrasi gerakan lempeng bumi dapat dilihat pada Gambar 4.

Teori Kekenyalan Elastis (*elastic rebound theory*) menyatakan bahwa gempa bumi terjadi akibat pergerakan sesar di dalam kerak bumi yang disebabkan oleh pelepasan mendadak dari energi *strain* elastik apabila melampaui batas, sehingga batuan tersebut akan mengalami patah (*rupture*) atau kembali ke bentuk semula (*rebound*). Semakin besar energi yang dilepaskan semakin besar pula gempa bumi yang terjadi (Novianta dan Setiyaningsih, 2015). Ilustrasi penyebab gempa bumi berdasarkan teori kekenyalan elastis ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 4. Ilustrasi Gerakan Lempeng Bumi (Thomson, 2006)



Gambar 5. Ilustrasi Teori Kekenyalan Elastis (Plummer *et al.*, 2016)

Gambar 5(a) menunjukkan keadaan awal batuan di kawasan sesar (*fault*) dengan *stress* yang bekerja padanya. *Stress* merupakan gaya yang bekerja terhadap satuan luas (*force/area*). Gambar 5(b) menunjukkan *stress* menyebabkan *strain* terakumulasi dalam jangka waktu lama dan menyebabkan perubahan bentuk (*deformasi*) pada batuan. *Strain* yaitu hasil deformasi akibat gaya *stress* yang dapat diwujudkan dalam bentuk perubahan panjang atau volume. Gambar 5(c) menunjukkan bahwa *strain* telah terakumulasi dalam waktu yang lama hingga melampaui batas keelastisan batuan dan menyebabkan batuan tersebut patah di sepanjang jalur sesarnya disertai dengan pelepasan energi ke segala arah dan menyebabkan gempa bumi.

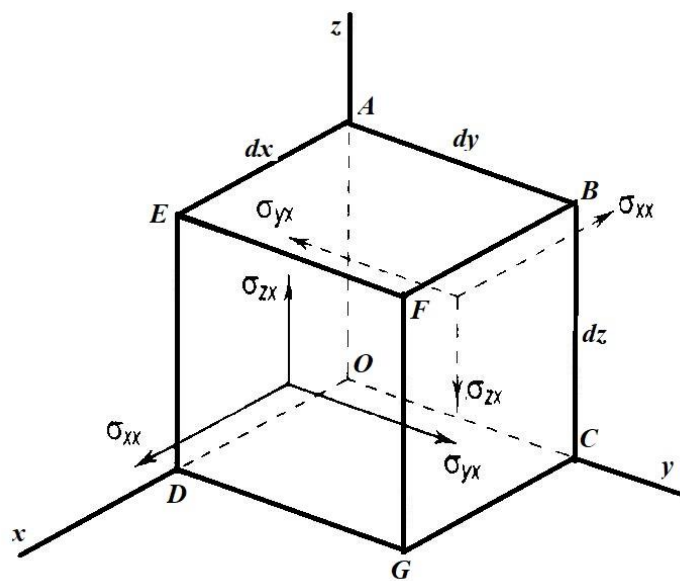
Gempabumi secara alamiah tidak dapat dihindari dan sulit diprediksi, sehingga saat terjadi gempa bumi menimbulkan banyak kerugian dan korban jiwa. Tingkat kerusakan gempa bumi dapat diperkirakan berdasarkan intensitas gempa tersebut. Intensitas adalah besaran yang digunakan untuk mengukur suatu gempa

selain magnitudo. Magnitudo adalah sebuah besaran yang menyatakan besarnya energi seismik yang dipancarkan oleh sumber gempa. Besaran ini akan bernilai sama walaupun diukur di tempat yang berbeda. Skala yang sering digunakan untuk menyatakan magnitudo gempa adalah skala Richter (*Richter scale*). Intensitas gempabumi dinyatakan dalam skala Mercally yang biasa disebut MMI (*Modified Mercally Intensity*). Gempa dengan magnitudo yang sama namun terjadi pada dua lokasi yang berbeda akan memberikan nilai intensitas yang berbeda (Wald *et al.*, 1999).

B. Gelombang Seismik

Gelombang seismik merupakan gelombang mekanik yang merambat di dalam bumi, penjaran gelombang seismik memerlukan medium untuk merambat (Young dan Freedman, 2003). Gelombang seismik termasuk dalam gelombang elastis karena melalui medium elastis. Oleh karena itu, perambatan gelombangnya tergantung pada elastisitas medium perambatannya. Gelombang seismik juga membawa energi yang menjalar ke segala arah di seluruh bagian bumi. Konsep elastisitas berkaitan dengan deformasi batuan yang dialami oleh suatu medium akibat adanya tegangan (*stress*) yang menyebabkan perubahan ukuran dan bentuk (*strain*) (Telford *et al.*, 1990). Tegangan (*stress*) merupakan gaya per satuan luas. Apabila gaya yang bekerja tegak lurus terhadap permukaan, maka tegangan yang demikian disebut dengan tegangan normal (*normal stress*), sedangkan jika gaya yang bekerja sejajar dengan permukaan disebut tegangan geser (*shearing stress*). Apabila gaya yang bekerja tidak sejajar ataupun tegak lurus terhadap permukaan, maka tegangannya dapat diuraikan ke dalam komponen normal dan geser.

Adapun regangan (*strain*) adalah perubahan bentuk dan ukuran suatu benda yang elastis akibat adanya tegangan (*stress*) yang bekerja pada benda tersebut. Jika ditinjau dari tegangan dan regangan yang bekerja pada suatu medium homogen berupa kubus, persamaan gelombang seismik dapat dijabarkan melalui Gambar 6.



Gambar 6. Komponen Tegangan (*stress*) (Telford *et al.*, 1990).

Gambar 6 menjelaskan bahwa tegangan normal arah sumbu *x* ditunjukkan oleh σ_{xx} , sedangkan tegangan geser ditunjukkan oleh σ_{yx} , dan σ_{zx} . *Stress* yang bekerja pada setiap permukaan medium dipandang dalam keadaan tidak setimbang. Komponen-komponen gaya yang bekerja pada salah satu permukaan misalkan permukaan ABCO adalah :

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

dengan σ_{xx} adalah *stress* searah sumbu x pada bidang yang tegak lurus dengan sumbu x , σ_{yx} adalah *stress* searah sumbu y pada bidang yang tegak lurus dengan sumbu x , σ_{zx} adalah *stress* searah sumbu z pada bidang yang tegak lurus dengan sumbu x , $\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} dx$ adalah perubahan *stress* searah sumbu x yang tegak lurus dengan sumbu x , $\frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial x} dx$ adalah perubahan *stress* searah sumbu y yang tegak lurus dengan sumbu x , dan $\frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial x} dx$ adalah perubahan *stress* searah sumbu z yang tegak lurus dengan sumbu x .

Jika *stress* bekerja pada permukaan yang berhadapan (misalkan ABCO dan EFGD), maka arah gaya yang bekerja akan saling berlawanan, sehingga diperoleh *stress* total :

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

Stress pada benda tersebut bekerja pada area dengan luas $dydz$, dan volume $dx dy dz$, maka akan diperoleh gaya per satuan volume pada elemen medium tersebut pada arah sumbu x, y, z yang dapat ditulis dengan $\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} ; \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial y} ; \frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial z}$, sehingga total gaya per satuan volume pada arah sumbu x adalah :

$$F = \left(\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial z} \right) dx dy dz \quad (3)$$

dengan $dx dy dz$ adalah satuan volume kubus. Menurut Hukum Newton II, gaya adalah perkalian antara massa (m) dan percepatan (a). Apabila dikaitkan dengan persamaan densitas benda $\rho = \frac{m}{V}$, maka :

$$F = ma = \rho Va = \rho(dx dy dz) \left(\frac{d^2 u}{dt^2} \right) \quad (4)$$

$$\rho(dx dy dz) \left(\frac{d^2 u}{dt^2} \right) = \left(\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial z} \right) dx dy dz \quad (5)$$

sehingga

$$\rho \left(\frac{d^2 u}{dt^2} \right) = \left(\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial z} \right) \quad (6)$$

Persamaan (6) merupakan persamaan gerak searah sumbu x . Dengan cara yang sama, dapat diperoleh persamaan gerak pada arah yang berbeda.

Hubungan antara *stress* (σ) dan *strain* (ε) normal ataupun geser dari bentuk diferensiasi Hukum Hooke dapat dirumuskan dengan persamaan 7 (Telford *et al*, 1990).

$$\sigma_{ii} = \lambda' \theta + 2\mu \varepsilon_{ii} \quad (7)$$

dengan λ' adalah konstanta lame, σ adalah tegangan, ε adalah regangan, μ menyatakan modulus geser (N/m^2), dan θ adalah perubahan volume per satuan volume yang disebabkan oleh perubahan regangan (*strain*) normal yang didefinisikan pada persamaan 9, dimana :

$$i = x, y, z ; \sigma_{ij} = \mu \varepsilon_{ij} ; i, j = x, y, z ; i \neq j \quad (8)$$

$$\theta = \varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy} + \varepsilon_{zz} ; \mu = \frac{\sigma_{xy}}{2\varepsilon_{xy}} \quad (9)$$

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_{yx} &= \varepsilon_{xy} = \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \\ \varepsilon_{yz} &= \varepsilon_{zy} = \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \\ \varepsilon_{zx} &= \varepsilon_{xz} = \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Dengan menerapkan persamaan (7), (8), (9), dan (10), maka persamaan (6) dapat diubah menjadi persamaan (11) :

$$\begin{aligned}\rho \left(\frac{d^2u}{dt^2} \right) &= \left(\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial z} \right) = \lambda' \frac{\partial \theta}{\partial x} + \mu \nabla^2 u + \mu \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \right. \\ &\quad \left. \frac{\partial w}{\partial z} \right) = (\lambda' + \mu) \frac{\partial \theta}{\partial x} + \mu \nabla^2 u \\ \rho \left(\frac{d^2u}{dt^2} \right) &= (\lambda' + \mu) \frac{\partial \theta}{\partial x} + \mu \nabla^2 u\end{aligned}\quad (11)$$

dengan

$$\nabla^2 u = \left(\frac{d^2u}{dx^2} + \frac{d^2u}{dy^2} + \frac{d^2u}{dz^2} \right) \quad (12)$$

Melalui cara yang sama, persamaan (11) dapat diterapkan untuk sumbu yang berbeda yaitu sumbu y , dan z , maka akan diperoleh persamaan (13) dan (14) :

$$\rho \left(\frac{d^2v}{dt^2} \right) = (\lambda' + \mu) \frac{\partial \theta}{\partial y} + \mu \nabla^2 v \quad (13)$$

$$\rho \left(\frac{d^2w}{dt^2} \right) = (\lambda' + \mu) \frac{\partial \theta}{\partial z} + \mu \nabla^2 w \quad (14)$$

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

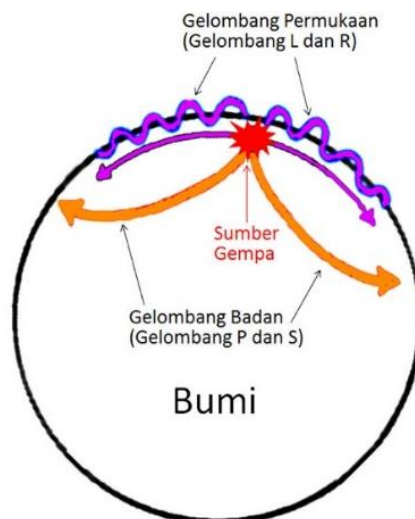
Gelombang seismik merambat ke segala arah pada medium rambatnya. Secara tiga dimensi arah perambatannya dinyatakan dalam sumbu x , y , dan z . Selanjutnya persamaan (11) didiferensialkan terhadap x , persamaan (13) terhadap y , persamaan (14) terhadap z , selanjutnya dijumlahkan maka akan menjadi bentuk persamaan (15).

$$\begin{aligned} \rho \frac{d^2}{dt^2} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) \\ = (\lambda' + \mu) \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \right) + \mu \nabla^2 \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) \end{aligned}$$

sehingga

$$\frac{\rho}{(\lambda' + 2\mu)} \frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} = \nabla^2 \theta \quad (15)$$

Persamaan (15) merupakan persamaan dasar gelombang seismik yang digunakan untuk menentukan kecepatan rambat gelombang seismik berdasarkan tipe gelombangnya. Gelombang seismik dibagi menjadi dua jenis, yaitu gelombang badan (*body wave*) dan gelombang permukaan (*surface wave*) (Gambar 7).



Gambar 7. Gelombang Badan dan Gelombang Permukaan (Ammon, 2005)

1. Gelombang badan (*body wave*)

Gelombang badan adalah gelombang yang menjalar dalam medium elastis dan arah perambatannya ke seluruh bagian dalam bumi. Berdasarkan gerak

partikel pada media dan arah penjarannya, gelombang badan dapat dibedakan menjadi dua yaitu gelombang primer (P) dan gelombang sekunder (S).

a. Gelombang primer (P)

Gelombang P merupakan jenis gelombang longitudinal karena simpangannya sejajar dengan arah penjarannya. Gelombang P dapat melewati semua medium (padat, cair dan gas) dengan arah getarannya ke depan dan ke belakang sehingga materi yang dilaluinya mengalami tekanan dan peregangan seperti ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Gelombang Primer (P) (DPKLTS, 2016)

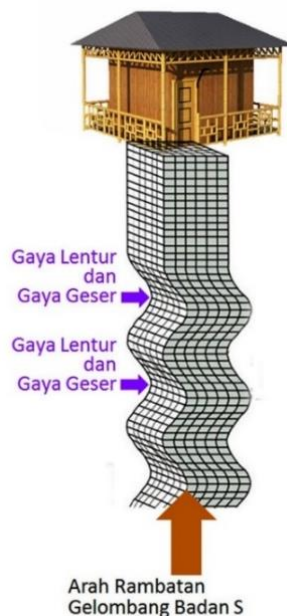
Gelombang P memiliki kecepatan penjaran paling cepat yaitu antara 1,5 km/s sampai 8 km/s pada kerak bumi. Kecepatan gelombang P dapat dikemukakan dengan persamaan (Elnashai dan Sarno, 2008) :

$$V_p = \sqrt{\frac{\lambda' + 2\mu}{\rho}} \quad (16)$$

dengan V_p adalah kecepatan gelombang P (m/s), μ adalah rigiditas atau modulus geser (N/m^2), λ adalah konstanta lame, dan ρ adalah densitas (kg/m^3).

b. Gelombang sekunder (S)

Gelombang S adalah salah satu gelombang badan (*body wave*) yang memiliki simpangan tegak lurus terhadap arah rambatannya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9. Gelombang S termasuk gelombang transversal, yakni gerak partikel tegak lurus dengan rambatan gelombang. Gelombang ini waktu tibanya setelah gelombang P, sehingga gelombang tercatat setelah gelombang P pada *seismograph*. Gelombang S hanya merambat pada medium padat saja dan tidak dapat merambat pada fluida sehingga tidak dapat terdeteksi pada inti bumi bagian luar sedangkan inti bagian dalam mampu dilewati. Nilai kecepatan gelombang S adalah dari 3 km/s hingga 4 km/s di kerak bumi, lebih dari 4,5 km/s di dalam mantel bumi, dan 2,5 km/s hingga 3 km/s di dalam inti bumi.



Gambar 9. Gelombang Sekunder (S) (DPKLTS, 2016)

Kecepatan gelombang S dapat diperlihatkan dengan persamaan 17, dengan μ menunjukkan rigiditas atau modulus geser (N/m^2) dan ρ adalah densitas (kg/m^3) (Dentith dan Stephen, 2014) :

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (17)$$

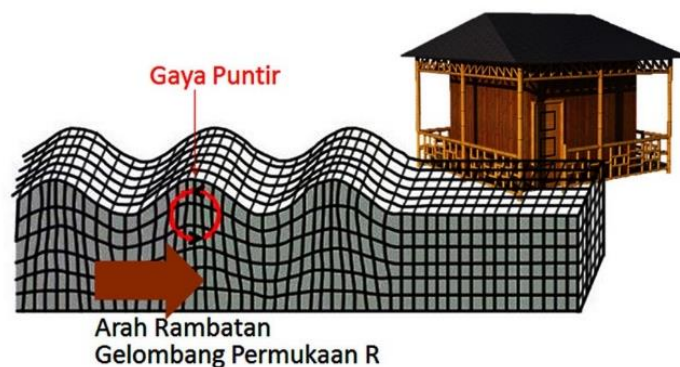
2. Gelombang permukaan (*surface wave*)

Gelombang permukaan adalah gelombang yang menjalar di permukaan bumi. Gelombang permukaan lebih berpotensi merusak karena memiliki frekuensi rendah dan amplitudo besar yang menjalar pada permukaan bebas (*free surface*) (Susilawati, 2008). Nilai amplitudo akan semakin rendah jika semakin menjalar masuk ke dalam bumi karena adanya dispersi gelombang. Gelombang permukaan adalah salah satu gelombang seismik selain gelombang badan. Berdasarkan sifat gerakan partikel mediumnya, terdapat dua jenis gelombang permukaan, yaitu gelombang Rayleigh dan gelombang Love.

a. Gelombang Rayleigh

Gelombang Rayleigh atau dikenal juga dengan nama *ground roll* merupakan salah satu gelombang permukaan yang gerakan partikelnya menyerupai elips dan tegak lurus terhadap permukaan arah penjalarnya (Telford *et al.*, 1990) yang memiliki kecepatan dari 2,0 km/s hingga 4,2 km/s (Gambar 10). Gelombang Rayleigh merambat pada permukaan bebas medium berlapis maupun homogen. Gelombang ini terjadi karena adanya interferensi antara gelombang

tekan dengan gelombang geser secara konstruktif (Susilawati, 2008). Gelombang Rayleigh adalah gelombang yang dispersif dengan periode yang lebih panjang, dan lebih cepat mencapai material yang lebih dalam dibandingkan dengan gelombang yang memiliki periode pendek, sehingga gelombang Rayleigh dapat digunakan untuk menentukan struktur tanah di suatu area.



Gambar 10. Gelombang Rayleigh (DPKLTS, 2016)

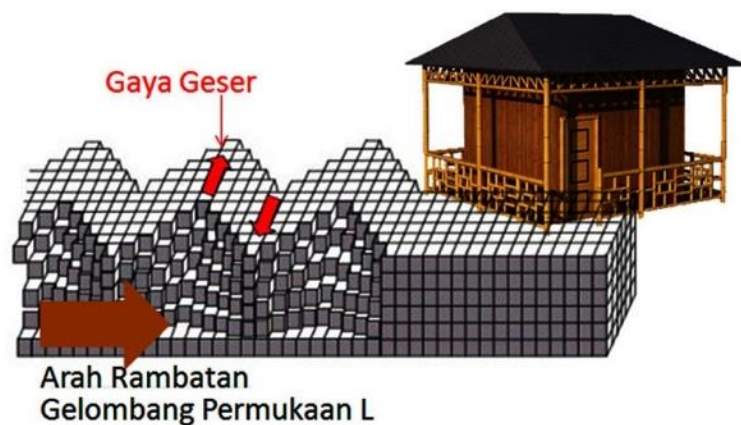
Kecepatan gelombang Rayleigh bergantung pada konstanta elastis dan kecepatannya lebih kecil dari V_s . Persamaan kecepatan gelombang Rayleigh ditunjukkan pada persamaan (15) (Elnashai dan Sarno, 2008).

$$V_R = 0,92\sqrt{v_s} \quad (18)$$

b. Gelombang Love

Gelombang Love merupakan gelombang permukaan yang menjalar dalam bentuk gelombang transversal. Gelombang Love merambat pada permukaan bebas medium berlapis yang penjarannya paralel dengan permukaannya (Gadallah dan Fisher, 2009). Gelombang Love merupakan gelombang permukaan

yang menyebabkan tanah mengalami pergeseran pada arah horizontal. Gerakan partikel medium mirip dengan gerakan pada gelombang S. Kecepatan gelombang ini di permukaan bumi (V_L) adalah dari 2,0 km/s hingga 4,4 km/s (Hidayati, 2010). Ilustrasi gelombang Love ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Gelombang Love (DPKLTS, 2016)

Kecepatan penjaralan gelombang Love bergantung pada panjang gelombangnya dan bervariasi di sepanjang permukaan. Gelombang Love lebih cepat dibanding dengan gelombang Rayleigh. Gelombang Love terbentuk akibat interferensi konstruktif dari pantulan-pantulan gelombang seismik pada permukaan bebas dan tidak dapat merambat di medium cair. Persamaan kecepatan gelombang Love (V_Q) dapat dinyatakan dalam persamaan berikut (Lowrie, 2007).

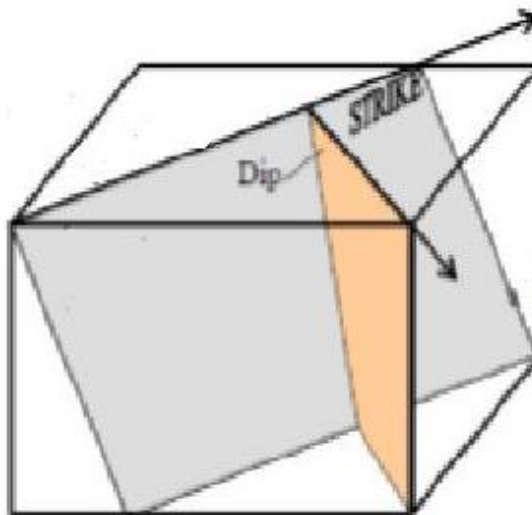
$$V_R < V_Q < V_S \quad (19)$$

C. Sesar (*Fault*)

Sesar adalah fraktur atau zona patahan antara dua blok batuan. Menurut Plummer *et al.* (2016), sesar adalah rekahan pada lapisan batuan yang mengalami

pergeseran. Pergeserannya dapat terjadi pada skala kecil yaitu beberapa millimeter sampai skala besar yaitu ratusan kilometer. Pergerakan sesar dapat relatif turun, relatif naik atau bergerak relatif mendatar terhadap blok lainnya (Asri, 2006).

Komponen-komponen sesar meliputi arah (*strike*) dan sudut kemiringan (*dip*) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12. *Strike* adalah arah garis yang dibentuk dari perpotongan bidang sesar dengan bidang horizontal ditinjau dari arah utara ke timur dengan sudut 0° hingga 360° . *Dip* merupakan sudut yang dibentuk oleh bidang sesar terhadap bidang horizontal sesar dengan sudut antara 0° hingga 90° .



Gambar 12. Kedudukan Bidang Sesar dan Arah Garis Ruang (Sukartono, 2013).

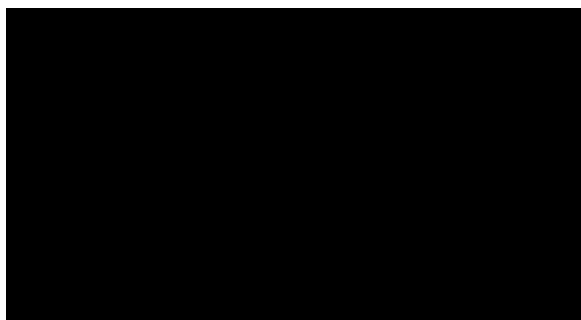
Aktivitas sesar menyebabkan terjadinya gempa bumi. Selain itu, pergerakan sesar mempengaruhi topografi suatu wilayah, mengontrol air permukaan dan bawah permukaan, merusak stratigrafi batuan dan sebagainya. Pada umumnya sesar terbentuk akibat aktivitas tektonik. Ciri-ciri adanya sesar berdasarkan topografi suatu wilayah yaitu dapat dilihat dari adanya suatu

pemisahan dari bentuk kontinyu, adanya lapisan yang hilang, atau pergeseran secara vertikal yang menyebabkan terjadinya perpindahan.

Ada tiga jenis sesar, yaitu sesar naik (*thrust fault*), sesar turun (*normal fault*) dan sesar mendatar (*strike-slip fault*).

1. Sesar naik (*thrust fault*)

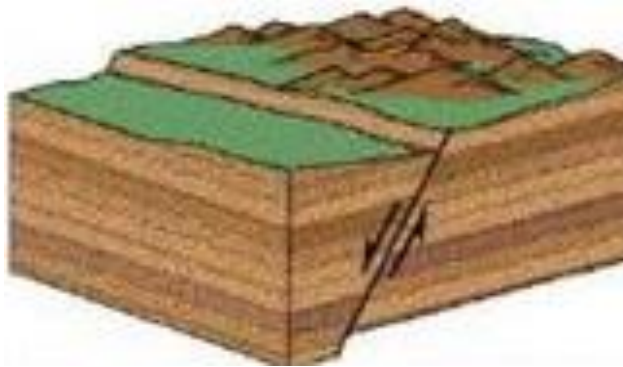
Sesar naik (*thrust fault*) adalah sesar dimana salah satu blok batuan bergeser ke arah atas dan blok bagian lainnya bergerak ke arah bawah di sepanjang bidang sesarnya (Gambar 13). Blok yang bergerak ke atas dinamakan *hanging wall* dan blok yang bergerak ke arah bawah dinamakan *foot wall*. Umumnya sesar naik tidak dapat berdiri sendiri, melainkan selalu membuat zona, sehingga pada zona sesar akan dijumpai sejumlah bidang sesar. Masing-masing bidang sesar tersebut membentuk pola yang sama, yaitu bidang sesarnya umumnya memiliki kemiringan yang sama dan arah jalur sesarnya juga sama. Pergerakan sesar naik memerlukan energi yang lebih besar untuk menaikkan *hanging wall*.



Gambar 13. Sesar Naik (*thrust fault*) (Satriadi, 2015)

2. Sesar turun (*normal fault*)

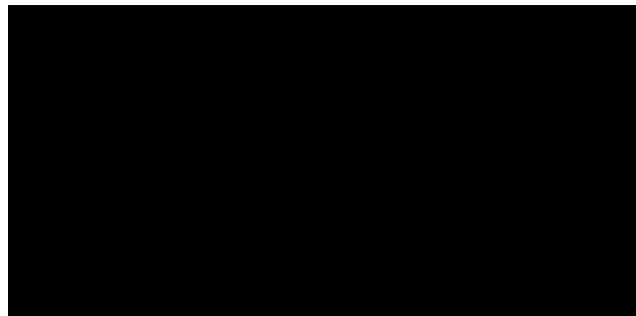
Sesar turun (*normal fault*) adalah sesar dimana salah satu bidang sesar menurun ke bawah akibat penumpu di kedua sisinya bergerak saling menjauh. Ciri dari sesar turun yaitu bidang *hanging wall* lebih condong ke bawah bidang *footwall* (Gambar 14). Sesar menurun terbentuk akibat adanya tegasan ekstensional, sehingga pada bagian tertentu gaya gravitasi lebih dominan. Gaya gravitasi merupakan gaya utama penggerak sesar turun.



Gambar 14. Sesar Turun (*normal fault*) (Satriadi, 2015)

3. Sesar mendatar (*strike-slip fault*)

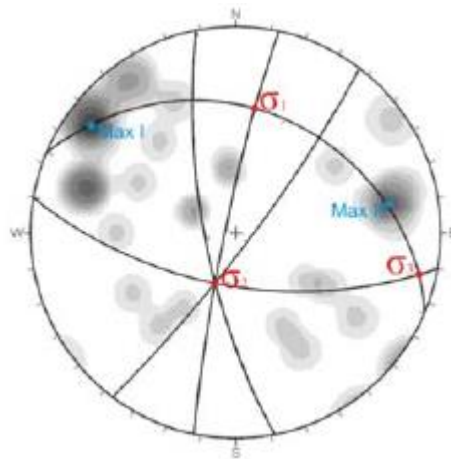
Sesar mendatar (*strike-slip fault*) merupakan sesar yang arah pergerakannya mendatar horizontal. Pembentukan sesar ini dipengaruhi oleh tegasan kompresi. Pergerakan sesar mendatar menyebabkan blok bagian kiri relatif bergeser ke arah yang berlawanan dengan blok bagian kanan (Gambar 15).



Gambar 15. Sesar Mendatar (*strike-slip fault*) (Satriadi, 2015)

D. Sesar minor Bayat

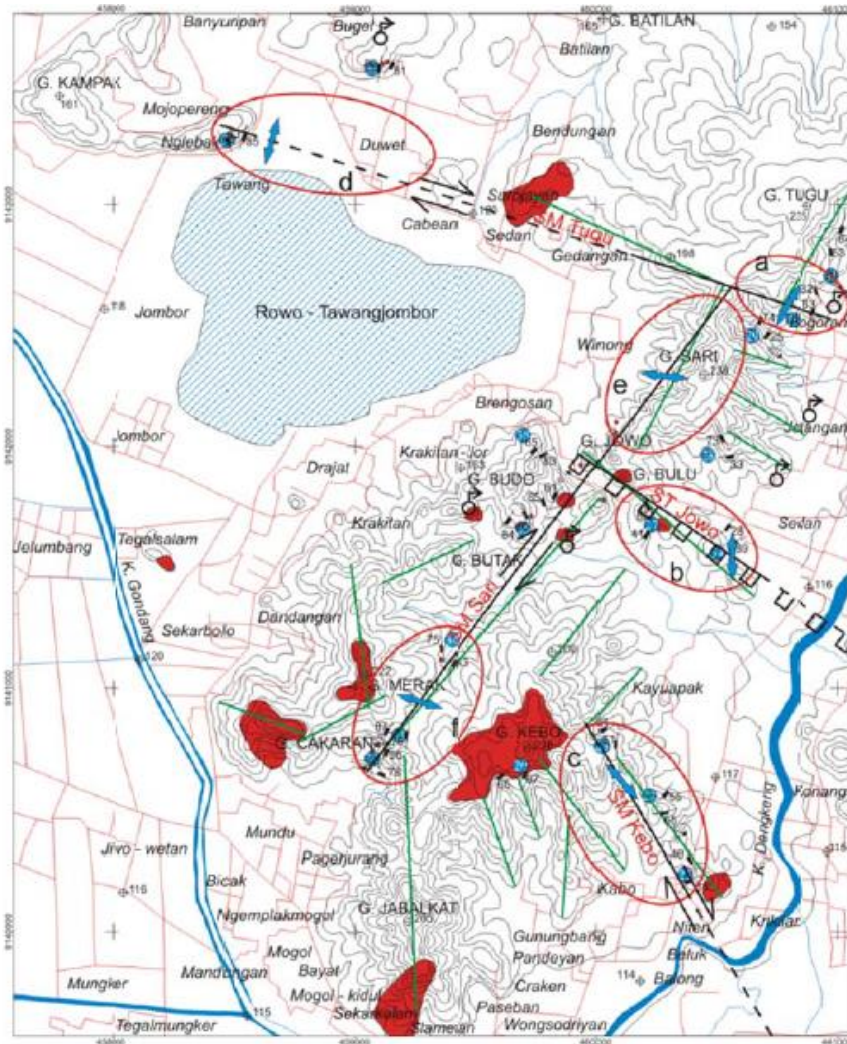
Penelitian terkait sesar minor Bayat sudah dilakukan sebelumnya dengan menggunakan metode stereografik (Ikhwanur *et al.*, 2018). Proyeksi stereografi dapat memecahkan masalah yang berkaitan dengan geometri berupa besaran arah dan sudut dalam analisis geometri struktur geologi, karena dapat menggambarkan geometri kedudukan atau orientasi bidang dan garis proyeksi yang digunakan.



Gambar 16. Metode Stereografi (Ikhwanur *et al.*, 2018)

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Ikhwanur *et al.* (2018) menunjukkan bahwa terdapat tiga zona sesar di Kecamatan Bayat yaitu sesar mendatar Tugu, sesar mendatar Jiwo dan sesar mendatar Sari (Gambar 17). Penelitian tersebut secara umum menggunakan metodologi evaluasi data lapangan berupa observasi lapangan, analisis topografi dan analisis petrografi. Observasi lapangan dilakukan untuk mengetahui kondisi geologi yang meliputi litologi, struktur geologi, dan penentuan umur relatif batuan. Analisis topografi dilakukan untuk mengenali kondisi lingkungan dan asumsi mengenai zona sesar, sedangkan analisis

petrografi dilakukan untuk mengetahui jenis dan nama batuan berdasarkan tekstur struktur dan komposisi mineral batuan.



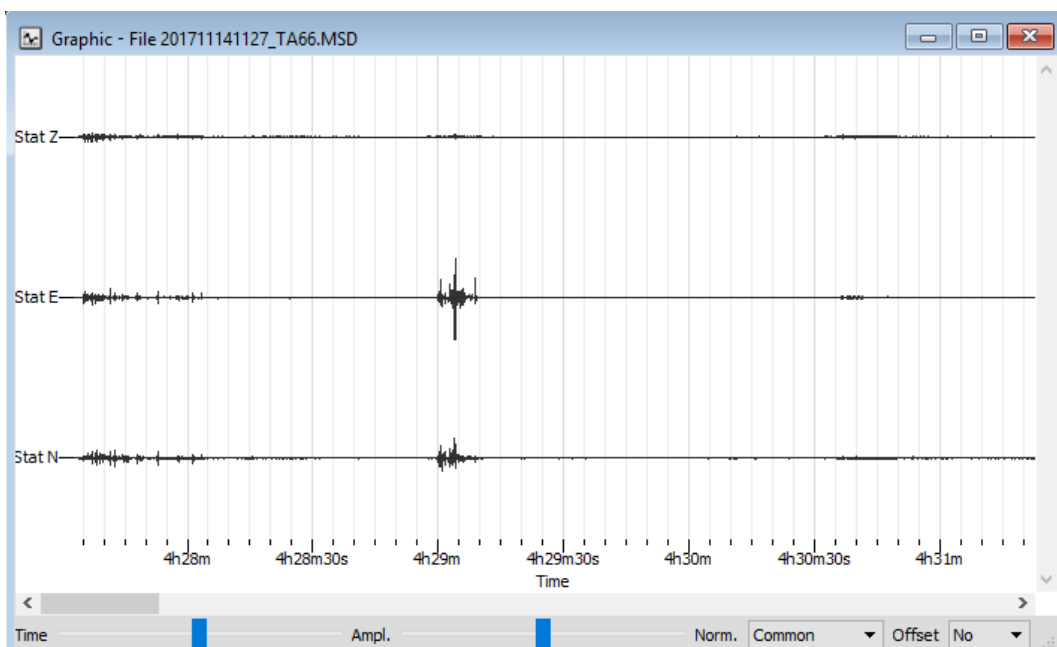
Gambar 17. Zona Sesar dengan Metode Stereografi (Ikhwanur *et al.*, 2018).

E. Mikrotremor

Mikrotremor atau *ambient noise* merupakan aktivitas getaran harmonik alami dari tanah yang terjadi terus menerus dengan amplitudo rendah yang disebabkan oleh getaran mikro di bawah permukaan tanah akibat peristiwa alam ataupun buatan yang bisa menggambarkan kondisi geologi suatu wilayah dekat

permukaan (Tokimatsu, 2004). Getaran alami yang menyumbang getaran pada tanah di antaranya adalah gelombang laut, getaran angin dan sumber alami lainnya, sedangkan getaran buatan seperti getaran akibat orang yang sedang berjalan, getaran kendaraan, pabrik dan sumber getar lainnya.

Kriteria getaran tanah yang termasuk dalam mikrotremor adalah amplitudo pergeseran sekitar $0,1-1 \mu\text{m}$ dan kecepatan getaran antara $0,001$ hingga $0,1 \text{ cm/s}$. Mikrotremor diklasifikasikan berdasarkan rentang periodenya ada dua jenis yaitu periode pendek dengan nilai kurang dari 1 detik yang disebabkan oleh aktivitas manusia, dan mikrotremor periode panjang dengan nilai lebih dari 1 detik, dimana keadaan ini terkait struktur tanah yang lebih dalam, dan menunjukkan dasar dari batuan keras (Mirzaoglu dan Dykmen, 2003). Tampilan sinyal microtremor ditunjukkan pada Gambar 18.



Gambar 18. Sinyal Mikrotremor di *Geopsy*

Pengukuran sinyal mikrotremor banyak dilakukan dalam studi pengukuran struktur tanah dengan tujuan untuk mengetahui keadaan bawah permukaan tanah. Observasi mikrotremor dapat memberikan informasi mengenai sifat getaran dari berbagai jenis tanah dan periode dominannya (Nakamura, 2000).

F. Transformasi Fourier

Analisis Transformasi Fourier merupakan metode untuk mendekomposisi sebuah gelombang seismik menjadi beberapa gelombang harmonik sinusoidal dengan masing-masing memiliki frekuensi tertentu. Kumpulan dari gelombang harmonik sinusoidal dikenal sebagai Deret Fourier. Transformasi Fourier $X(f)$ dari waktu kontinyu $x(t)$ dinyatakan sebagai (Park, 2010) :

$$X(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)e^{-j2\pi ft} dt \quad (20)$$

$$X(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)\{\cos(2\pi ft) - j\sin(2\pi ft)\} dt \quad (21)$$

dengan $X(f)$ adalah fungsi sinyal dalam frekuensi (hertz), $x(t)$ adalah fungsi sinyal dalam waktu (sekon), $e^{-j2\pi ft}$ merupakan fungsi kernel, dan $j = \sqrt{-1}$. Persamaan (20) akan memiliki nilai jika memenuhi syarat berikut :

$$\int_{-\infty}^{+\infty} |x(t)| dt < \infty \quad (22)$$

Inversi pada persamaan Transformasi Fourier untuk mendapatkan kembali domain waktu ditunjukkan dengan persamaan berikut :

$$x(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} X^F(\omega)e^{+j\omega t} d\omega \quad (23)$$

1. Discrete Fourier Transform (DFT)

Discrete Fourier Transform merupakan algoritma untuk mengetahui komponen-komponen frekuensi harmonik beserta amplitudonya dari sebuah sinyal periodik. Persamaan Transformasi Fourier pada kasus waktu dan frekuensi yang kontinyu (persamaan 23) menggunakan operasi integral yang tidak dipraktikkan dalam perhitungan dengan komputer. Oleh karena itu, perlu diubah dari persamaan kontinyu menjadi persamaan diskrit agar memudahkan perhitungan secara komputasi. Pengubahan persamaan tersebut dengan mengkonversi operasi integral ke operasi jumlahan. Persamaan *Discrete Fourier Transform* diperoleh dengan cara mengubah notasi integral pada persamaan 20 menjadi notasi sigma dengan substitusi $T_0 = NT, f_0 = \frac{1}{T_0}, dt = T, t = nT$ sehingga persamaannya menjadi :

$$X(f) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{\frac{-j2\pi kn}{N}} \quad (24)$$

2. Fast Fourier Transform (FFT)

FFT merupakan algoritma untuk proses pengolahan sinyal yang lebih cepat. FFT memiliki dua algoritma yaitu *decimation in frequency algorithm* (DIF) dan *decimation in time algorithm* (DIT). Persamaannya berawal dari persamaan 24 dengan persamaan $W_N = e^{-j\frac{2\pi}{N}}$ sebagai faktor *twiddle* dan $N = 2, 4, 6, 8 \dots \dots \dots 2^m$, sehingga dapat dikembangkan sebagai berikut :

$$X^d[k] = x(0) + x(1)W_N^{k(1)} + x(2)W_N^{k(2)} + \dots + x(N-1)W_N^{k(N-1)} \quad (25)$$

Kemudian dikelompokkan menjadi suku genap dan ganjil, sehingga persamaannya menjadi :

$$X[n] = \sum_{N=0}^{\frac{N}{2}} x[2n]W_N^{2nk} + x[2n + 1]W_N^{2(n+1)k} \quad (26)$$

atau

$$X[n] = \sum_{N=0}^{\frac{N}{2}} x[2n]W_N^{2nk} + W_N^k \sum_{N=0}^{\frac{N}{2}} x[2n + 1]W_N^{2nk} \quad (27)$$

Karena $W_N^2 = W_{\frac{N}{2}}$, maka persamaan (27) menjadi :

$$X[n] = \sum_{N=0}^{\frac{N}{2}} x[2n]W_{\frac{N}{2}}^{nk} + W_N^k \sum_{N=0}^{\frac{N}{2}} x[2n + 1]W_{\frac{N}{2}}^{nk} \quad (28)$$

dengan $k = 1, 2, 3, \dots, \frac{N}{2} - 1$, sehingga persamaan (28) menjadi persamaan baru

$$X[n] = G[k] + W_N^k H[k] \quad (29)$$

dimana $G[k]$ dan $H[k]$ didefinisikan dengan persamaan berikut :

$$G[k] = \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x[2n]W_{\frac{N}{2}}^{nk} \quad (30)$$

$$H[k] = \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x[2n - 1]W_{\frac{N}{2}}^{nk} \quad (31)$$

Setelah domain waktu dibagi dua, kemudian domain frekuensi juga dibagi dua, sehingga persamaan (30) menjadi $G[k] = G\left[k + \frac{N}{2}\right]$, dan persamaan (31)

menjadi $H[k] = H\left[k + \frac{N}{2}\right]$, dan karena $W_N^{k\frac{N}{2}} = -W_N^k$, maka akan diperoleh persamaan berikut :

$$X\left[n + \frac{N}{2}\right] = G[k] + W_N^k H[k] \quad (32)$$

Persamaan (29) dan (32) merupakan algoritma *Fast Fourier Transform radix-2 Decimal in Time* (DIT) dengan data dipilih menjadi dua bagian, bagian genap dan ganjil.

G. Penghalusan Data

Penghalusan data atau *smoothing* adalah suatu proses untuk menghaluskan pola data sehingga hasil *smoothing* tidak akan memiliki hasil jauh berbeda dengan pola awal. Penghalusan data ini merupakan pengolahan sebelum pengolahan *H/V* dan didasarkan pada persamaan Konno-Ohmachi (Konno dan Ohmachi, 1998) :

$$W(\omega ; \omega_0) = \left(\frac{\sin\left(\log_{10}\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^b\right)}{\left(\log_{10}\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^b\right)} \right)^4 \quad (33)$$

dengan ω adalah frekuensi, ω_0 adalah frekuensi pusat dilakukannya penghalusan data, b adalah koefisien *bandwidth*, koefisien *bandwidth* adalah faktor penambahan yang mengontrol penghalusan data. Jika nilai b rendah maka akan menunjukkan hasil penghalusan data yang signifikan, jika nilai b besar maka akan menunjukkan hasil penghalusan data yang rendah. Nilai b yang rekomendasikan adalah 40 (Konno dan Ohmachi, 1998).

H. *Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR)*

Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR) adalah metode yang dikembangkan oleh Nakamura (1989) untuk mengestimasi nilai frekuensi dan amplifikasi keadaan geologi setempat dengan membandingkan spektrum sinyal mikrotremor arah horisontal dan vertikalnya untuk mendapatkan nilai frekuensi predominannya di suatu daerah. Metode HVSR merupakan metode yang memperlihatkan hubungan antara spektrum *H/V* dengan *ellipticity curve* dari gelombang. Energi mikrotremor sebagian besar bersumber dari gelombang Rayleigh dan *site effect*, yang terjadi akibat keberadaan permukaan lapisan tanah lunak yang menempati setengah cekungan dari batuan dasar.

Faktor amplifikasi dari gerakan komponen horizontal dan vertikal sinyal mikrotremor di permukaan tanah sedimen berdasarkan pada gerakan seismik di permukaan tanah yang bersentuhan langsung dengan batuan dasar di area cekungan dilambangkan dengan T_H dan T_V (Nakamura, 2000). Besarnya faktor amplifikasi horizontal T_H adalah :

$$T_H = \frac{S_{HS}}{S_{HB}} \quad (34)$$

dengan S_{HS} adalah spektrum sinyal mikrotremor komponen horizontal di permukaan tanah dan S_{HB} adalah spektrum sinyal mikrotremor dari komponen gerak horizontal pada dasar lapisan tanah. Beberapa asumsi yang digunakan dalam metode HVSR adalah (Bour *et al.*, 1998) :

1. Gelombang Rayleigh mendominasi data mikrotremor dibanding beberapa jenis gelombang lain.
2. Efek dari gelombang Rayleigh terdapat pada spektrum sinyal mikrotremor komponen vertikal pada lapisan sedimen (S_{VS}), tetapi tidak terdapat pada komponen vertikal di lapisan batuan dasar (S_{VB}).
3. Besarnya faktor amplifikasi komponen vertikal ditunjukkan pada persamaan 35.

$$T_V = \frac{S_{VS}}{S_{VB}} \quad (35)$$

4. Efek gelombang Rayleigh pada rekahan mikrotremor digunakan untuk komponen vertikal dan horizontal pada rentang frekuensi (0,2 – 20,0 Hz), sehingga rasio spektrum antara komponen horizontal dan vertikal di batuan dasar mendekati nilai satu.

$$\frac{S_{HB}}{S_{VB}} \approx 1 \quad (36)$$

dibulatkan menjadi :

$$\frac{S_{HB}}{S_{VB}} = 1 \text{ atau } \frac{S_{VB}}{S_{HB}} = 1 \quad (37)$$

Karena rasio spektrum sinyal mikrotremor antara komponen horizontal dan vertikal di batuan dasar mendekati satu, maka gangguan yang terekam pada permukaan lapisan tanah akibat efek gelombang Rayleigh dapat dihilangkan, sehingga hanya ada pengaruh yang disebabkan oleh struktur geologi lokal atau *site effect* (T_{SITE}). Konsep dasar dari metode HVSR dapat dinyatakan dalam persamaan (38).

$$T_{SITE} = \frac{T_H}{T_V} = \frac{S_{Hs}}{S_{Vs}} \quad (38)$$

Sinyal mikrotremor terdapat dua spektrum komponen horizontal yaitu komponen NS (*North-South*) dan komponen EW (*East-West*), sehingga komponen horizontal yang digunakan adalah hasil resultan dari dua komponen tersebut (Hidayat *et al.*, 2017). Persamaan (34), (35), dan (38) dapat dituliskan menjadi persamaan (39).

$$HVSR = T_{SITE} = \frac{\sqrt{(S_{utara-selatan})^2 + (S_{barat-timur})^2}}{S_{vertikal}} \quad (39)$$

Persamaan (39) merupakan menjadi perhitungan dasar dalam metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR). Metode HVSR merupakan salah satu metode paling mudah dan murah untuk memahami sifat struktur lapisan bawah permukaan tanpa menyebabkan gangguan pada struktur tersebut. Nakamura (1989) menyebutkan bahwa HVSR merupakan metode yang dapat digunakan untuk merepresentasikan karakteristik tanah seperti jenis tanah dan ketebalan lapisan sedimen di suatu wilayah yang diperoleh dari interpretasi kurva *H/V* sebagai fungsi frekuensi dominan dan faktor amplifikasinya. Mengingat hasil pengolahan data mikrotremor bersifat subjektif, maka digunakan kriteria yang telah ditetapkan oleh *SESAME European Research Project* (2004).

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 gempa bumi. Konsep mikrozonasi didasarkan

pada data yang diperoleh dari survei mikrotremor. Peta mikrozonasi digunakan untuk menggambarkan potensi terjadinya bahaya bencana alam. Apabila peta mikrozonasi dikombinasikan dengan informasi suatu daerah, maka dapat digunakan untuk mengembangkan berbagai strategi penanggulangan bencana (Afriliani, 2014). *Software* yang digunakan untuk pengolahan peta mikrozonasi yaitu *Surfer*.

J. Frekuensi Predominan

Nilai frekuensi dominan dari metode HVSR menyatakan frekuensi alami yang terdapat di suatu daerah. Hal ini menyatakan bahwa apabila terjadi gempa atau gangguan berupa getaran yang memiliki frekuensi sama dengan frekuensi alami, maka akan terjadi resonansi yang mengakibatkan amplifikasi gelombang seismik di area tersebut. Nilai frekuensi dominan pada suatu tempat dapat digunakan dalam perencanaan bangunan tahan gempa sebagai keperluan mitigasi bencana gempabumi (Tuladhar *et al.*, 2004). Nilai frekuensi dominan diperoleh dari kurva *H/V* hasil dari pengolahan data mikrotremor. Klasifikasi tanah berdasarkan nilai frekuensi dominannya ditunjukkan pada Tabel 1.

Nilai frekuensi dominan yang sangat rendah bukan hanya mengakibatkan adanya efek resonansi tetapi juga dapat meningkatkan kerentanan terhadap bahaya. Jika nilai frekuensi dominan struktur bangunan mendekati nilai frekuensi alami material di bawahnya pada suatu daerah, maka getaran seismik akan membuat resonansi dengan bangunan yang akan meningkatkan

stress pada bangunan tersebut sehingga menyebabkan kerusakan bangunan saat terjadi gempa bumi.

Tabel. 1. Klasifikasi Tanah berdasarkan Nilai Frekuensi Predominan oleh Kanai (Arifin *et al.*, 2014).

| Klasifikasi Tanah | | Frekuensi Predominan (Hz) | Klasifikasi Kanai | Deskripsi |
|-------------------|----------|---------------------------|--|---|
| Tipe | Jenis | | | |
| Tipe I | Jenis I | < 2,5 | Batuan alluvial yang terbentuk dari sedimentasi delta, <i>top soil</i> , lumpur dengan kedalaman 30 meter atau lebih | Ketebalan sedimen pada permukaan sangat tebal |
| Tipe II | | | | |
| Tipe III | Jenis I | 2,5 - 4 | Batuan alluvial dengan ketebalan sedimen >5 meter. Terdiri dari <i>sandy gravel</i> , <i>sandy hard clay</i> , <i>loam</i> | Ketebalan sedimen pada permukaan dikategorikan tebal, yaitu 10 – 30 meter |
| Tipe IV | Jenis I | 4 - 10 | Batuan alluvial dengan ketebalan sedimen 5 meter, terdiri dari <i>sandy gravel</i> , <i>sandy hard clay</i> , <i>loam</i> | Ketebalan sedimen pada permukaan dikategorikan menengah yaitu 5 – 10 meter. |
| | Jenis II | 6,7 - 20 | Batuan tersier atau berumur tua, terdiri dari batuan <i>hard sandy</i> , <i>gravel</i> . | Ketebalan sedimen permukaan sangat tipis, didominasi oleh batuan keras. |

Nilai frekuensi dominan yang relatif tinggi mencerminkan material batuan massif. Adapun batasan pengamatan frekuensi untuk mikrotremor secara umum antara 0,5-20 Hz dan untuk mikrotremor frekuensi kecil bisa mencapai 0,2 Hz. Nilai frekuensi alami suatu daerah dipengaruhi oleh ketebalan lapisan lapuk

dan kecepatan rata-rata bawah permukaan. Persamaan nilai frekuensi dominan ditunjukkan pada persamaan 40.

$$f = \frac{v_s}{4H} \quad (40)$$

K. Faktor Amplifikasi

Faktor amplifikasi gempabumi adalah faktor pembesaran percepatan gempa yang terjadi pada permukaan tanah akibat jenis tanah tertentu. Amplifikasi suatu gelombang dapat terjadi ketika suatu benda yang memiliki frekuensi diri diusik oleh gelombang lain dengan frekuensi yang sama. Ketika gelombang gempa menjalar dari batuan dasar ke atas permukaan tanah maka gelombang gempa tersebut akan mengalami amplifikasi. Menurut Nakamura (2000) nilai faktor amplifikasi suatu tempat dapat diketahui dari tinggi puncak spektrum kurva HVSR hasil pengukuran mikrotremor di daerah tersebut. Menurut Towhata (2008) ada 4 penyebab amplifikasi suatu daerah, yaitu:

1. Adanya lapisan lapuk yang terlalu tebal di atas lapisan keras.
2. Frekuensi alami tanah rendah.
3. Frekuensi alami gempa dengan geologi setempat sama atau hampir sama.
4. Gelombang gempa terjebak di dalam lapisan lapuk dalam waktu yang lama.

Besaran amplifikasi 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 amplifikasi dipengaruhi oleh variasi formasi geologi, ketebalan dan sifat-sifat fisika lapisan tanah dan batuan.

Pada batuan yang sama nilai amplifikasi dapat bervariasi sesuai dengan tingkat deformasi dan pelapukan pada tubuh batuan tersebut. Nilai amplifikasi menurut Ratdomopurbo (2009) ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Klasifikasi Nilai Faktor Amplifikasi

| Zona | Klasifikasi | Nilai faktor amplifikasi |
|------|---------------|--------------------------|
| 1 | Rendah | $A < 3$ |
| 2 | Sedang | $3 \leq A < 6$ |
| 3 | Tinggi | $6 \leq A < 9$ |
| 4 | Sangat tinggi | $A \geq 9$ |

L. Poisson Ratio (σ)

Poisson *ratio* merupakan konstanta elastisitas yang dimiliki oleh setiap material yang dapat digunakan sebagai salah satu parameter untuk dapat mengetahui kondisi material atau tanah di suatu daerah. Sebuah material jika diberikan gaya satu arah, ditarik maupun ditekan, maka akan mengalami perubahan bentuk berupa perubahan bentuk ke arah gaya yang diberikan. Selain itu, Poisson *ratio* juga dapat dikatakan sebagai sifat elastisitas batuan yang mengindikasikan tingkat rekahan pada batuan yang bernilai lebih tinggi dari kondisi normal pada batuan yang berisi cairan. Persamaan Poisson *ratio* ditunjukkan pada persamaan (41).

$$\sigma = -\frac{E_h}{E_v} \quad (41)$$

dengan σ merupakan Poisson *ratio*, E_h merupakan *strain* longitudinal (*strain* horizontal), dan E_v merupakan *strain* axial (*strain* vertikal). Hubungan antara Poisson *ratio* dengan modulus elastis dan modulus geser secara matematis adalah

$$\sigma = \frac{3k-2\mu}{6k+2\mu} = \frac{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2}{2\left[\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 1\right]} \quad (42)$$

dengan

$$\mu = V_s^2 \rho \quad (43)$$

$$k = \rho V_p^2 - \frac{4}{3} V_s^2 \rho \quad (44)$$

dengan σ merupakan Poisson *ratio*, V_p merupakan kecepatan gelombang primer (m/s), dan V_s merupakan kecepatan gelombang geser (m/s).

Poisson *ratio* akan bernilai 0, jika $\frac{V_p}{V_s} = \sqrt{2}$, dan Poisson *ratio* sangat penting untuk mengenali kandungan fluida dalam batuan, misalnya air, minyak, maupun gas yang dapat dimanifestasikan dalam perbedaan nilai Poisson *ratio* (Munadi dan Suprajitno, 1993). Daftar nilai Poisson *ratio* untuk material berbeda ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Harga Poisson *Ratio* dari Batuan Sedimen (Ostander, 1984)

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

M. Densitas (ρ)

Densitas atau kerapatan adalah jumlah suatu zat yang terkandung pada suatu unit volume. Densitas batuan pada umumnya bertambah dengan bertambahnya kedalaman karena dengan bertambahnya kedalaman, tekanan hidrostatik juga semakin bertambah besar. Semakin besar tekanan menyebabkan batuan mengalami kompresi sehingga semakin rapat lapisan suatu batuan yang menyebabkan semakin besar densitas batuan.

Besarnya densitas suatu bahan juga bergantung pada besarnya porositas suatu batuan, semakin besar porositas suatu batuan mengindikasikan semakin besar massa batuan yang hilang atau rongga batuan semakin besar, menyebabkan densitas batuan semakin berkurang. Persamaan antara densitas dengan kecepatan perambatan gelombang dalam batuan ditunjukkan pada persamaan (45).

$$\rho = av^{\frac{1}{4}} \quad (45)$$

dengan ρ adalah densitas (gr/cm^3), a adalah konstanta, dan v adalah kecepatan (m/s).

Persamaan (45) dirumuskan oleh Gardner. Persamaan tersebut menunjukkan bahwa besarnya cepat rambat gelombang seismik dari formasi batuan sebanding dengan pangkat empat dari besarnya densitas batuan. Semakin besar densitas suatu formasi batuan maka semakin besar cepat rambat gelombang dalam batuan tersebut. Tabel variasi densitas tiap batuan ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai Variasi Densitas Batuan (Telford *et al.*, 1990)

| Jenis Batuan | Batas (Mg/m ³) | Jenis Batuan | Batas (Mg/m ³) | Jenis Batuan | Batas (Mg/m ³) |
|------------------|----------------------------|--------------------|----------------------------|----------------|----------------------------|
| Batuan Sedimen | | Batuan Metamorf | | Batuan Beku | |
| <i>Alluvial</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 | | | | |

N. Litologi

Litologi adalah ilmu untuk mendeskripsikan batuan pada singkapan yang didasarkan pada karakteristiknya. Pengertian litologi menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia adalah batuan yang berkenaan dengan sifat fisik, kimia dan strukturnya. Setiap batuan memiliki karakteristik baik bentuk, kekerasan, kasar, dan halusya permukaan. Hal tersebut dikarenakan adanya penyusun batuan yang berbeda-beda. Litologi merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kecepatan gelombang seismik. Jenis batuan yang berbeda akan menunjukkan *range* nilai kecepatan berbeda. Setiap lapisan batuan memiliki tingkat kekerasan yang berbeda, menyebabkan terjadinya perbedaan kemampuan batuan untuk mengembalikan bentuk dan ukuran semula ketika diberikan gaya padanya. Elastisitas batuan yang berbeda-beda inilah yang menyebabkan gelombang merambat melalui lapisan batuan dengan kecepatan yang berbeda-beda. Klasifikasi nilai V_s pada beberapa batuan ditunjukkan pada Tabel 5. Adapun

Klasifikasi *site* berdasarkan nilai V_s ditunjukkan pada Tabel 6, dan nilai kecepatan gelombang primer pada beberapa batuan ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 5. Data Nilai V_s pada beberapa Batuan (Daryono, 2011)

| Jenis Batuan | Kecepatan Gelombang Geser V_s (m/s) |
|--------------|---------------------------------------|
| Beton | 2000 |
| Granit | 3500 – 3800 |
| Dolerit | 2960 – 3450 |
| Andesit | 2440 – 3500 |
| Basal | 3600 – 3700 |
| Lempung | 380 – 1000 |

Tabel 6. Klasifikasi *Site* berdasarkan Nilai V_s Hasil Penyelidikan Tanah dan Laboratorium SNI 1726 (Badan Standarisasi Nasional, 2012)

| Klasifikasi <i>Site</i> | Kecepatan Gelombang Geser V_s (m/s) |
|-------------------------------------|---------------------------------------|
| Batuan Keras | $V_s \geq 1500$ |
| Batuan | $750 < V_s \leq 1500$ |
| Tanah sangat Padat dan Batuan Lunak | $350 < V_s \leq 750$ |
| Tanah Sedang | $175 < V_s \leq 350$ |
| Tanah Lunak | $V_s < 175$ |

Tabel 7. Nilai Kecepatan Gelombang Primer pada beberapa Batuan (Burger, 1992)

| Batuan | Variasi V_p (m/s) |
|-------------------|---------------------|
| Tanah | 250 – 600 |
| Pasir | 200 – 1000 |
| Pasir Tersaturasi | 800 – 2200 |
| Pasir dan Kerikil | 4921 – 6561 |
| Lempung | 1000 – 2500 |
| Endapan Lempung | 3281 – 8202 |

O. Ketebalan Lapisan Sedimentasi (H)

Sedimentasi adalah proses pengendapan material yang ditransformasikan oleh media air, angin, es atau gletser di cekungan. Ketebalan lapisan sedimentasi

atau *local site effect* merupakan salah satu parameter yang dapat menggambarkan kondisi litologi setempat. Daerah yang memiliki litologi yang lebih lunak cenderung akan memberikan respon periode getaran yang panjang (frekuensi dominan rendah) serta memiliki resiko yang lebih tinggi saat terjadi gempa bumi, karena berpotensi mengalami amplifikasi gelombang seismik yang lebih besar dibandingkan dengan batuan yang lebih kompak.

P. *Ground Profile V_s*

Ground profile V_s diperoleh dari metode *ellipticity curve* dengan melakukan inversi gelombang Rayleigh (*inverse modelling*). Metode *ellipticity curve* digunakan 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.

Adapun metode *ellipticity curve* dipengaruhi oleh beberapa parameter input. Parameter input tersebut digunakan sebagai inisialisasi harga awal dari sifat fisis tanah di wilayah penelitian seperti V_s , V_p , ρ , dan σ yang menunjukkan keunikan setiap jenis tanah (Patimah, 2017). Penentuan nilai parameter input dilakukan dengan pencocokan data (*data fitting*), dan tingkat keakuratan data *fitting* dapat diketahui dari nilai *error (misfit)*. Semakin kecil nilai *misfit* maka profil kecepatan gelombang S akan semakin baik atau akan mendekati hasil sebenarnya. Nilai *misfit* diperoleh dari persamaan (46).

$$misfit = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{D_i - M_i}{\sigma_i} \right)^2} \quad (46)$$

dengan N merupakan jumlah data, D_i merupakan data hasil inversi, M_i merupakan data hasil model struktur tanah, σ_i merupakan standar deviasi dari data hasil inversi.

Tabel 8. Klasifikasi *Site* berdasarkan Nilai V_s (Badan Standarisasi Nasional, 2012).

| Klasifikasi <i>site</i> | V_s (m/s) |
|---|-------------------------------|
| Batuan Keras | > 1500 |
| Batuan | 750 – 1500 |
| Tanah Keras, Sangat Padat, dan Batuan Lunak | 350 – 750 |
| Tanah Sedang | 175 – 350 |
| Tanah Lunak | < 750 |

Metode *ellipticity curve* dan *inverse modelling* merupakan metode yang digunakan untuk mengekstrak sifat – sifat fisis bawah permukaan yang tidak bisa ditentukan oleh metode HVSR. Metode *ellipticity curve* menghasilkan kurva eliptisitas gelombang Rayleigh yang diasumsikan sebagai model horizontal berlapis (Tabel 8). Nilai kecepatan gelombang S sangat berguna untuk menggambarkan struktur bawah permukaan berupa desain struktur tanah, karakteristik kelongsoran, evaluasi zona mitigasi bencana gempabumi, dan desain kerentanan bangunan terhadap bencana gempabumi.

Q. H/V Rotate dan Rose Diagram

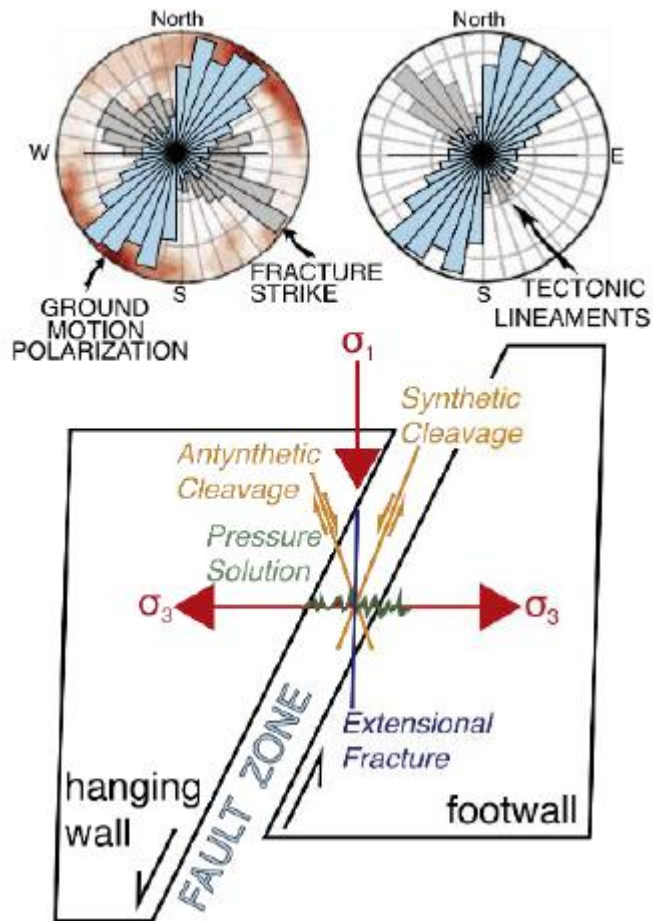
Gelombang seismik mengalami peningkatan amplitudo saat merambat dari medium dengan kerapatan tinggi ke rendah. Kecepatan gelombang seismik akan rendah jika melewati tanah lunak atau sedimen, dan energinya terjebak di

antara diskontinuitas *bedrock*. *Bedrock* merupakan batuan dasar yang mendasari lapisan di atasnya. Adanya batuan yang terdeformasi dengan kerapatan retak tinggi dan modulus elastisitas berkurang secara lokal menyebabkan penguatan gelombang seismik di zona sesar (Pischiutta *et al.*, 2017). Hal tersebut memberikan adanya metode yang dapat digunakan untuk memperkirakan orientasi dominan jaringan rekahan di zona sesar dengan menganalisis sumber arah amplifikasi. Metode tersebut dinamakan dengan metode *H/V Rotate*.

H/V Rotate merupakan metode yang digunakan untuk mengetahui sudut *azimuth* arah sumber datang gelombang seismik dari pengukuran data mikrotremor. Analisis *H/V Rotate* dilakukan menggunakan metode HVSR dalam domain waktu yang dihitung dari polarisasi horizontal yaitu memutar spektrum horizontal pada arah *North-South* dan *East-West* dari 0^0 sampai 180^0 untuk setiap langkah 10^0 (Pischiutta *et al.*, 2017). Hasil analisis *H/V Rotate* berupa spektrum *H/V* sebagai fungsi frekuensi dan *azimuth*, dimana 0^0 menunjukkan arah utara dan 90^0 menunjukkan arah timur. Sinyal mikrotremor yang berperan yaitu sinyal dari gelombang S yang terpolarisasi. Arah polarisasi gelombang S yang berada di kawasan sesar cenderung memiliki sudut (*azimuth*) besar terhadap *strike* sesarnya (Pischiutta *et al.*, 2012). Adapun untuk mendapatkan informasi terkait polarisasi gerak tanah horizontal secara independen dari sinyal vertikal, dapat digunakan metode diagram mawar (*Rose Diagram*).

Rose diagram merupakan metode matriks kovarians domain waktu dalam bentuk diagram mawar. Diagram ini digunakan untuk menyajikan data hasil pengukuran data mikrotremor yang ditunjukkan berdasarkan *azimuth*nya. *Rose*

diagram digambarkan sebagai lingkaran penuh dengan jari-jari sebagai fungsi frekuensi dan busur lingkaran sebagai fungsi orientasi sesarnya. Contoh bentuk *rose diagram* ditunjukkan pada Gambar 19.



Gambar 19. Sketsa Arah *Rose Diagram* dengan Zona Sesar (Panzeria *et al.*, 2014)

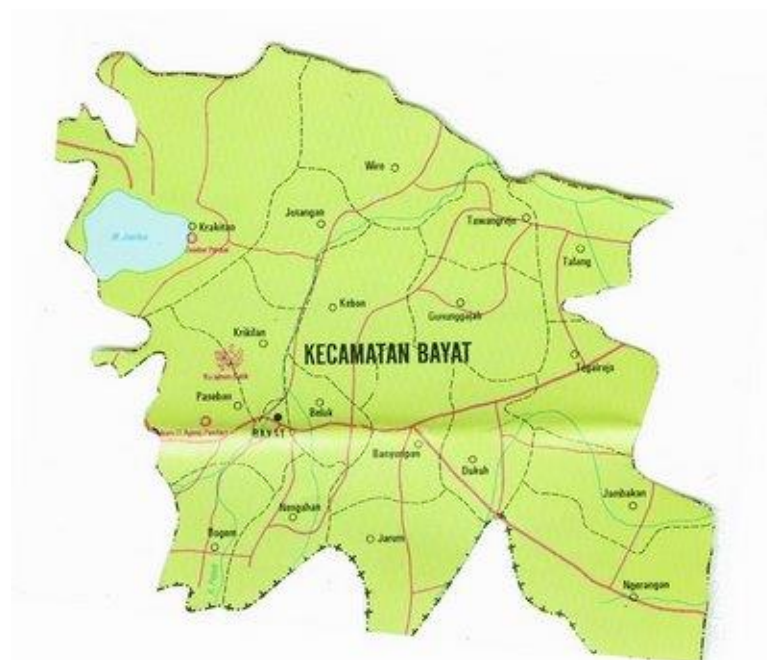
R. Geologi Daerah Penelitian

1. Kecamatan Bayat

Kecamatan Bayat adalah sebuah kecamatan di Kabupaten Klaten, Jawa Tengah. Kecamatan ini berbatasan dengan Kabupaten Gunung Kidul, Daerah Istimewa Yogyakarta di sebelah selatan. Batas wilayah kecamatan Bayat yaitu di

sebelah selatan adalah Kecamatan Gedangsari Kabupaten Gunung Kidul, Kecamatan Cawas di sebelah timur, di sebelah utara adalah Kecamatan Trucuk dan Kecamatan Kalikotes, di sebelah barat adalah Kecamatan Wedi. Luas wilayah Kecamatan Bayat yaitu 39.43 km² dengan jumlah penduduk 1421 jiwa.

Kecamatan Bayat secara administratif terdiri dari 18 desa yaitu Desa Banyuripan, Desa Beluk, Desa Bogem, Desa Dukuh, Desa Gunung Gajah, Desa Jambakan, Desa Jarum, Desa Jotangan, Desa Kebon, Desa Krakitan, Desa Krikilan, Desa Nengahan, Desa Ngerangan, Desa Paseban, Desa Talang, Desa Tawangrejo, Desa Tegalrejo, dan Desa Wiro seperti ditunjukkan pada Gambar 20.



Gambar 20. Peta Administrasi Kecamatan Bayat (Pembab Klaten, 2011)

2. Stratigrafi Daerah Penelitian

Daerah penelitian yaitu sesar minor Bayat yang secara administrasi terletak di Kecamatan Bayat, Kabupaten Klaten, Jawa Tengah. Secara fisiografis

Bayat tersusun dari batuan Pra-Tersier dan Tersier yang berada di sekitar endapan Kuartar, terutama endapan flufio-vulkanik Merapi. Dari segi struktur geologi, daerah Bayat termasuk ke dalam Zona Pegunungan Selatan Jawa Tengah dan merupakan daerah dengan struktur lipatan yang terdiri dari struktur lipatan batuan Eosen dan batuan yang lebih muda (Ikhwanur *et al.*, 2018). Berdasarkan Gambar 3, Kecamatan Bayat merupakan wilayah yang terdiri atas lima formasi batuan, yaitu Formasi Gamping Wungkal (Tew), Formasi Wonosari Punung, Formasi Diorite Pendul, Formasi Batuan Malihan, dan Formasi Alluvial Tua.

a. Formasi Wungkal Gamping (Tew)

Formasi Wungkal Gamping terletak di Gunung Wungkal dan Gunung Gamping yang keduanya berada di Perbukitan Jiwo. Formasi Wungkal Gamping merupakan formasi batuan sedimen tertua yang tersingkap di Pegunungan Selatan tepatnya di daerah Bayat (Setiawati *et al.*, 2013). Formasi Wungkal Gamping merupakan formasi batuan sedimen tertua berumur Eosen yang terbentuk di atas batuan malihan secara tidak selaras dan tersingkap ke permukaan. Umur Formasi Wungkal Gamping ini adalah Eosen Tengah sampai dengan Eosen Akhir (Sumarso dan Ismoyowati, 1975).

Sumarso dan Ismoyowati (1975) menyebutkan formasi ini memiliki ketebalan 120 m yang tersingkap di sekitar Dusun Padasan. Sebagian dari satuan batuan ini semula merupakan endapan laut dangkal yang kaya akan fosil. Karena pengaruh gaya berat lereng bawah laut, formasi ini kemudian meluncur ke bawah

dan diendapkan kembali ke laut dalam sehingga merupakan *exotic faunal assemblage* (Rahardjo *et al.*, 1995).

b. Formasi Wonosari-Punung

Formasi Wonosari-Punung adalah salah satu formasi batuan Pegunungan Selatan Jawa Timur yang memiliki sumber daya batugamping dalam jumlah besar. Menurut Surono *et al.* (1992), penyusun formasi batuan ini adalah batugamping, batugamping napalan - tufan, batugamping konglomerat, batupasir tufan dan batulanau. Batugamping penyusun Formasi Wonosari Punung umumnya berwarna putih pada batuan segar, dan berwarna putih kecoklatan pada batuan yang sudah mengalami pelapukan. Sementara tanah hasil pelapukannya memperlihatkan warna kemerahan yang disebut dengan *terra rossa*.

Ketebalan Formasi Wonosari Punung diperkirakan lebih dari 800 meter. Kedudukan stratigrafinya di bagian bawah menjemari dengan Formasi Oyo, sedangkan bagian atasnya menjemari dengan Formasi Kepek.

c. Formasi Diorit Pendul

Batuan diorit adalah salah satu jenis batuan kelompok batuan beku berukuran kasar - sedang dengan komposisi antara granit sampai gabro ataupun basal. Diorite sering terbentuk di atas batas lempeng konvergen. Lempeng konvergen adalah daerah batas subduksi lempeng samudra yang menyusup ke bawah lempeng. Batuan diorit biasanya tersusun atas mineral plagioklas yang kaya sodium, dengan adanya kandungan mineral hornblender, augit, dan biotik dalam jumlah sedikit.

Batuan diorit mirip dengan batuan andesit dalam hal keduanya memiliki komposisi mineral yang sama dan terjadi pada wilayah pembentukan yang sama. Perbedaan yang mendasar pada keduanya yaitu dari segi ukuran butir dan tingkat pendinginan magma asal. Diorit magma asal mengkristal lebih lambat di bawah permukaan bumi, sehingga menghasilkan ukuran butir yang lebih kasar. Sedangkan andesit akan mengkristal jauh lebih cepat di atas permukaan, sehingga menghasilkan kristal yang lebih kecil.

d. Formasi batuan malihan

Batuan malihan atau disebut juga dengan batuan metamorf merupakan batuan yang berubah bentuk baik secara fisik maupun kimia yang diakibatkan suhu yang tinggi dan tekanan dalam jangka waktu yang lama, sehingga bentuknya berbeda dengan batuan induknya. Batuan Metamorf ini merupakan hasil dari transformasi atau ubahan dari suatu tipe batuan sebelumnya. Contoh batuan metamorf yaitu record, filit, sekis, gneiss, dan lain sebagainya.

e. Formasi Aluvial Tua

Tanah alluvial merupakan tanah endapan yang dibentuk dari lumpur dan pasir halus. Tanah ini banyak mengandung pasir dan tanah liat, tidak banyak mengandung unsur zat hara. Jenis tanah ini banyak ditemukan di dataran rendah, di sekitar muara sungai, rawa, lembah, maupun di sekitar aliran sungai besar.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Pengambilan data mikrotremor dilaksanakan pada hari Senin – Sabtu, tanggal 13 – 18 November 2017. Sebelum memulai kegiatan pengambilan data, dilakukan studi literatur dan *survey* lokasi penelitian yang dimulai dari bulan Juli 2017. Pengambilan data mikrotremor dilakukan di wilayah Kecamatan Bayat. Pengambilan data berupa pengukuran sinyal mikrotremor di 27 titik pengukuran dengan spasi 1 km.

B. Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan pada kegiatan pengambilan data mikrotremor ini terdiri dari perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras yang digunakan meliputi :

1. Seismometer merek Taide tipe TDV-23S, digunakan untuk mengukur getaran tanah pada setiap titik penelitian. Seismometer merupakan instrumen berupa sensor yang dapat merespon getaran tanah dan menangkap sinyal yang dapat direkam oleh *seismograph*. Seismometer memiliki tiga detektor untuk mendeteksi getaran tanah. Ketiga detektor tersebut terletak di bagian bawah seismometer (Damarla dan Ufford, 2007).
2. *Digital Portable Seismograph* merek Taide tipe TDL-303S. *Seismograph* merupakan instrumen yang digunakan sebagai alat perekam sinyal seismik.

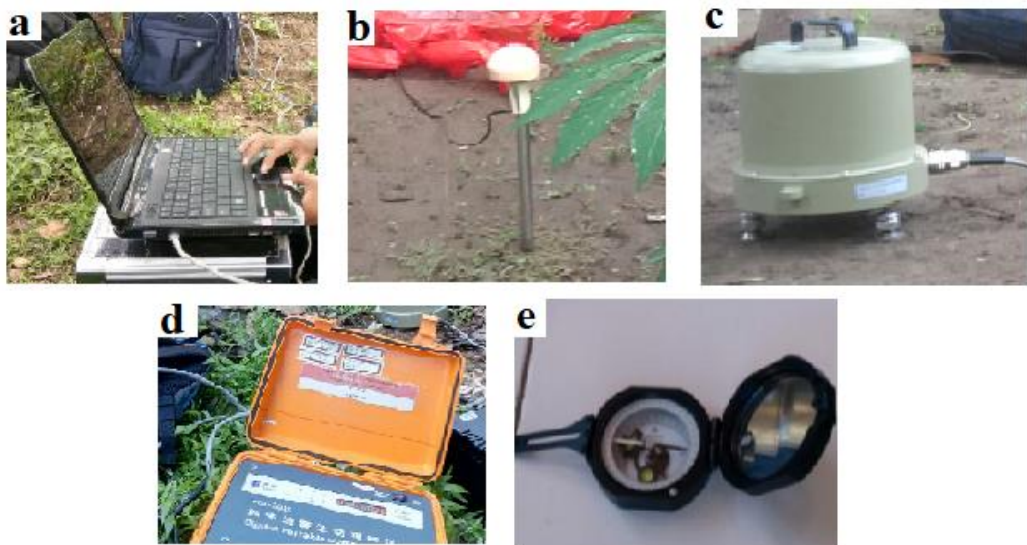
Digital Portable Seismograph terdiri dari beberapa perangkat seperti seismometer, *digitizer*, kabel penghubung, dan antena.

3. Antena GPS yang terhubung dengan *Digital Portable Seismograph* berfungsi menerima data koordinat lokasi dan waktu penelitian dari satelit.
4. *Global Positioning System* (GPS) digunakan untuk menentukan posisi pada setiap titik penelitian.
5. Laptop digunakan untuk akuisisi dan analisis sinyal mikrotremor dengan cara menghubungkannya ke *Digital Portable Seismograph* merek Taide tipe TDL-303S.
6. Kabel untuk menghubungkan seismometer dengan *Digital Portable Seismograph*
7. Kompas digunakan untuk menentukan arah pada saat pemasangan seismometer.
8. Lembar *Check List Survey* mikrotremor.
9. Peta Geologi Regional Surakarta digunakan sebagai bahan analisis geologi.

Perangkat keras yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 21. Adapun perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. *Sessaray-Geopsy* untuk memilih sinyal tanpa *noise* sehingga diperoleh kurva *H/V*.
2. *Google Mapper 13* untuk memasukkan titik koordinat penelitian ke GPS.
3. *Google Earth* untuk mengetahui letak setiap titik penelitian secara lebih detail.

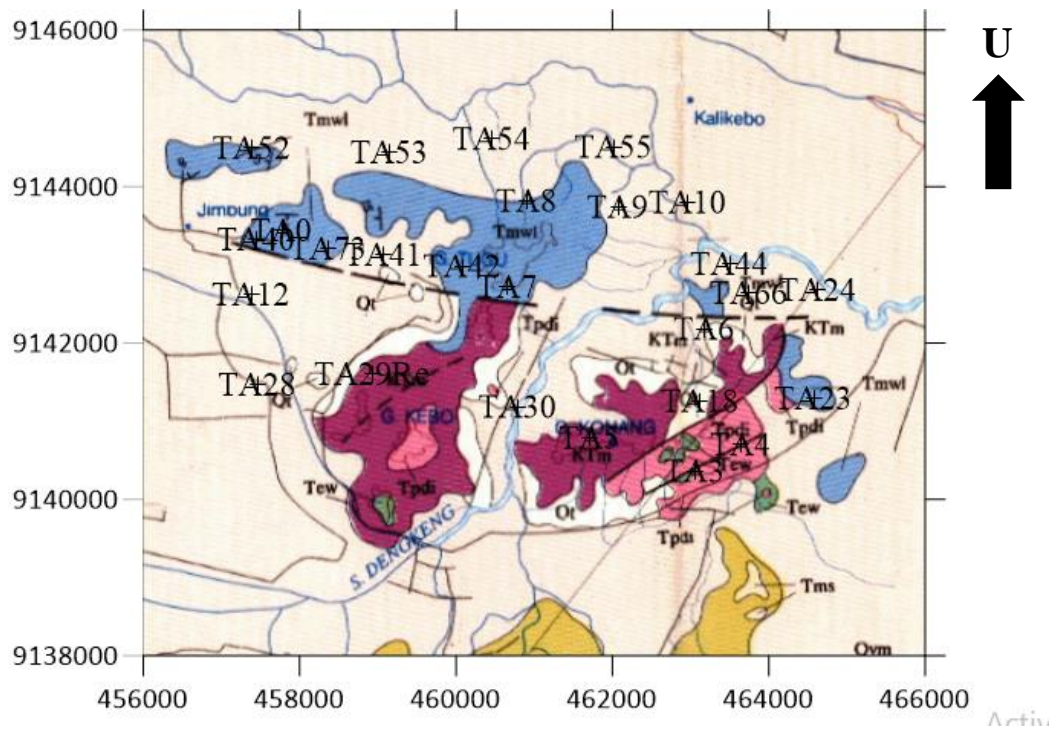
4. *Microsoft Office* untuk menyusun dan mengolah data.
5. *Surfer 12* untuk mikrozonasi frekuensi dominan dan amplifikasi.
6. *Rockworks15* untuk analisis *solid model 3D* dan *rose diagram*.
7. *Dinver* untuk analisis *ground profiles*.



Gambar 21. (a) Laptop, (b) Antena GPS, (c) Seismometer, (d) Digitizer. (e) Kompas.

C. Teknik Pengambilan Data

Tahapan yang dilakukan sebelum pengambilan data yaitu melakukan *survey* lapangan. Setelah diamati medan, keadaan lingkungan sekitar, dan administrasi kecamatan, selanjutnya membuat desain survei lokasi penelitian. Lokasi titik pengambilan data yaitu di sekitar sesar minor Bayat. Jumlah titik pengukuran sebanyak 27 titik dengan interval 1 km yang ditunjukkan pada Gambar 22. Pemilihan lokasi dan penentuan data pengukuran didasarkan pada persyaratan pengukuran yang mengacu pada *SESAME European Research Project* (2004) yang ditunjukkan pada Tabel 9.

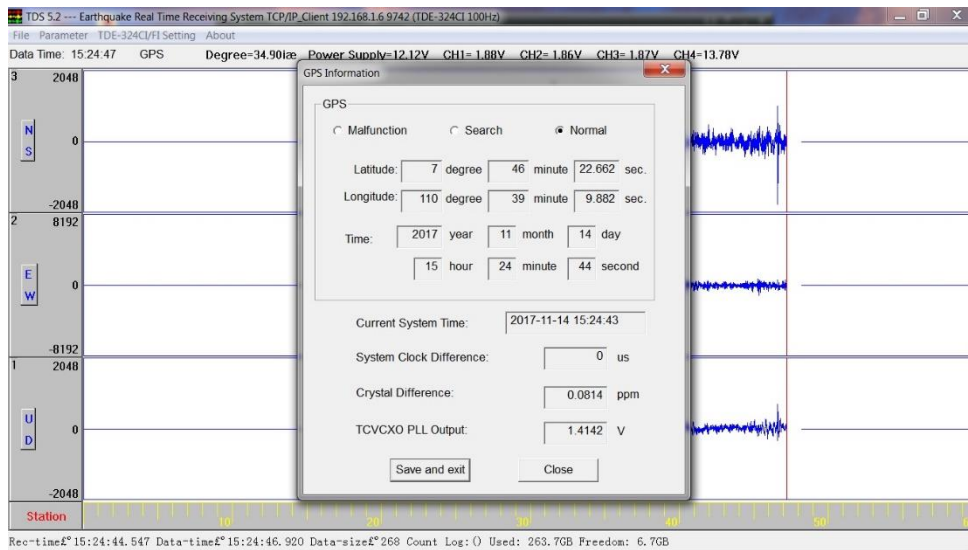


Gambar 22. Desain Survei Penelitian Sesar Minor Bayat.

Pengambilan data dilakukan selama 30 menit, dengan frekuensi *sampling* 100 Hz. Selama melakukan pengambilan data, diharuskan mengisi data *checklist* yang memuat waktu dan tempat penelitian, keadaan sekitar lokasi penelitian, dan gangguan-gangguan yang terjadi selama pengukuran (Lampiran 4). *Checklist* tersebut digunakan sebagai data pembanding jika ketika pengolahan data ditemukan kejanggalan berupa sinyal yang tiba-tiba berubah. Hasil rekaman akan disimpan oleh *digitizer* secara otomatis yang tersambung langsung ke laptop. Data dari *digitizer* dipindah ke laptop dengan cara mengunduh dalam bentuk data numerik. Salah satu contoh data terekam ditunjukkan pada Gambar 23.

Tabel 9. Syarat Penelitian Mikrotremor (SESAME, 2004)

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

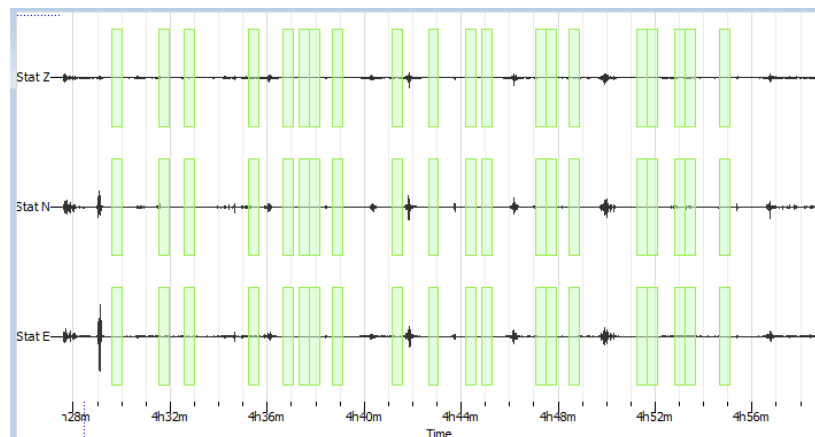


Gambar 23. Data yang Terekam saat Pengukuran

D. Teknik Analisis Data

1. *Cutting* sinyal mikrotremor dengan menggunakan *software Geopsy*

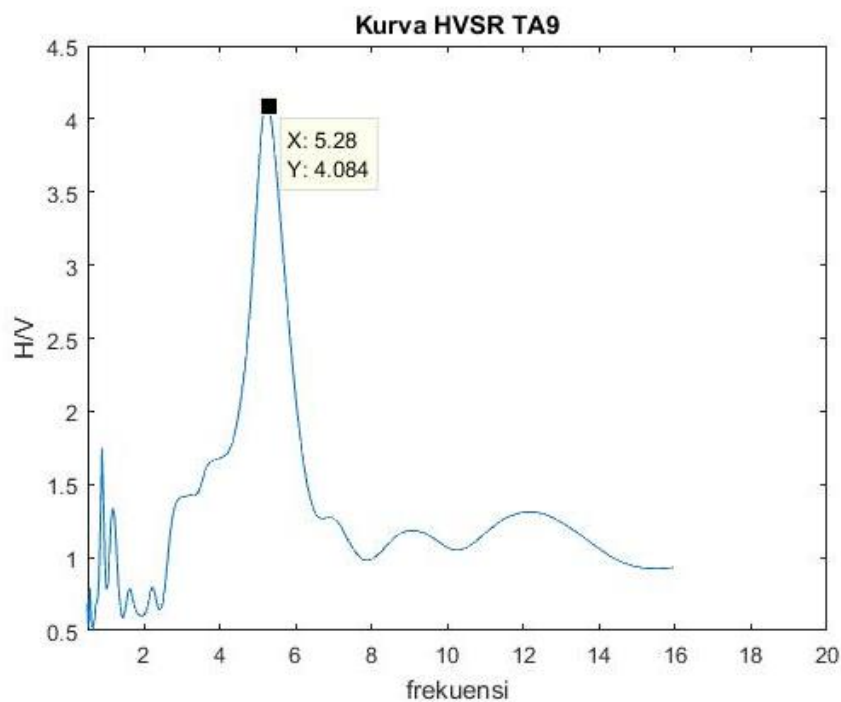
Selanjutnya dilakukan proses *cutting* atau pemilihan sinyal tanpa *noise* secara manual pada data sinyal mikrotremor hasil pengukuran yang tersimpan dalam format MSD dengan menggunakan *software Geopsy*. Kriteria sinyal tanpa *noise* yaitu sinyal dengan amplitudo gelombang $0,1 \mu\text{m}$ sampai $1 \mu\text{m}$. Hasil proses *cutting* selanjutnya disimpan dalam format *.hv*. Contoh *cutting* sinyal mikrotremor dengan *Geopsy* ditunjukkan pada Gambar 24.



Gambar 24. *Cutting* Sinyal Mikrotremor Titik TA 66.

2. Analisis sinyal mikrotremor menggunakan *Fast Fourier Transform* (FFT).

Sinyal mikrotremor hasil *cutting* data terdiri dari komponen sinyal horizontal dan komponen sinyal vertikal. Proses selanjutnya yaitu mengolah sinyal mikrotremor menggunakan *FFT*. Aplikasi yang digunakan adalah Matlab 2010a. Pengolahan sinyal mikrotremor di Matlab 2010a juga termasuk proses *Smoothing Konno* dan *Ohmachi*. Proses ini bertujuan untuk menghaluskan spektrum sinyal. Selanjutnya dilakukan analisis hasil *Smoothing* menggunakan metode HVSR, sehingga akan didapatkan kurva *H/V* sebagai fungsi frekuensi dan rasio *H/V*. Contoh kurva *H/V* dengan menggunakan aplikasi Matlab 2010a ditunjukkan pada Gambar 25.



Gambar 25. Kurva *H/V* menggunakan Matlab

Standar kriteria *Reliable* kurva *H/V* berdasarkan *SESAME European Reserch Project* (2004) yaitu harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

1. Kurva *H/V* memiliki nilai frekuensi dominan (f_0) lebih besar dari 10 dibagi panjang *windows* (lw).
2. Nilai nc harus lebih besar dari 200 ($nc > 200$). nc merupakan nilai dari perkalian panjang *windows* (lw), nilai frekuensi dominan (f_0), dan jumlah *windows* (n_w).
3. Standar deviasi dari nilai-nilai amplitudo HVSR sebagai fungsi frekuensi $A(f)$ harus bernilai kurang dari 2 ($\sigma A(f) < 2$) ketika f_0 nilainya lebih besar dari 0,5 Hz, atau harus bernilai lebih kecil dari 3 ($\sigma A(f) < 3$) ketika f_0 nilainya kurang dari 0,5 Hz dalam batas $0,5f_0$ hingga $2f_0$.

Selanjutnya untuk kriteria *clear Peak* terdiri dari enam kriteria yaitu :

1. Terdapat satu frekuensi (f^-) dengan nilai antara $f_0/4$ sampai f_0 yang memiliki nilai $AH/V(f^-) < \frac{A_0}{2}$.
2. Terdapat satu frekuensi (f^+) dengan nilai antara f_0 hingga $4f_0$ yang memiliki nilai $AH/V(f^+) < \frac{A_0}{2}$.
3. Nilai amplifikasi setiap frekuensi f_0 harus lebih dari 2 ($A_0 > 2$).
4. Nilai frekuensi dominan harus berada pada batas toleransi 5% atau dapat dituliskan menjadi $f_{peak} [AH/V \pm \sigma A(f)] = f_0 \pm 5\%$.
5. Standar deviasi dari nilai-nilai frekuensi harus lebih kecil dari batas nilai *threshold* untuk $\varepsilon(f_0)$ atau dapat ditulis $\sigma f < \varepsilon(f_0)$.

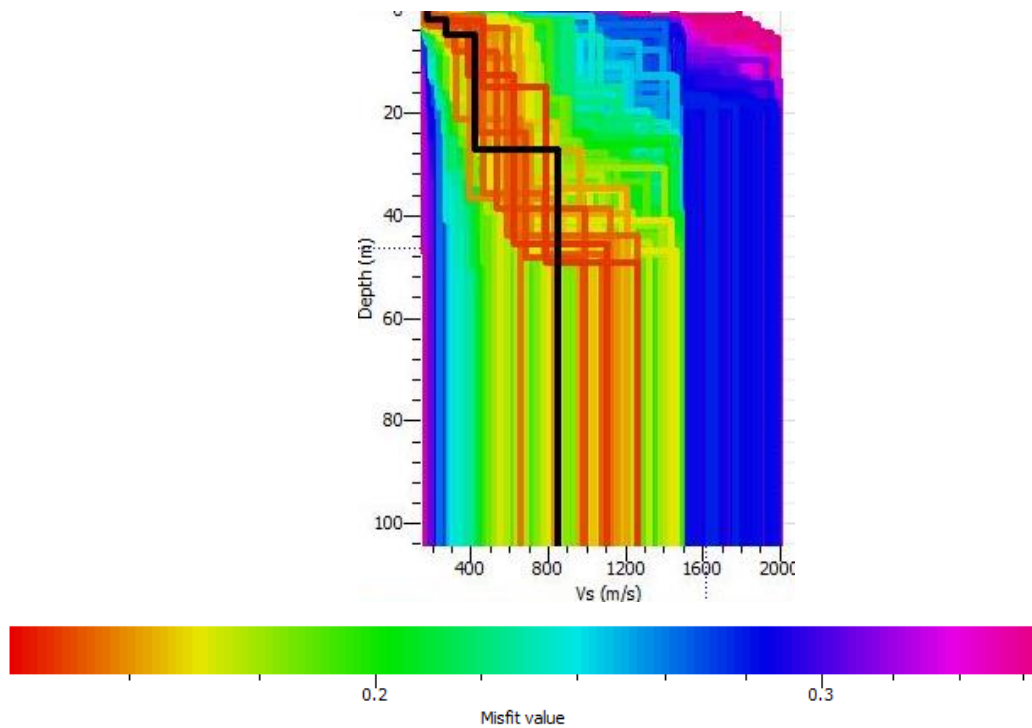
6. Standar deviasi dari nilai-nilai amplitudo HVSR sebagai fungsi frekuensi $A(f_0)$ harus lebih kecil dari batas nilai *threshold* untuk $\theta(f_0)$ atau dapat ditulis $\sigma A(f_0) < \theta(f_0)$. Nilai *threshold* ditunjukkan oleh Tabel 10.

Tabel 10. Nilai *Threshold* (SESAME, 2004)

| <i>Frequency Range (Hz)</i> | < 0,2 | 0,2 – 0,5 | 0,5 – 1,0 | 1,0 – 2,0 | >2,0 |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $\varepsilon(f_0)[Hz]$ | $0,25f_0$ | $0,20f_0$ | $0,15f_0$ | $0,10f_0$ | $0,05f_0$ |
| $\theta(f_0)$ untuk $\sigma_A(f_0)$ | 3,0 | 2,5 | 2,0 | 1,78 | 1,58 |
| Log $\theta(f_0)$ untuk $\sigma_{\log H/V}(f_0)$ | 1,48 | 1,40 | 1,30 | 0,25 | 0,20 |

3. Analisis lapisan bawah permukaan menggunakan metode *Ellipticity Curve*

Hasil analisis sinyal mikrotremor dengan metode HVSR yang disimpan dalam bentuk *.hv* selanjutnya digunakan untuk input data pada pemodelan *ground profile* metode *ellipticity curve* dengan menggunakan program Dinver pada *software Geopsy*. Input data lain selain kurva *H/V* adalah parameter model awal yang menjadi masukan dalam pengolahan ini meliputi nilai kecepatan gelombang P (V_p), kecepatan gelombang geser (V_s), Poisson *Ratio* dan massa jenis (densitas) batuan yang ditentukan. Berdasarkan informasi geologi daerah penelitian, metode *ellipticity curve* ini akan menghasilkan *ground profile* nilai kecepatan gelombang S (V_s) dan kedalaman dengan variasi model yang memiliki nilai *misfit* (ketidakcocokan) yang berbeda. Semakin rendah nilai *misfit* yang dihasilkan maka akan semakin bagus data yang diperoleh. Nilai *misfit* terendah yang digunakan adalah $0 < misfit < 1$. Hasil analisis menggunakan program Dinver ditunjukkan pada Gambar 26.

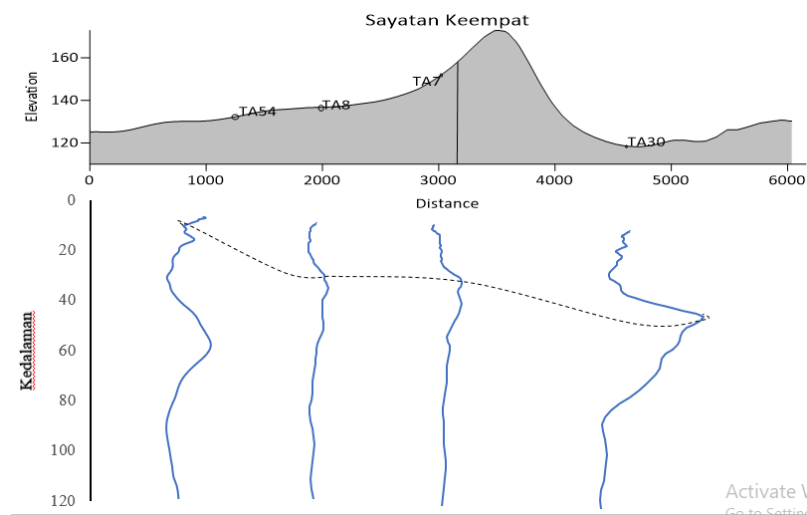


Gambar 26. *Ground profile* nilai kecepatan gelombang S (V_s) dan kedalaman (*depth*).

4. Pemodelan penampang seismik kurva H/V

Ground profiles V_s hasil metode *ellipticity curve* menjadi input data pengolahan penampang seismik kurva H/V . Nilai V_s digunakan untuk memperoleh nilai ketebalan sedimen (H) dengan menggunakan persamaan (40). Nilai ketebalan sedimen digunakan untuk pemodelan yang ditunjukkan dengan puncak spektrum hubungan antara parameter kedalaman *bedrock* dengan amplifikasi yang menggambarkan ketebalan lapisan sedimen. Analisis tersebut digunakan untuk setiap titik penelitian. Hasil analisis masing-masing titik penelitian selanjutnya digabung sehingga akan menjadi lintasan penampang seismik. Lintasan seismik dibuat tegak lurus memotong jalur sesar

Bayat seperti dapat dilihat pada Gambar 27. Penampang seismik menunjukkan nilai kedalaman dari lapisan sedimen lunak yang ditandai dengan adanya nilai *peak* antara nilai faktor amplifikasi dengan kedalaman *bedrock*. Jika setiap spektrum dalam satu lintasan pengamatan disejajarkan secara vertikal maka akan terbentuk penampang yang menyerupai penampang seismik (Wibowo *et al.* 2018).



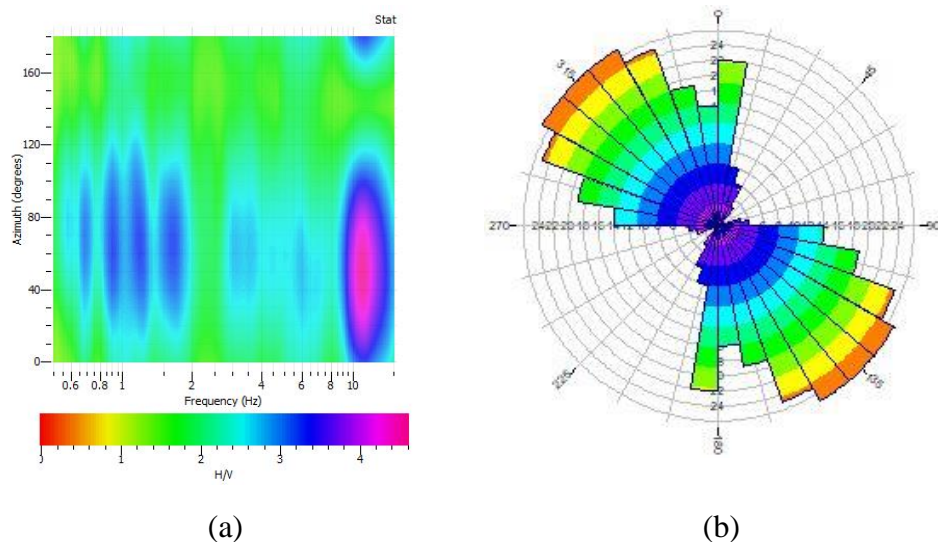
Gambar 27. Penampang Seismik Lintasan 4 di Jalur Sesar Minor Bayat

5. Pemodelan 3D dengan *Rockworks15*

Nilai kedalaman sedimen dan nilai kecepatan gelombang geser (V_s) digunakan sebagai data *input* analisis pemodelan 3D dengan menggunakan *Rockworks15*. Tujuan pemodelan 3D adalah untuk mempermudah dalam mengidentifikasi sesar dengan menganalisis struktur bawah permukaan dan analisis sesar.

6. Pemodelan *H/V Rotate* dan *Rose Diagram* di kawasan sesar minor Bayat

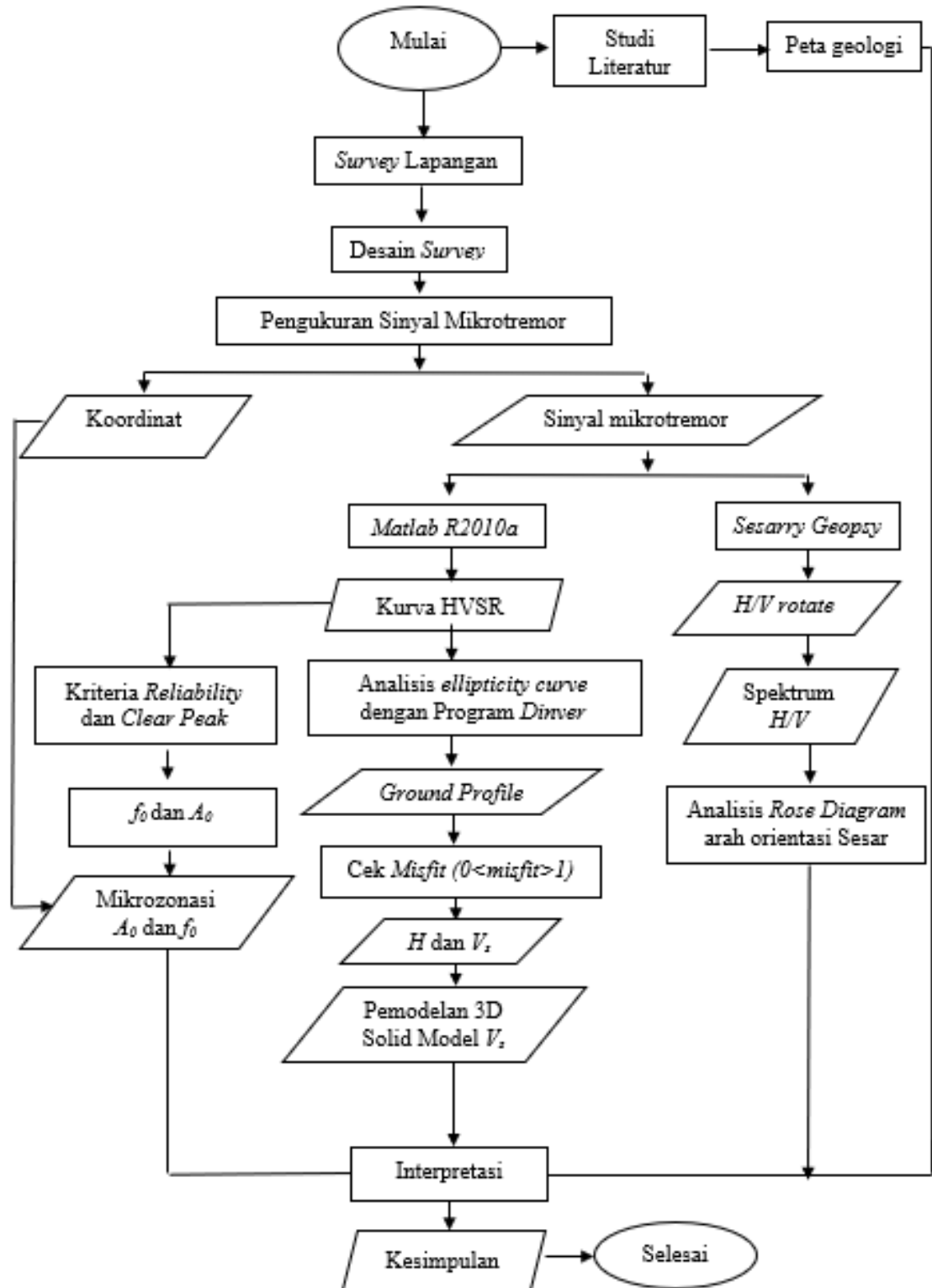
Pemodelan *H/V rotate* menggunakan *software Sesarray Geopsy* dan menghasilkan nilai faktor amplifikasi dan *azimuth*-nya. Tujuan pemodelan ini adalah untuk mengetahui arah gerakan tanah dengan menggabungkan hasil analisis HVSR dan perhitungan sudut polarisasi. Hasil analisis ini berupa spektrum *H/V* sebagai fungsi frekuensi pada sumbu *x* dan sudut *azimuth* arah sumber datang gelombang seismik pada sumbu *y* seperti ditunjukkan pada Gambar 28(a). Spektrum *H/V* digunakan sebagai data *input* pengolahan *rose diagram*. Pengolahan *rose diagram* menggunakan *software Rockworks15*. Pengolahan *rose diagram* bertujuan untuk memudahkan dalam merepresentasikan arah datangnya gelombang seismik. Pergerakan tanah di setiap titik pengukuran diukur dari koordinat utara sebagai acuan seperti ditunjukkan pada Gambar 28(b).



Gambar 28. a). Spektrum H/V Titik TA0, b) *Rose Diagram* Titik TA0

E. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 29.



Gambar 29. Diagram Alir Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kecamatan Bayat Kabupaten Klaten merupakan wilayah yang tersusun oleh batuan yang bervariasi, di antaranya batuan Formasi Gamping Wungkal, Formasi Wonosari Punung, Formasi Diorite Pendul, Formasi Batuan Malihan, dan Formasi Alluvial Tua. Penelitian di daerah ini bertujuan untuk mengidentifikasi keberadaan sesar minor di wilayah Kecamatan Bayat. Identifikasi keberadaan sesar ini dilakukan dengan pengukuran sinyal mikrotremor. Hasil yang didapat adalah nilai frekuensi dominan (f_0) dan faktor amplifikasi (A_0). Parameter tersebut digunakan untuk mengkarakterisasi sinyal mikrotremor di sekitar kawasan sesar minor dalam bentuk mikrozonasi frekuensi dominan (f_0), mikrozonasi faktor amplifikasi (A_0), model penampang seismik, dan *rose diagram* arah sumber datang gelombang seismik.

A. Mikrozonasi Frekuensi Dominan (f_0) dan Faktor Amplifikasi (A_0)

Frekuensi dominan dan faktor amplifikasi merupakan parameter hasil dari pengolahan sinyal mikrotremor dengan metode HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) yang diwujudkan dalam bentuk kurva H/V . Kurva H/V memiliki kriteria yang harus dipenuhi dengan merujuk pada standar yang ditetapkan dalam *SESAME European Research Project* (2004). Terdapat dua kriteria yang harus dipenuhi di setiap titik pengukuran yaitu kriteria *reliable* dan *clear peak*, yang ditunjukkan pada Lampiran 1.

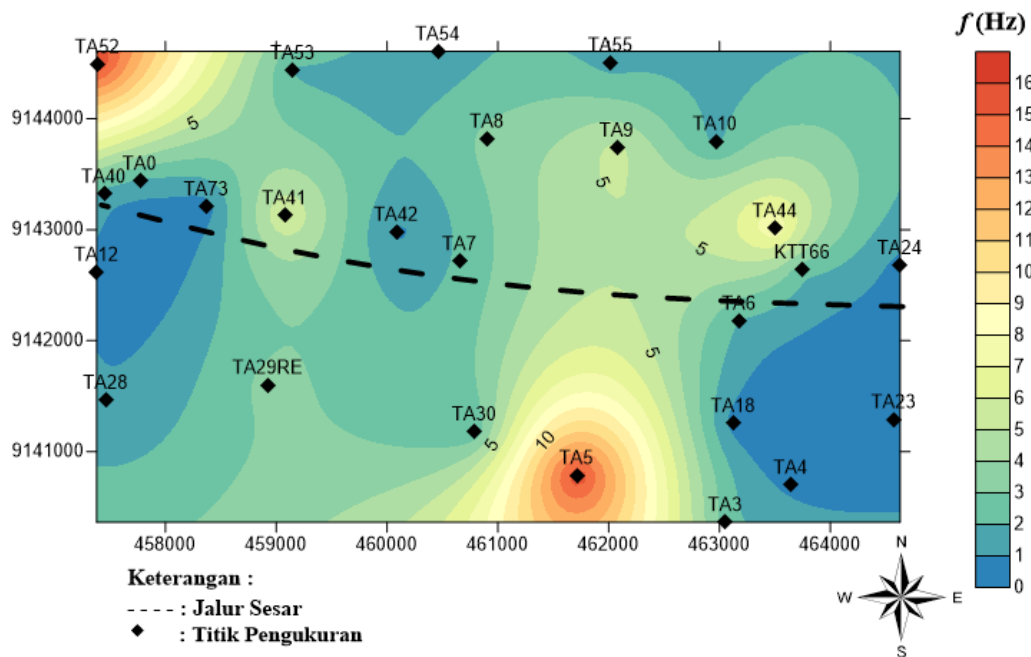
1. Mikrozonasi Frekuensi Predominan (f_0)

Mikrozonasi merupakan upaya untuk memetakan potensi bencana di suatu daerah yaitu di sekitar sesar minor Bayat berdasarkan pada data yang diperoleh dari survei mikrotremor berupa persebaran nilai frekuensi dominan. Frekuensi dominan merupakan frekuensi alami. Nilai tersebut dapat digunakan untuk menginformasikan karakteristik geologi daerah penelitian berdasarkan respon terhadap gempa bumi, sehingga tinggi rendahnya nilai frekuensi dominan di wilayah penelitian bergantung pada kondisi struktur bawah permukaan daerah penelitian.

Nilai frekuensi dominan berkaitan dengan bidang pantul suatu gelombang di bawah permukaan. Bidang pantul yang dimaksud adalah batasan antara lapisan sedimen dengan batuan keras (*bedrock*). Semakin kecil nilai frekuensi dominan maka semakin dalam bidang pantulnya atau semakin tebal lapisan sedimennya, dan sebaliknya semakin tinggi nilai frekuensi dominannya maka semakin dangkal bidang pantulnya atau semakin tipis lapisan sedimennya.

Gambar 29 menunjukkan hasil dari mikrozonasi f_0 daerah penelitian. Berdasarkan gambar mikrozonasi tersebut, nampak bahwa persebaran frekuensi dominan di sekitar sesar minor Bayat bernilai 0,5 Hz – 16 Hz yang ditunjukkan dengan kontrol warna biru yang menunjukkan nilai terendah sampai warna merah yang menunjukkan nilai tertinggi. Berdasarkan Gambar 29 dapat diketahui bahwa lapisan tanah yang digambarkan dengan warna hijau berdasarkan klasifikasi batuan menurut Kanai masuk ke jenis batuan tipe III jenis I dengan frekuensi

predominan sebesar 2,5 Hz – 4 Hz, klasifikasi batuan penyusunnya adalah batuan alluvial dengan ketebalan lapisan sedimennya dikategorikan tebal berkisar 10 – 30 meter dan terdiri dari *sandy gravel*, *sandy hard clay*, dan *loam*.

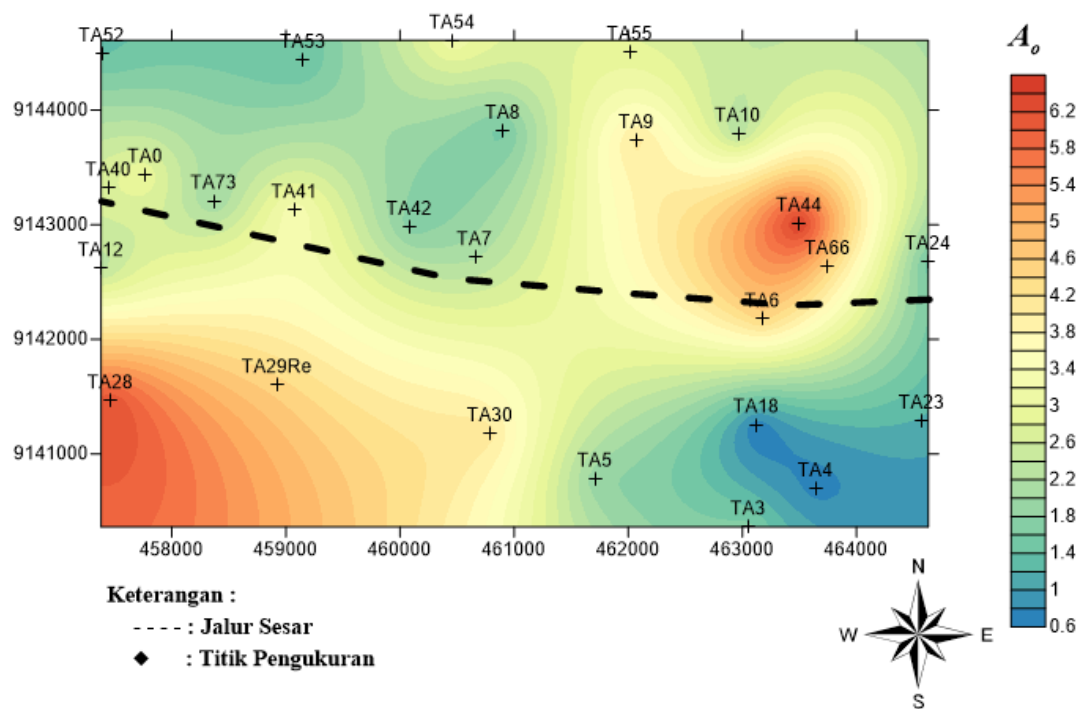


Gambar 30. Mikrozonasi f_0 yang di *Overlay* dengan Jalur Sesar Bayat

Warna biru termasuk dalam tipe I jenis I, yaitu nilai frekuensi predomannya 0,56 Hz - 2,48 Hz. Klasifikasi jenis tanahnya berupa batuan alluvial yang terbentuk dari sedimentasi delta, *top soil*, dan lumpur dengan ketebalan lapisan sedimen sebesar 30 meter atau lebih. Selanjutnya warna *cream* hingga *orange* termasuk jenis batuan tipe IV jenis II dengan nilai frekuensi predomannya 6,5 Hz – 16 Hz, dan klasifikasi batuannya termasuk batuan tersier atau batuan tua, yang terdiri dari batuan *hard sandy*, dan *gravel*. Lapisan ini sedimentasinya sangat tipis, dan didominasi oleh batuan keras.

2. Mikrozonasi Faktor Amplifikasi (A_0)

Faktor amplifikasi merupakan parameter yang dihasilkan dari metode HVSR. Faktor amplifikasi merupakan faktor penguatan gelombang seismik yang menjalar pada lapisan sedimen di permukaan tanah (Sutrisno *et al*, 2013). Nilai faktor amplifikasi berhubungan dengan tingkat kerapatan batuan. Nilai faktor amplifikasi berbanding terbalik dengan kecepatan gelombang geser, dimana semakin kecil kecepatan gelombang, maka faktor amplifikasinya semakin besar (Buanawati, 2018).



Gambar 31. Mikrozonasi Nilai Faktor Amplifikasi

Gambar 31 merupakan mikrozonasi faktor amplifikasi di sekitar sesar Bayat yang menunjukkan bahwa persebaran nilainya berkisar antara 0,6 sampai 5,8 yang ditunjukkan dengan warna biru sampai warna merah. Nilai yang diperoleh menunjukkan nilai amplifikasi rendah sampai sedang. Titik TA18, TA4,

TA23, TA5, TA52, TA53, TA 8, TA42, TA73, TA24, dan TA3 memiliki amplifikasi rendah dengan nilai A_0 sebesar 0,6 sampai 2,6, dimana titik TA18, TA4, TA23, TA5, dan TA3 berada di utara jalur sesar minor Bayat dengan Formasi Aluvium Tua, Diorit Pendul, Wonosari-Punung, dan Batuan Malihan, sedangkan titik TA52, TA53, TA8, TA42, TA73, dan TA24 berada di selatan jalur sesar minor Bayat dengan Formasi Wonosari-Punung dan Gunungapi Merapi.

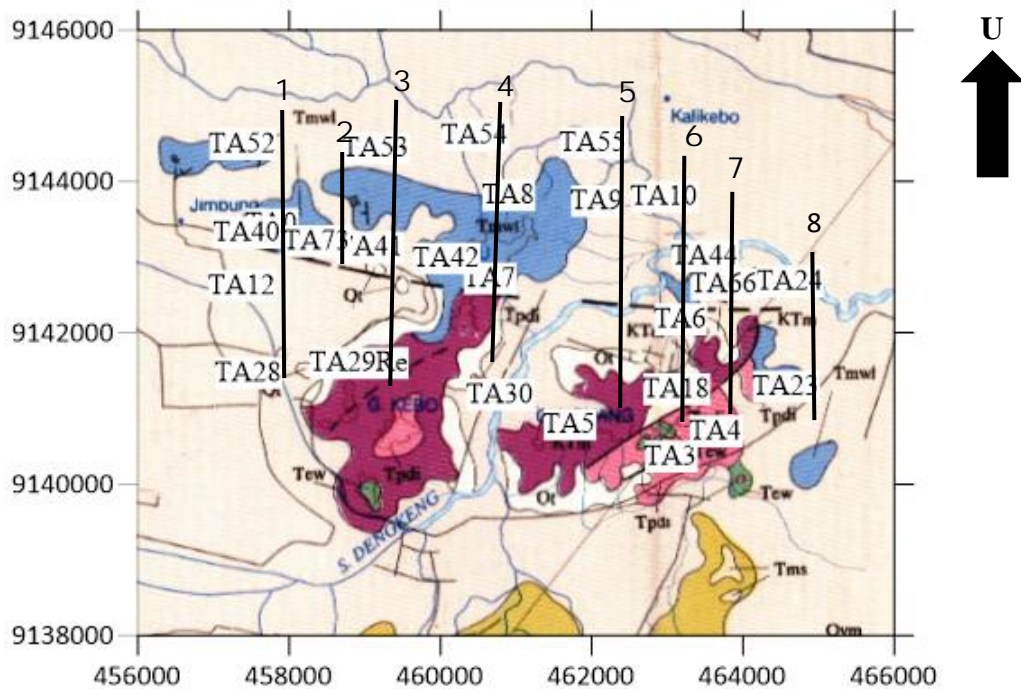
Adapun titik TA30, TA28, TA29Re, TA6, TA66, TA44, TA9, TA10, TA55, TA54, TA41, TA12, TA40, dan TA0 memiliki amplifikasi sedang dengan nilai A_0 sebesar 3 sampai 5,8, dimana TA66, TA44, TA9, TA10, TA55, TA54, TA41, TA40, dan TA0 berada pada utara jalur sesar minor Bayat dengan Formasi Diorit Pendul, Gunungapi Merapi, dan Wonosari-Punung, sedangkan TA30, TA28, TA29Re, TA6, dan TA12 berada pada selatan jalur sesar minor Bayat dengan Formasi Gunungapi Merapi. Nilai amplifikasi tertinggi berada pada titik TA44 dan TA28 dengan Formasi Batuan Gunungapi Merapi.

B. Model Penampang Seismik Kurva H/V

Penampang seismik merupakan hasil hubungan dari tiga parameter, yaitu ketebalan sedimen (H), kecepatan gelombang geser (V_s), dan periode dominan (T_0). Nilai periode dominan diperoleh dari nilai frekuensi dominan yang dihasilkan dari pengukuran sinyal mikrotremor. Adapun kurva H/V merupakan hasil pengolahan menggunakan *software Sessaray Geopsy*. Model penampang seismik kurva H/V digunakan untuk mengkarakterisasi ketebalan lapisan sedimen.

Penampang seismik merupakan hasil dari analisis kurva *H/V*. Model penampang seismik dapat merepresentasikan kedalaman batuan keras (*bedrock*).

Identifikasi sesar minor Bayat didasarkan pada penampang seismik dari 8 lintasan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 32. Lintasan-lintasan penampang seismik tersebut dibuat sejajar dan memotong jalur sesar minor Bayat. Setiap lintasan penampang seismik memiliki pola penampang seismik yang menunjukkan karakteristik setiap titik penelitian. Pola penampang seismik yang memiliki titik puncak (*peak*) jelas dan tegas menunjukkan karakteristik geologi berupa lapisan sedimen tebal dan berada pada topografi dataran rendah. Sebaliknya, pola penampang seismik yang tidak memperlihatkan puncak (*peak*) secara tegas hingga *flat* menunjukkan karakteristik geologi berupa lapisan sedimen tipis dan berada pada topografi perbukitan (Zulianti, 2018).



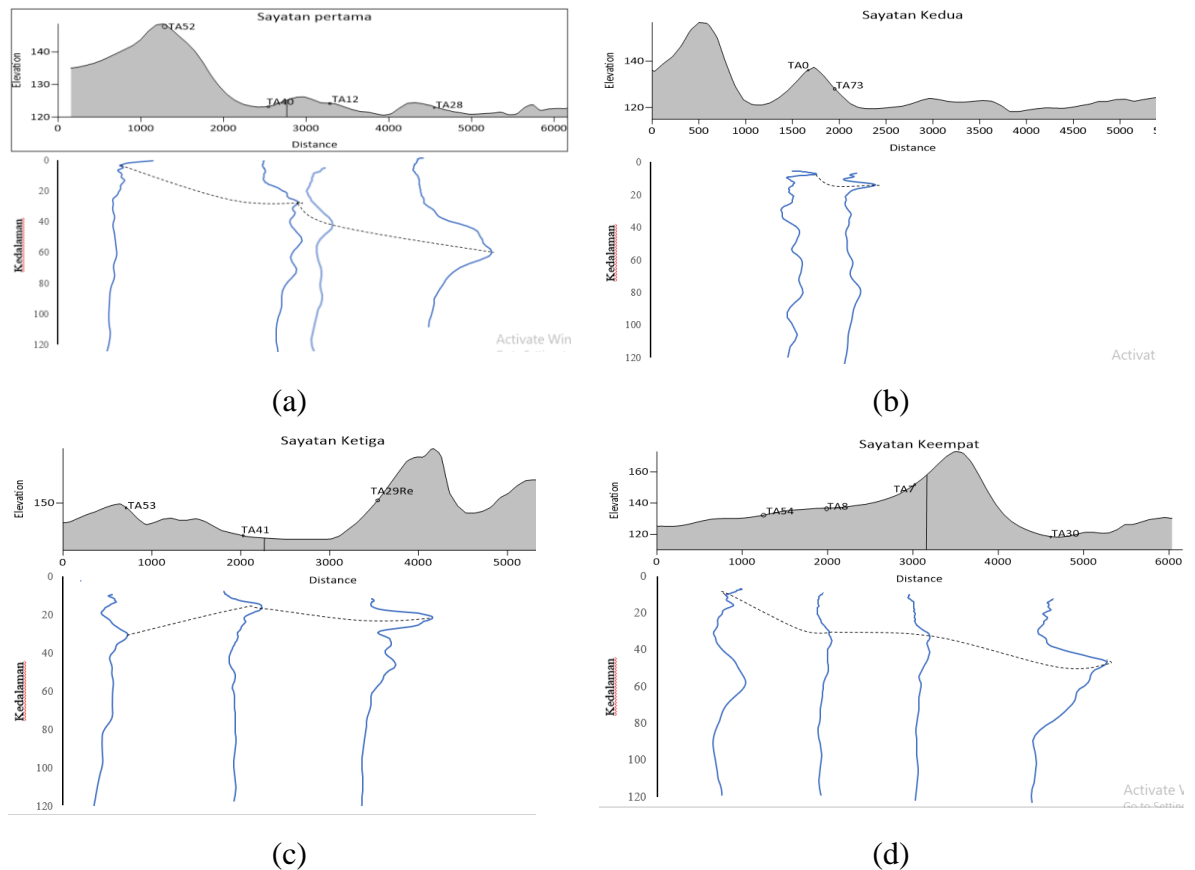
Gambar 32. Lintasan Penampang Seismik di Kawasan Sesar Minor Bayat.

Gambar 33(a) menunjukkan penampang seismik lintasan 1, yaitu lintasan paling timur daerah penelitian. Lintasan ini membentang dari utara ke selatan memotong jalur sesar minor Bayat. Formasi batuan yang dilewati berupa Formasi Wonosari-Punung (Tmwl) dan Formasi Gunungapi Merapi (Qvm). Puncak penampang seismik di setiap titik pada lintasan 1 memiliki variasi. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan formasi batuan di utara dan selatan jalur sesar minor Bayat. Titik TA52 dan TA40 lapisan sedimennya lebih tipis dibanding titik TA12 dan TA28.

Titik TA52 dan TA40 memiliki nilai faktor amplifikasi rendah yaitu 1,367 dan 2,767, hal ini berkorelasi dengan struktur batuan di titik tersebut yang berada di Formasi Wonosari-Punung (Tmwl). Formasi ini meliputi batugamping, batugamping napalan-tufan, batugamping konglomerat, batupasir tufan, dan batulanau. Sedangkan nilai faktor amplifikasi titik TA12 dan TA28 termasuk kategori sedang sampai tinggi yaitu 2,305 dan 6,215. Titik TA28 memiliki nilai faktor amplifikasi tinggi, dibanding titik pengukuran yang berada di daerah perbukitan.

Gambar 33(b) menunjukkan penampang seismik lintasan 2 jalur sesar minor Bayat. Lintasan ini terdiri dari 2 titik penampang seismik yaitu TA0, dan TA73 yang berada pada formasi batuan yang sama yaitu Formasi Wonosari-Punung. Gambar 33(c) menunjukkan lintasan 3, yang melintasi 4 formasi batuan yaitu Formasi Wonosari-Punung (Tmwl), Formasi Gunungapi Merapi (Qvm), Formasi Aluvial Tua (Qt), dan Formasi Batuan Malihan (KTm). Lintasan ini terdiri dari titik TA53, TA41, dan TA29Re. Ketebalan lapisan sedimen lintasan 2

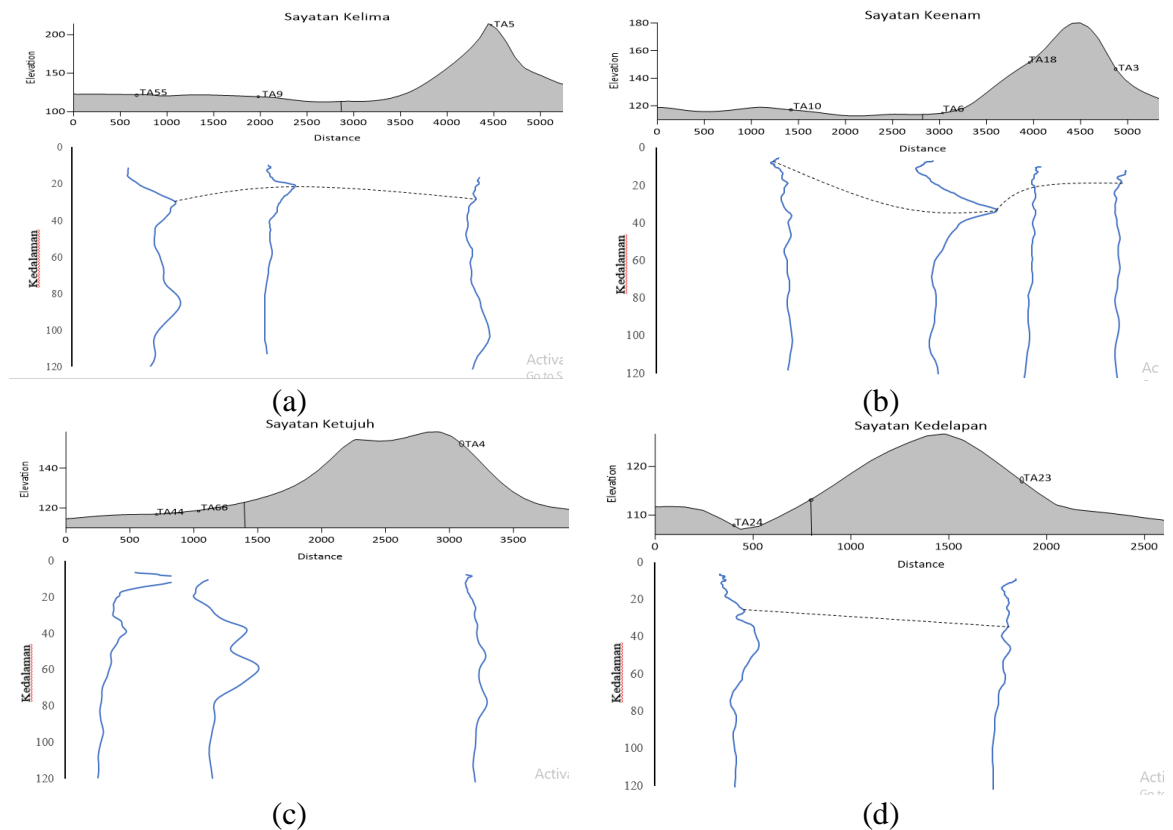
dan 3 tidak jauh berbeda. Kedua lintasan ini memiliki lapisan sedimen yang cukup tipis kurang dari 20 meter.



Gambar 33. Model Lintasan Penampang Seismik di Jalur Sesar Minor Bayat. (a) Lintasan 1 (b) Lintasan 2 (c) Lintasan 3 (d) Lintasan 4.

Lintasan 4 pada Gambar 33(d) melintasi Formasi Gunungapi Merapi (Qvm), dan Formasi Wonosari-Punung (Tmwl). Lintasan ini terdiri dari titik TA54, TA8, TA7, dan TA30. Lintasan 5 yang ditunjukkan pada Gambar 34(a) meliputi titik TA55, TA9, dan TA5. Adapun TA55 dan TA9 berada pada Formasi Gunungapi Merapi (Qvm), daerah ini cenderung lebih datar dibanding titik TA5.

Nilai faktor amplifikasinya 2,87 dan 4,084. Sedangkan titik TA5 yang berada pada Formasi Wonosari-Punung (Tmwl) memiliki nilai faktor amplifikasi 1,854.



Gambar 34. Model Lintasan Penampang Seismik di Jalur Sesar Minor Bayat. (a) Lintasan 5 (b) Lintasan 6 (c) Lintasan 7 (d) Lintasan 8.

Gambar 34(b) merupakan lintasan 6 yang memotong sejajar jalur sesar minor Bayat. Lintasan ini berada pada Formasi Gunungapi Merapi (Qvm), Alluvial Tua (Qt), dan Wonosari-Punung (Tmwl). Lintasan 6 memiliki 4 titik, yaitu TA10, TA6, TA18, dan TA3. Masing-masing memiliki nilai faktor amplifikasi 2,23, 4,487, 0,6382, dan 1,676. Titik TA18 memiliki nilai faktor amplifikasi yang rendah, didukung dengan keadaan di titik tersebut yang merupakan daerah pegunungan, sedangkan titik TA6 termasuk amplifikasi sedang.

Lintasan 7 pada Gambar 34(c) memiliki 3 titik yaitu TA44, TA66, dan TA4. Formasi batuan lintasan ini yaitu Gunungapi Merapi (Qvm), Alluvial Tua (Qt), Wonosari-Punung (Tmwl), dan Diorit Pendul (Tpdi). Nilai faktor amplifikasinya yaitu 6,645, 4,501, dan 0,7163. Dilihat dari nilai faktor amplifikasinya, titik TA44 memiliki amplifikasi tinggi, kemudian titik TA66 memiliki amplifikasi sedang, dan titik TA4 memiliki amplifikasi rendah. Lintasan 8 pada Gambar 34(d) merupakan lintasan paling timur di antara lintasan yang lain. Lintasan ini memiliki 2 titik penampang seismik yaitu TA24 dan TA23. Nilai faktor amplifikasinya adalah 1,183 dan 1,5. Formasi batuan yang dilintasi yaitu Gunungapi Merapi (Qvm) dan Wonosari-Punung (Tmwl).

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

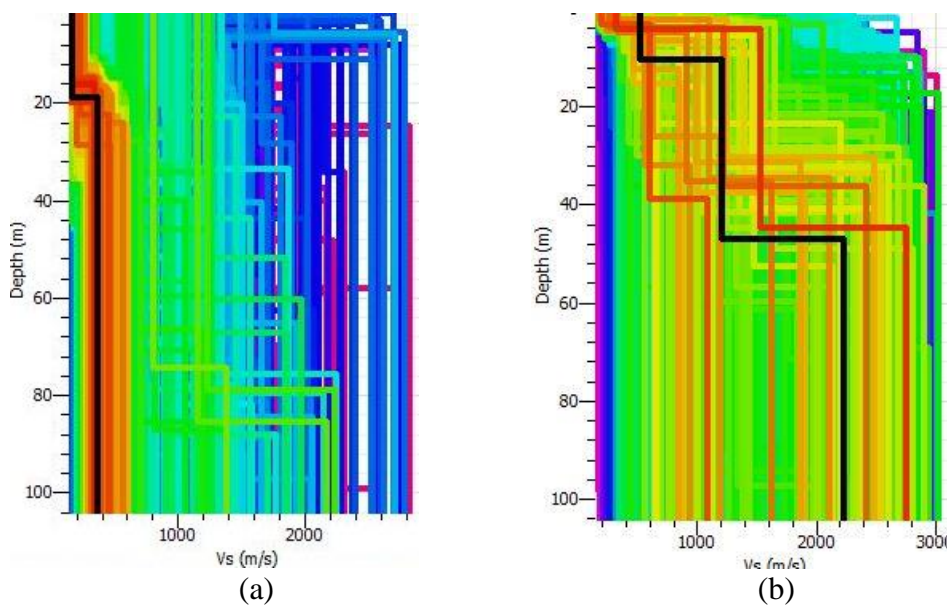
Metode *ellipticity curve* digunakan untuk mengetahui lapisan bawah permukaan. Metode ini menghasilkan kurva eliptisitas gelombang Rayleigh. Metode ini menggunakan beberapa parameter yang menjadi masukan awal metode ini, parameter tersebut meliputi nilai kecepatan gelombang S, nilai kecepatan gelombang P, Poisson *ratio*, dan massa jenis batuan (*density*). Massa jenis batuan didapatkan dari informasi geologi daerah penelitian. Hasil dari metode ini adalah nilai kecepatan gelombang geser (V_s) dengan nilai *misfit* tiap titik pengukuran berbeda beda. Semakin kecil nilai *misfit* yang dihasilkan maka kurva model yang dihasilkan akan semakin mendekati kondisi sebenarnya. Hasil pengolahan *ellipticity curve* dengan menggunakan program *dinver* ditunjukkan pada Gambar 35.

Gambar 35 merupakan kurva *ground profile* yang dihasilkan dari metode *ellipticity curve* yang menggambarkan keadaan bawah permukaan berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser, dimana kurva tersebut menggambarkan keterkaitan antara kedalaman (*depth*) dan kecepatan gelombang geser. Gambar 35 menunjukkan beberapa lapisan sedimen, dimulai dari lapisan pertama, kedua dan seterusnya. Rata – rata kurva yang dihasilkan menunjukkan 3 lapisan batuan penyusun. Dapat diketahui bahwa semakin dalam lapisannya, maka semakin besar nilai kecepatan gelombang geser. Hal ini juga menunjukkan keberadaan batuan di bawah permukaan. Semakin besar nilai kecepatan gelombang geser, maka semakin besar tingkat kekakuan batuan.

Gambar 35(a) merupakan kurva dengan 2 lapisan batuan, hal ini ditunjukkan dengan garis warna hitam. Lapisan pertama berada di kedalaman \leq 20 meter di bawah permukaan dengan kecepatan gelombang geser bernilai 151,19 m/s. Lapisan kedua berada di kedalaman $>$ 20 meter, dengan kecepatan gelombang gesernya sebesar 343,22 m/s. Gambar 34(a) merupakan titik TA4, dan berdasarkan informasi geologi yang didapatkan, jenis batuan di daerah tersebut adalah *diorite*. Batuan *diorite* merupakan batuan beku berukuran kasar – sedang, dimana komposisinya antara granit sampai gabro ataupun basalt.

Gambar 35(b) adalah kurva untuk titik TA23, dimana lapisan batuan yang tergambar berjumlah 3 lapisan. Lapisan pertama berada pada kedalaman $<$ 5 meter dengan V_s bernilai 201,68 m/s. Lapisan kedua memiliki kedalaman 33,45 meter, dengan nilai V_s 573,23 m/s, dan lapisan ketiga berada di kedalaman 104,08 meter, dengan nilai V_s 1137,86 m/s. Informasi batuan di titik tersebut berdasarkan peta

geologi termasuk dalam Formasi Wonosari-Punung, dimana jenis batumannya adalah batugamping, batugamping sapalan-tufan, batugamping konglomerat, batupasir tufan dan batulanau. Data dan nilai V_s secara lengkap ditampilkan pada Lampiran 2.

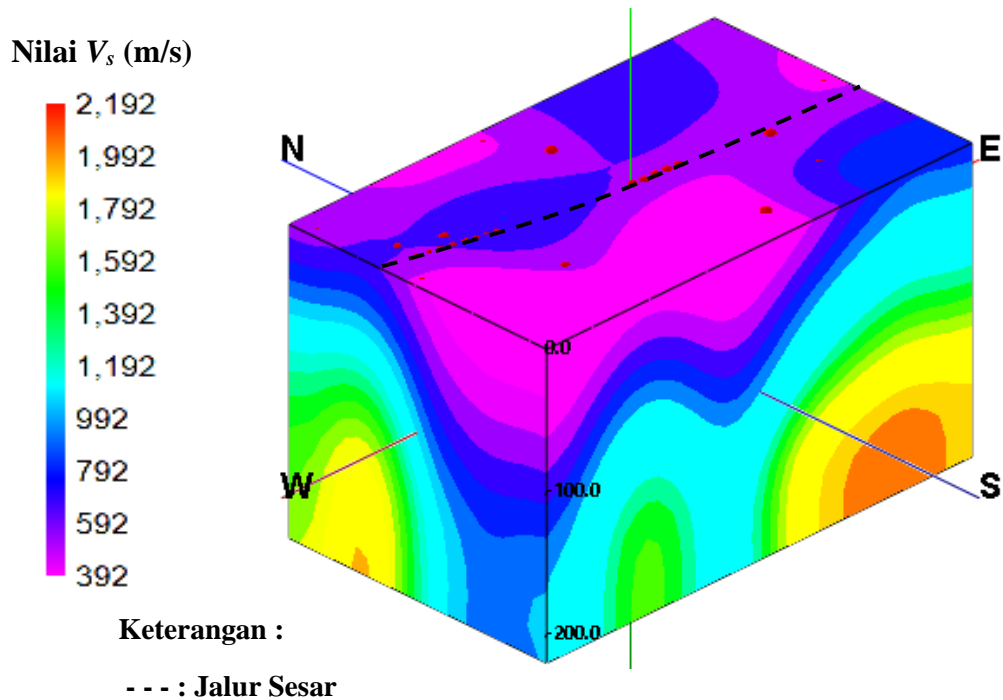


Gambar 35: Kurva *Ground Profile* Nilai Kecepatan Gelombang Geser (V_s) dan Kedalaman (*depth*).

D. *Solid Model* Kecepatan Gelombang Geser di Kawasan Sesar Minor Bayat

Solid model V_s merupakan pemodelan 3D yang merepresentasikan parameter kecepatan gelombang geser V_s dan juga ketebalan sedimen berdasarkan nilai V_s yang didapatkan saat pengukuran di sekitar kawasan sesar minor Bayat. *Data input* pengolahan *solid model* 3D menggunakan *software Rockworks15* adalah nilai kecepatan gelombang geser V_s beserta nilai kedalamannya di semua titik pengukuran. Berdasarkan Tabel 4 dan Tabel 5, nilai V_s berkorelasi dengan klasifikasi jenis batuan, semakin besar nilai V_s yang didapatkan akan semakin

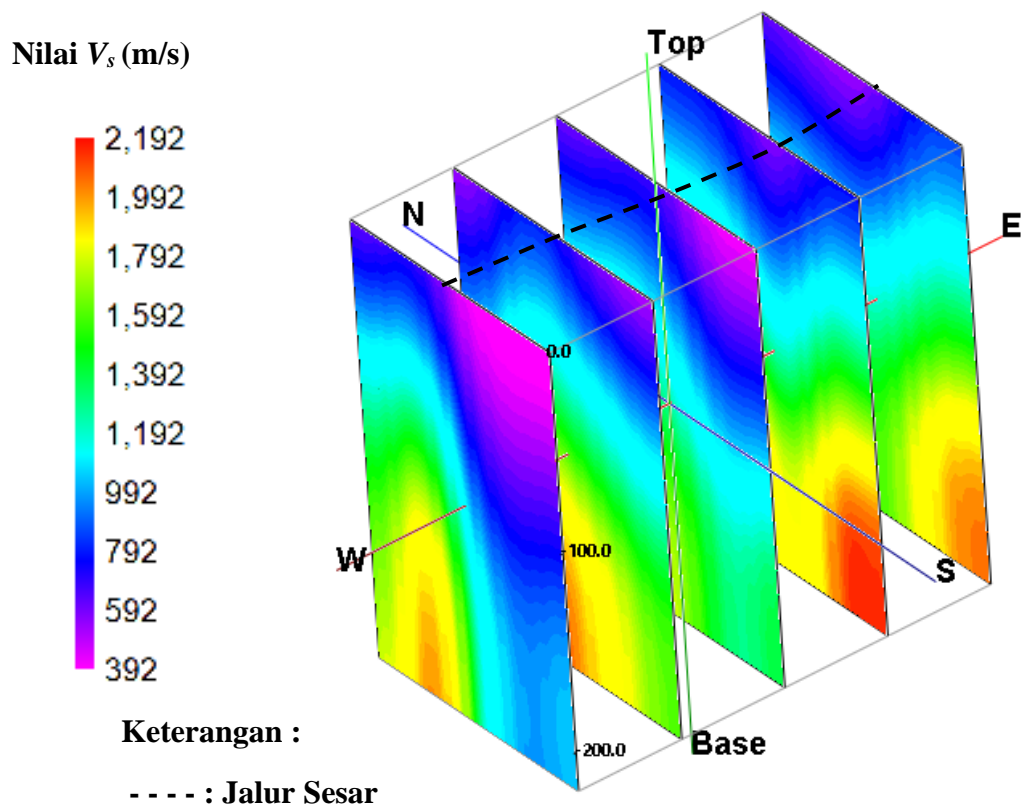
keras jenis batuan penyusunnya. *Solid model* V_s di kawasan sesar minor Bayat ditunjukkan pada Gambar 36.



Gambar 36. *Solid Model 3D* Nilai V_s

Gambar 36 merupakan pemodelan struktur bawah permukaan secara 3D berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser dengan kedalaman 200 meter. Visualisasi nilai V_s dengan skala warna dari terendah yaitu warna ungu sampai nilai tertinggi yaitu warna merah. Garis hitam putus-putus merupakan jalur sesar minor Bayat. Sudah disebutkan bahwa nilai kecepatan gelombang geser berkaitan dengan klasifikasi batuan yang tersusun. Berdasarkan Tabel 5 diketahui bahwa $V_s \geq 750$ termasuk tanah lunak, dan $V_s \geq 1.500$ termasuk batuan keras. Nilai kecepatan gelombang geser berdasarkan *solid model* 3D yaitu nilai terendahnya

392 m/s yang divisualisasikan dengan warna merah muda dan nilai tertinggi 2.192 m/s yang divisualisasikan dengan warna coklat. Pemodelan 3D seperti Gambar 36 di atas belum bisa menjelaskan keberadaan sesar secara lebih detail. Oleh karena itu, perlu dilakukan penyayatan *Solid Model* 3D tersebut. Penyayatan ini dilakukan untuk mempermudah mengidentifikasi lebih detail terkait dengan struktur bawah permukaan.

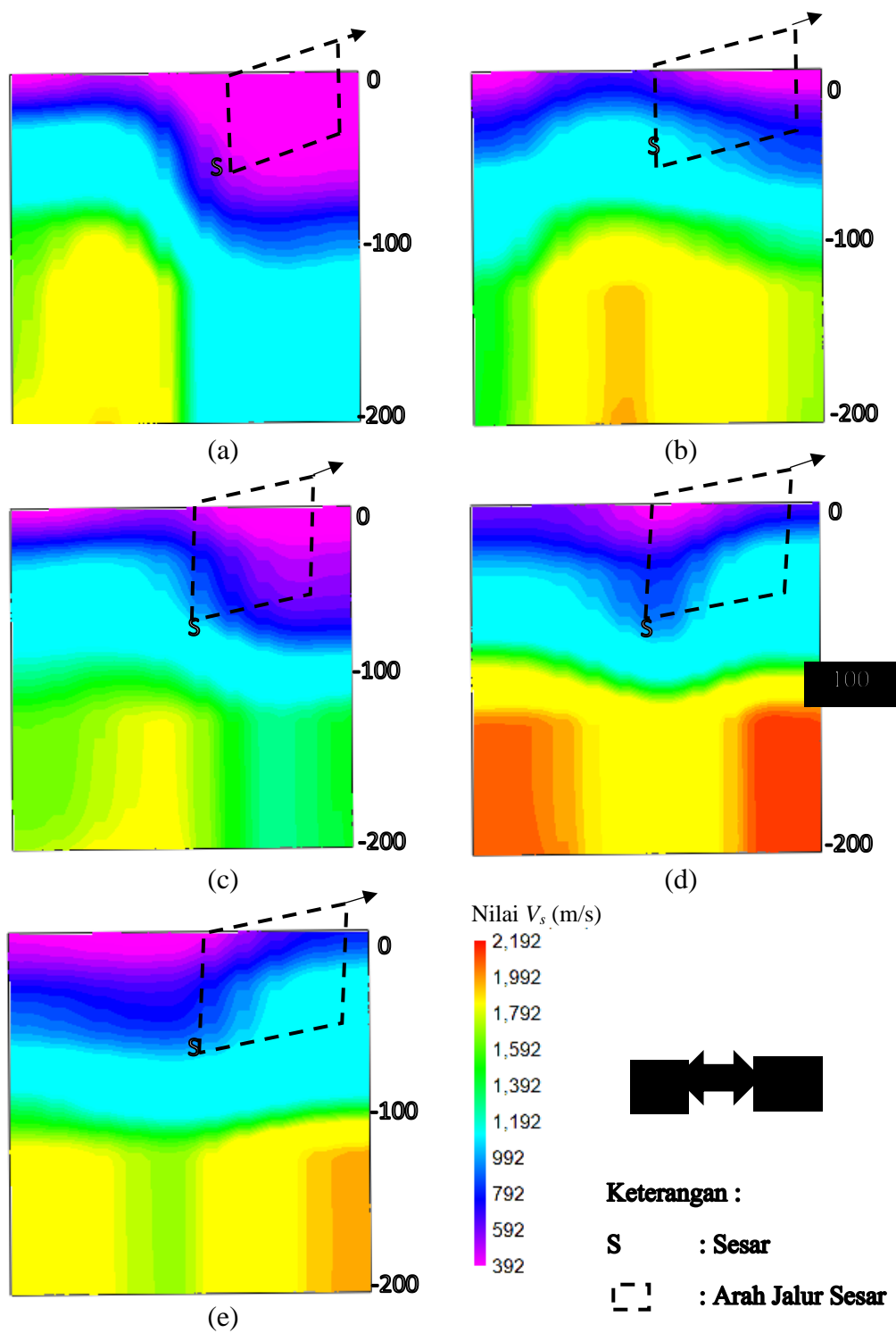


Gambar 37. Sayatan *Solid Model* 3D Nilai V_s

Gambar 37 merupakan *solid model* V_s dengan 5 sayatan yang arahnya tegak lurus dengan jalur sesar minor Bayat. Gambar 37 menunjukkan adanya perbedaan nilai yang divisualisasikan dengan perbedaan warna. Selain itu, ditunjukkan juga adanya perbedaan kedalaman antara struktur batuan satu dengan

yang lainnya. Gambar 38(a) menunjukkan sayatan bagian paling barat daerah penelitian. Berdasarkan gambar tersebut dapat diketahui bahwa terdapat perbedaan kedalaman batuan di bagian utara dengan bagian selatan. Bagian utara lebih dominan dengan nilai V_s yang cukup tinggi dibanding dengan bagian selatan. Berdasarkan warna yang ditampilkan, bagian utara memiliki nilai $V_s > 1.500$ m/s yang ditunjukkan dengan warna kuning. Berdasarkan Tabel 5, klasifikasi batumannya termasuk batuan keras, sedangkan pada kedalaman yang sama di bagian selatan nilainya $788 \text{ m/s} < V_s < 1.188 \text{ m/s}$ yang ditunjukkan dengan warna biru muda.

Gambar 38(b) merupakan sayatan kedua, pada lapisan ini ditunjukkan struktur lapisan batuan berdasarkan nilai V_s yang berlapis, mulai lapisan dengan nilai V_s yang rendah yaitu $V_s < 392$ m/s yang ditandai dengan warna merah muda, lapisan kedua dengan nilai $392 \text{ m/s} < V_s < 788$ m/s yang ditandai dengan warna biru, lapisan ketiga dengan $788 \text{ m/s} < V_s < 1.188$ m/s yang ditandai dengan warna biru muda, lapisan keempat dengan $1.188 \text{ m/s} < V_s < 1.588$ m/s yang ditandai dengan warna hijau, dan lapisan keempat dengan $1.588 \text{ m/s} < V_s < 1.992$ m/s yang ditandai dengan warna kuning. Gambar 38(c) merupakan sayatan ketiga, pada sayatan ini ditunjukkan bahwa lapisan di utara jalur sesar minor bernilai V_s lebih tinggi yaitu ditandai dengan warna kuning, dimana warna tersebut menunjukkan nilai $1.588 \text{ m/s} < V_s < 1.992$ m/s. Hal ini menunjukkan bahwa struktur batuan yang tersusun merupakan batuan keras.



Gambar 38. Tampilan Sayatan 3D (a). Sayatan Pertama, (b) Sayatan Kedua, (c) Sayatan ketiga, (d) Sayatan Keempat, (e) Sayatan Kelima.

Gambar 38(c) juga menunjukkan bahwa pada kedalaman > 100 meter terdapat lapisan pemisah antara batuan di sebelah utara dan selatan. Sesar minor

Bayat merupakan jenis sesar mendatar, sehingga gambar tersebut menggambarkan adanya blok kanan atau selatan dan blok kiri atau utara. Gambar 38(d) merupakan sayatan keempat. Sayatan ini menunjukkan adanya 2 bagian, yaitu bagian utara dan selatan. Pada kedalaman > 100 meter digambarkan jelas adanya 2 struktur batuan keras yang terpisah. Hal ini memperkuat adanya jalur sesar, dan jenis sesarnya sesar mendatar.

Batuan yang terpisah tersebut divisualisasikan dengan warna coklat, dimana nilai $V_s > 2.192$ m/s. Gambar 38(e) merupakan sayatan kelima, dan merupakan sayatan paling barat dari daerah penelitian. Pada sayatan ini juga terlihat adanya pemisahan antara blok kanan atau selatan dan blok kiri atau utara, yang terlihat oleh struktur batuan yang diwakili warna kuning di bagian utara dan di bagian selatan dipisah oleh struktur batuan yang diwakili oleh warna hijau.

E. Analisis *H/V Rotate* dan *Rose Diagram* di Kawasan Sesar.

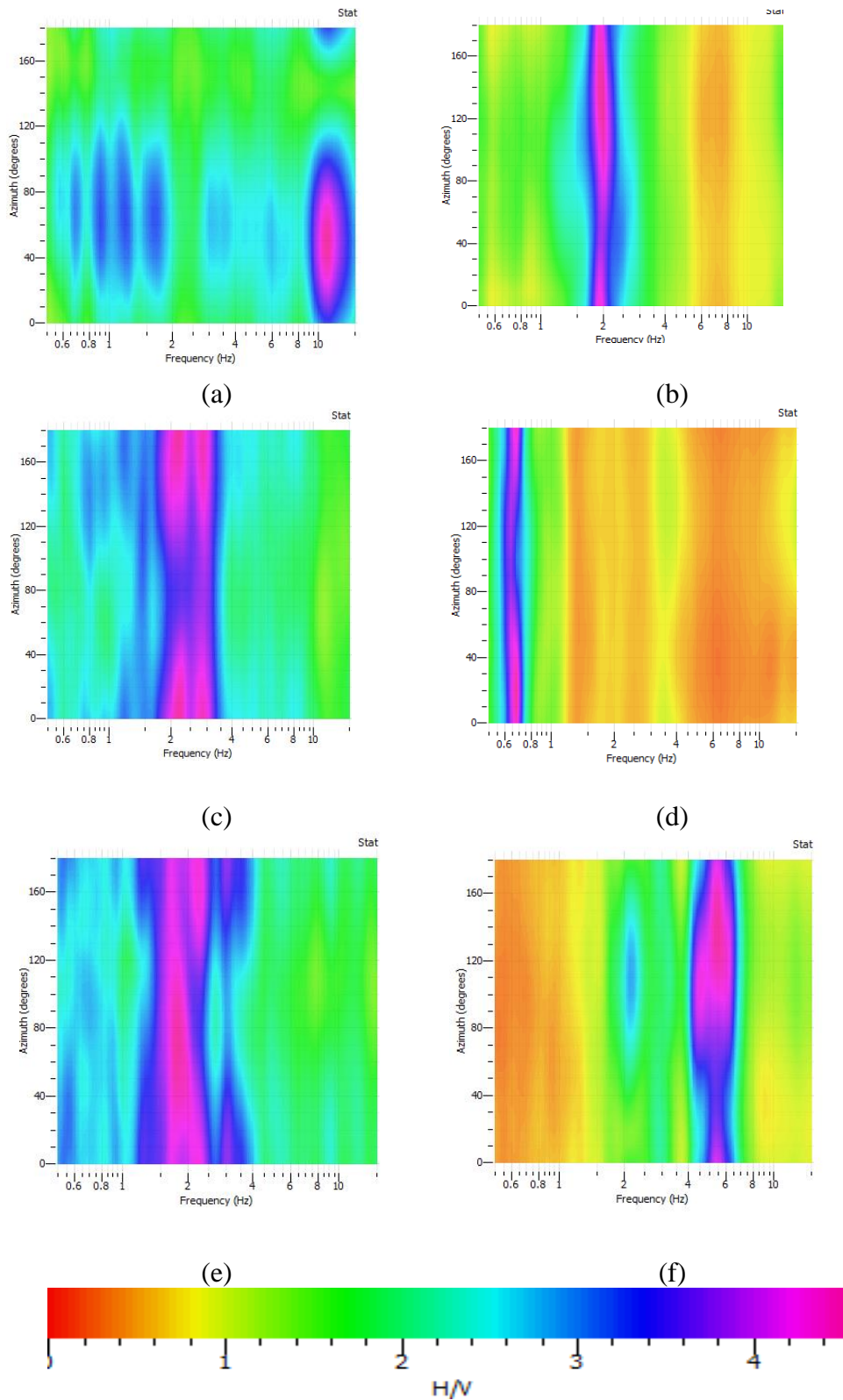
1. *H/V rotate* di kawasan sesar

Sinyal mikrotremor yang didapatkan dari hasil pengukuran lapangan terdiri dari 3 komponen sinyal dalam domain waktu, yaitu komponen horizontal arah timur-barat, horizontal arah utara-selatan, dan komponen vertikal. Analisis sinyal domain waktu untuk merepresentasikan nilai frekuensi dan sudut *azimuth* adalah *H/V rotate*. Metode *H/V rotate* merupakan metode pengolahan sinyal mikrotremor pada *software Geopsy* yang digunakan untuk mengetahui sudut *azimuth* arah sumber datang gelombang seismik dengan cara menghitung ulang sinyal mikrotremor dengan memutar dua komponen horizontal dari 0^0 sampai

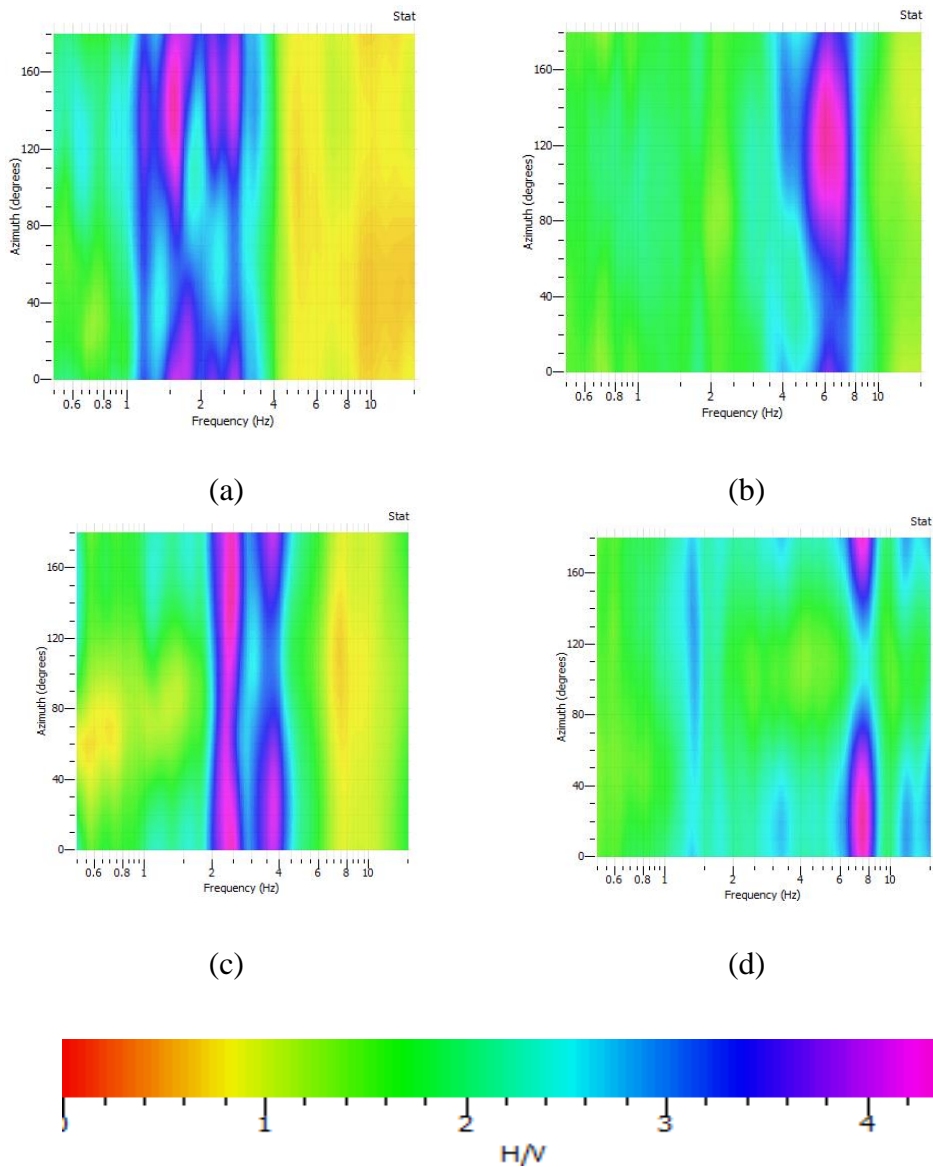
180⁰. Hasil analisis sinyal mikrotremor dengan menggunakan *software Geopsy* adalah *spektrum H/V*.

Gambar 39 merupakan *spektrum H/V* hasil pengolahan sinyal mikrotremor 3 komponen sinyal domain waktu dengan menggunakan *software Geopsy* di titik pengukuran yang berdekatan dengan jalur sesar minor Bayat yaitu TA0, TA6, TA7, TA12, TA24, TA29Re, TA40, TA41, TA66, TA73. *Spektrum H/V* tersebut menunjukkan hubungan antara nilai frekuensi dan sudut azimut. Adapun warna yang tersajikan menunjukkan nilai dari *H/V*, dimana warna merah menunjukkan nilai *H/V* paling rendah, sedangkan warna ungu menunjukkan nilai *H/V* tertinggi yang dapat dilihat pada Gambar 39. *Spektrum H/V* tersebut dapat digunakan untuk menunjukkan sumber gelombang yang paling mendominasi input sinyal mikrotremor yang didapatkan. Gambar 39(a) yang merupakan spektrum *H/V* titik TA0 menunjukkan bahwa pada *azimuth* 25⁰ - 80⁰ dengan frekuensi ≥ 10 Hz memiliki nilai *H/V* yang tertinggi. Hal ini bisa dijadikan acuan bahwa dominasi sinyal dari arah tersebut.

Gambar 39(b) merupakan spektrum *H/V* titik TA6, gambar tersebut menunjukkan bahwa pada *azimuth* 90⁰ - 170⁰ dengan frekuensi 1,8 Hz - 2 Hz memiliki nilai *H/V* tertinggi. Gambar 39(c) merupakan spektrum *H/V* titik TA7 yang menunjukkan nilai *azimuth* 0⁰ - 30⁰ dan *azimuth* > 142⁰ dengan frekuensi 2 Hz - 2,4 Hz dan 2,6 Hz - 3,1 Hz memiliki nilai *H/V* tertinggi.



Gambar 39. Spektrum H/V menggunakan *Software Geopsy* untuk Titik Pengukuran (a) TA0, (b) TA6, (c) TA7, (d) TA12, (e) TA24, (f) TA29Re.



Gambar 40. Spektrum H/V menggunakan *Software Geopsy* Titik Pengukuran (a) TA40, (b) TA41, (c) TA66, (d) TA73

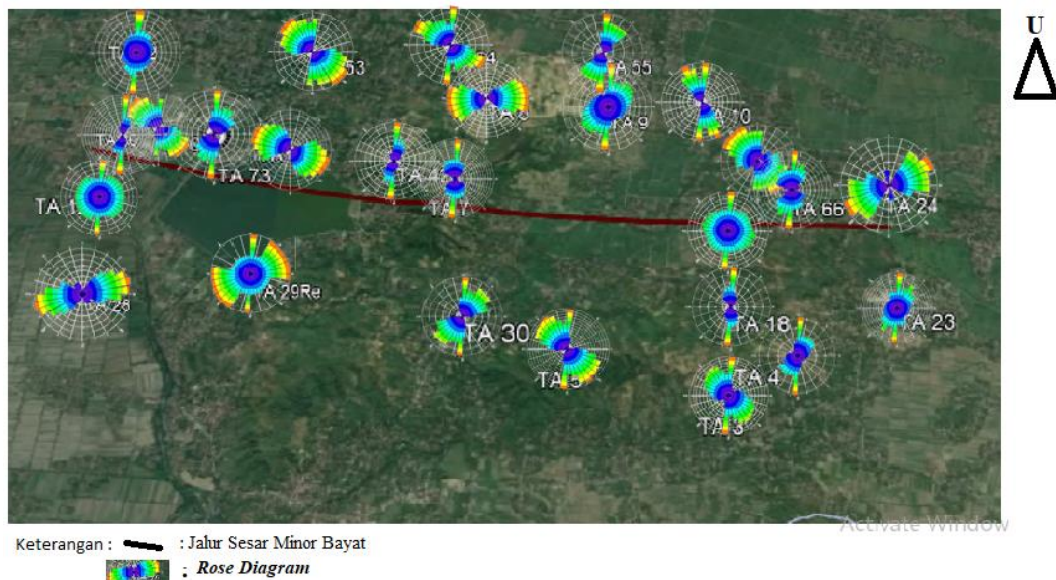
Gambar 39(d) merupakan spektrum H/V titik TA12 yang menunjukkan nilai $azimuth$ $0^0 - 40^0$ dengan nilai frekuensi 0,67 Hz – 0,69 Hz memiliki nilai H/V tertinggi . Gambar 39(e) merupakan spektrum H/V titik TA24 yang menunjukkan nilai $azimuth$ $33^0 - 117^0$ dengan nilai frekuensi 1,7 Hz – 1,9 Hz memiliki nilai H/V tertinggi. Gambar 39(f) merupakan spektrum H/V titik TA29Re yang

menunjukkan nilai *azimuth* 106° - 170° dengan nilai frekuensi 5 Hz – 6 Hz memiliki nilai *H/V* tertinggi.

Gambar 40(a) merupakan spektrum *H/V* titik TA40 yang menunjukkan nilai *azimuth* 120° - 166° dengan nilai frekuensi 1,5 Hz – 1,6 Hz memiliki nilai *H/V* tertinggi. Gambar 40(b) merupakan spektrum *H/V* titik TA41 yang menunjukkan nilai *azimuth* 104° - 150° dengan nilai frekuensi 106 Hz – 152 Hz memiliki nilai *H/V* tertinggi. Gambar 40(c) merupakan spektrum *H/V* titik TA66 yang menunjukkan nilai *azimuth* 123° - 180° dengan nilai frekuensi 2,4 Hz – 2,5 Hz memiliki nilai *H/V* tertinggi. Gambar 40(d) merupakan spektrum *H/V* titik TA73 dengan nilai *azimuth* $3,6^{\circ}$ – $35,1^{\circ}$ dengan nilai frekuensi 7,3 Hz – 7,7 Hz. Gambar *spektrum H/V* lebih lengkap terdapat di Lampiran 2. *H/V rotate* yang ditampilkan, dapat disimpulkan bahwa mayoritas arah sumber gelombang datang dari utara untuk titik pengukuran di sebelah selatan jalur sesar, dan dari arah selatan untuk titik pengukuran di sebelah utara jalur sesar. Dengan demikian, jalur sesar yang tergambar pada peta geologi Klaten dengan garis putus-putus dapat dibenarkan.

Namun pemodelan *spektrum H/V* belum dapat diinterpretasikan dengan kuat, perlu adanya model yang digunakan untuk mempermudah dalam menginterpretasikan arah sumber datang gelombang seismik. Metode selanjutnya adalah metode *rose diagram*.

Gambar 42 menunjukkan bahwa orientasi arah dari *rose diagram* mayoritas mengarah ke utara-selatan yang ditunjukkan oleh titik TA23, TA3, TA4, TA18, TA66, TA10, TA9, TA5, TA30, TA29Re, TA12, TA40, TA73, TA42, TA7, TA52, TA54, TA55, dan TA10. Hal ini menunjukkan bahwa adanya rekahan atau sesar pada daerah tersebut. Adapun titik TA0, TA53, TA8, TA53, TA44, dan TA28 cenderung mengarah ke barat daya-timur laut menunjukkan bahwa arah sesar cenderung ke-arah barat. Penelitian oleh Ikhwannur *et al.*, (2018) juga menunjukkan bahwa terdapat sesar minor Bayat menganan.



Gambar 42. Persebaran Titik Pengukuran di Sekitar Jalur Sesar Bayat

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Nilai frekuensi dominan dan faktor amplifikasi di sekitar sesar minor Bayat di wilayah Kecamatan Bayat memiliki nilai yang bervariasi. Nilai frekuensi dominan yaitu berkisar 0,5 Hz – 16 Hz, dengan nilai tertinggi berada pada Formasi Wonosari-Punung yaitu 16 Hz dan nilai terendahnya pada Formasi Gunungapi Merapi yaitu 0,5 Hz, sedangkan untuk nilai faktor amplifikasi berkisar 0,6 - 5,8.
2. Struktur bawah permukaan berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser di sekitar sesar minor Bayat terdiri dari tanah sangat padat dan batuan lunak sampai batuan keras dengan nilai 392 m/s untuk nilai terendahnya, dan 2.192 m/s untuk nilai tertingginya. Berdasarkan analisis struktur batuan bawah permukaan, dugaan jalur sesar minor Bayat teridentifikasi berupa sesar mendatar.
3. Berdasarkan *H/V rotate* dan *rose diagram* di sekitar jalur sesar minor Bayat diketahui bahwa arah sumber gelombang datang bersumber pada arah utara - selatan yang mengarah pada sesar minor Bayat. Dengan demikian dugaan sesar minor Bayat yang digambarkan dengan garis putus-putus pada peta geologi Klaten dapat dibenarkan.

B. Saran

Beberapa hal yang perlu dilakukan untuk penelitian selanjutnya yaitu :

1. Menyertakan data bor sebagai bahan validasi data untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat dan melakukan penelitian yang lebih detail dengan cara memperkecil jarak (spasi) antar titik penelitian di sekitar jalur sesar Bayat.
2. Diperlukan penelitian dengan metode lain seperti metode *gravity* atau metode *geomagnet* yang dapat digunakan untuk membandingkan hasil penelitian terkait dengan jalur sesar minor Bayat.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H. Z., Andreas, H., Meilano, I., Gamal, M., Gumilar, I., Abdullah, C. I. 2009. *Deformasi Koseismik dan Pascaseismik Gempa Yogyakarta 2006 dari Hasil Survei GPS*. Jurnal Geologi Indonesia.
- Afriliani, F. 2014. *Analisis Mikrotremor untuk Mikrozonasi Indeks Kerentanan seismic Di Kecamatan Pacitan, Jawa Timur*. Skripsi. Yogyakarta. UNY
- Ammon, C. J. 2005. *An Introduction to Earthquakes*. Pennsylvania: PennState Departemen of Geosciences.
- Arifin, S.S., Mulyatno, B.S., Marjiyono, dan Setianegara, R. *Penentuan Zona Rawan Guncangan Bencana Gempabumi Berdasarkan Analisis Nilai Amplifikasi HVSr Mikrotremor dan Analisis Periode Dominan Daerah Liwa dan Sekitarnya*. 2014. Jurnal Geofisika Eksplorasi 2(1). Universitas Lampung: 30-40.
- Asikin, S., 1979. *Dasar Dasar Geologi Struktur*. Departemen Teknik Geologi ITB. Bandung.
- Asri, B. 2006. *Geologi Struktur Teknik Pertambangan*. Diakses dari <https://www.scribd.com/document/367251132/patahan-dan-sesar>. pada tanggal 19 Juni 2019, jam 14.00 WIB.
- Azanella, L. A., 2018. "7 Gempa dengan Magnetudo di Atas 7 yang Pernah Kompas, 06 Agustus 2018. Jakarta. Diakses dari <https://nasional.kompas.com/read/2018/08/06>. pada 09 Februari 2019. Pukul 02.30 WIB.
- Badan Standarisasi Nasional. 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa dan Struktur Bangunan Gedung dan non Gedung*. Jakarta.
- BAPPEDA. 2006. *Rekapitulasi Tingkat Kecamatan Data KK Korban Bencana Alam Gempabumi*. Klaten.
- BAPPENAS. 2006. *Preliminary Damage and Loss Assesment*. Consultatif Group Indonesia : Jakarta.
- BMKG. 2011. *Gambaran Lempeng Tektonik Dunia*. Diakses dari <http://inatews2.bmkg.go.id/>. pada 25 Januari 2019. Pukul 13.30 WIB.
- BMKG, 2015. *Indonesia Tsunami Early Warning System-InaTEWS*. Diakses dari <http://inatews.bmkg.go.id> pada tanggal 14 Juli 2019, jam 10:00 WIB.
- Bour, M., Fouissac, D., Dominique, P., and Martin, C. 1998. *On the Use of Microtremor Recording in Seismic Microzonation*. France: Soil Dynamics and Earthquake Engineering 17 PII:S0267-7261(98)00014-1.

- Buanawati, S. G. 2018. *Analisis Mikroseismik Pada Kawasan Jalur Sesar Kecamatan Bagelen Kabupaten Purworejo*. Skripsi. FMIPA. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Burger, H. R. 1992. *Exploration Geophysics of the shallow subsurface*. Englewood Cliffs. NJ.
- Damarla, Raju, and David Ufford. 2007. *Personnel Detection Using Ground Sensors*. US:US Army Research Laboratory.
- Daryono. 2011. *Indeks Kerentanan Seismic Berdasarkan Mikrotremor Pada Setiap Satuan Bentuk Lahan Di Zona Graben Bantul Daerah Istimewa Yogyakarta*. Disertasi, Fakultas Geografi: Universitas Gadjah Mada.
- Dentith, M., Stephen, M.. 2014. *Geophysics for the Mineral Exploration Geoscientist*. New York: Cambridge University Press.
- DPKLTS. 2016. *Rembutampa Upaya Mitigasi Gempa*. Di akses dari <http://geomagz.geologi.esdm.go.id/rumbutampa-upaya-mitigasi-gempa/> pada tanggal 15 Juli 2019, jam 08.00 WIB.
- Elnashai, S. A. dan Sarno, D. L. 2008. *Fundamental of Earthquake Engineering*. Wiley. Hongkong.
- Gadallah, R.M., & Fisher, R. 2009. *Exploration Geophysics*. Berlin: Springer.
- Gosar, A. 2007. *Mikrozonasi HVSr Study for Assesing Site Effects in the BovecBasin (NW Slovenia) Related to 1998 M_w 5,6 and 2004 M_w 5,2 Earthquake*. ELSEIVER Engineering Geology 91.
- Hidayat, S., Cari, Warnana, D. D., dan Koesuma, S. 2017. Aplikasi Metode Horizontal to Spectral Ratio Pada Perhitungan Frekuensi Natural dan Amplitudo HVSr. Prosiding Pertemuan Ilmiah XXXI HFI Jateng & DIY. 18 Maret 2017. 105-109
- Hidayati, S. 2010. *Pengenalan Seismologi Gunungapi*. Diklat Pelaksana Pemula Pengamat Gunungapi Baru. Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi. Bandung.
- IAGI (Ikatan Ahli Geologi Indonesia).2006. *Tanya Jawab Gempa@Yogya-Jateng 27 Mei 2006*. Yogyakarta: PERHIMAGI
- Ikhwanur, A., Kurniasih, A., Nugroho, H., Rachwibowo, P., 2018. *Kajian Analisis Sesar Di Perbukitan Jiwo Barat, Kecamatan Bayat, Kabupaten Klaten, Jawa Tengah*. Departemen Teknik Geologi ITB. Bandung.
- Kanli, A. 2011. *Surface Wave Analysis for Site Effect Evaluation*. US: University of California Santa Barbara.

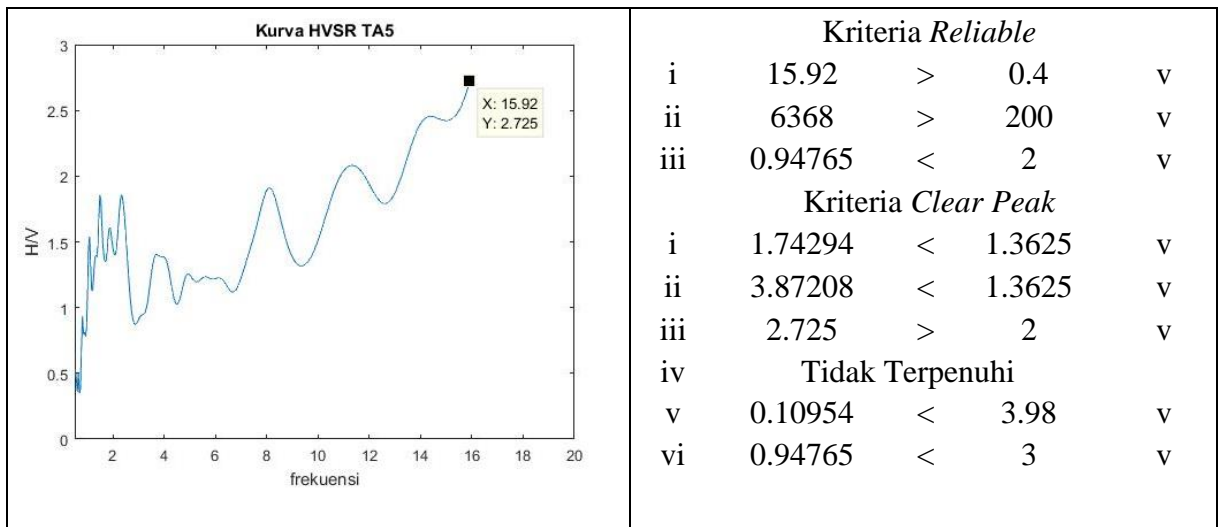
- Konno, K., Ohmachi, T., (1998). *Ground Motion Characteristics Estimated from Spectral Ratio Between Horizontal and Vertical Components of Microtremor.*, Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 88, No 1, 228-241.
- Lowrie, W. 2007. *Fundamental of Geophysics*. Second Edition. New York: Cambridge University Press.
- Mirzaoglu, M., & Dykmen, U. 2003. *Application of Microtremors to Seismic Microzoning Procedure*. Balkan: Journal of the Balkan Geophysical, Vol. 6, No. 3, p. 143 – 156.
- Munadi dan Suprajitno. 1993. *AVO dan Eksplorasi Gas*. Lembaran Publikasi LEMIGAS, NO. 1. 1993, 3-13.
- Nakamura, Y. 1989. *A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface*. Quarterly Report of the Railway Technology Research Institute. Japan.
- Nakamura, Y. 2000. *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. October 12-17, Beijing, China.
- Novianta, M. A. dan Setyaningsih, E. 2015. *Rancang Bangun Sistem Deteksi Dini Gempabumi Berdasarkan Fluktuasi Medan Magnet menggunakan Sensor MEMS*. Purwokerto: UMP.
- Ostander, W. J. 1984. *Plane Wave Reflection Coefficients for Gas Sands at Nonnormal Angles of Incidence.* Geophysics. 49. 1637-1648.
- Panzer, F., Pischotta, M., Lombardo, G., Monaco, C., Rovelli, A. 2014. *Wavefield Polarization in Fault Zones of the Western Flank of Mt. Etna: observations and fracture orientation modelling*. Pure Appl. Geophys. 171, 3083–3097.
- Park, T. H., 2010. *Introduction to Digital Signal Processing*. Singapore: World Scientific
- Patimah, Siti. 2017. *Analisis Litologi Bawah Permukaan Berdasarkan Ground Profiles Kecepatan Gelombang Geser dengan Metode Ellipticity Curve di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno Kabupaten Klaten*. Skripsi. FMIPA. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Pemerintah Kabupaten Klaten. 2011. *Peta Kabupaten Klaten*. Di akses dari <http://klatenkab.go.id/peta-kabupaten-klaten/> pada tanggal 14 September 2019, jam 20.30 WIB.

- Pischiutta, M., Salvini, F., Fletcher, J., Rovelli, A., and Ben-Zion, Y. 2012. *Horizontal Polarization of Ground Motion in the Hayward Fault Zone at Fremont*. California: Dominant Fault-High-Angle Polarization and Fault Induced Cracks. *Geophysical Journal International*. 1255-1272.
- Pischiutta, M., Fondriest, M., Demurtas, M., Magnoni, F., Toro, G.D., and Rovelli, A. 2017. *Structural Control on The Directional Amplification of Seismic Noise (Campo Imperatore, Central Italy)*. *Earth and Planetary Science Letter* 471. 10-18.
- Plummer, C. C., Carlson, D. H., and Hammersley, L. 2016. *Physical Geology*. Fifteenth Edition. New York: Mc Graw Hill Education.
- Rahardjo, W., Sukandarrumidi, H. M. D., Rosidi. 1995. *Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa*. Direktorat Geologi, Departemen Pertambangan Republik Indonesia.
- Satriadi. 2015. *Makalah Geologi Struktur Teknik Pertambangan Semester 3*. Fakultas Teknik Pertambangan. Universitas Katakartangara.
- SESAME. 2004. *Guidelines for the Implementation of the H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations*. Europe: SESAME European Research Project.
- Setiawati, Y. D., Novian, M. I., Barianto, D. H. 2013. *Studi Fasies Formasi Wungkal-Gamping Jalur Gunung Gajah, Desa Gunung Gajah, Kecamatan Bayat, Kabupaten Klaten, Provinsi Jawa Tengah*. Teknik Geologi Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.
- Shearer, P. M. 2009. *Introduction to Seismology*. Second Edition. New York: Cambridge University Press.
- Sukartono. 2013. *Buku Panduan-Panduan Geologi Struktur*. STTNAS: Laboratorium Geologi Dinamis.
- Sumarso, dan Ismoyowati, T. 1975. *Contribution to The Stratigraphy of The Jiwo Hills and Their Southern Surroundings (Central Java)*. *Proceedings IPA 4th Annual Convention*. Jakarta, pp. 19 – 26.
- Suparka, E. 2011. *Dekade Teror Gempa Sumatra*. Dalam GEOMAGZ Majalah Geologi Populer Vol 1. No 4. Diakses dari <http://geomagz.geologi.esdm.go.id>. pada 26 November 2019. Pukul 14.00 WIB.
- Surono, Toha, B., Sudarno, I. 1992. *Peta Geologi Lembar Surakarta Giritarto, Jawa*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Susilawati. 2008. *Penerapan Penjalaran Gelombang Seismik Gempa Pada Penelaahan Struktur Bagian Dalam Bumi*. Skripsi. USU.

- Sutrisno, W.T., Santoso, B. J., Warnana, D. D. 2013. *Profiling Kecepatan Gelombang Geser (Vs) Menggunakan Inversi Spektrum HVSR*. Jurnal Teknik Pomits 1(1). ITS: 1-6.
- Telford, W. M, L. P Geldart & R. E. Sheriff. 1990. *Applied Geophysics*, Second Edition. New York: Cambridge University Press.Thomson. 2006. *Geologi of the Oceans*. Utah: brook/Cole Publishing Company.
- Tokimatsu, K. 2004. *S-wave Velocity Profiling by Joint Inversion of Microtremor H/V Spectrum*. Bulletin of the Seismological Society of America No.94(1).
- Towhata, I. 2008. *Geotechnical Earthquake Engineering Springer-Verlag*. Berlin Heidelberg.
- Tuladhar, R., Cuong, N. N. H., and Yamasaki, F. (2004). *Seismic microzonation of Hanoi, Vietnam using microtremor observation, paper no 2539, 13th world conference on earthquake engineering*. Vancouver, B, C., Canada
- Wald, D. J., Quitoriani, V., Heaton, H.H. 1999. *Relationship Between Peak ground Acceleration, Peak Ground Velocity, and Modified Mercalli Intensity in California*. Vol. 15 No. 3.
- Wibowo, N.B., Sembri, J.N., Darmawan, D., dan Sumardi, Y. 2018b. *Interpretasi Ketebalan Lapisan Sedimen Berdasarkan Penampang Seimik Kurva H/V di Kota Pacitan Jawa Timur*. Buletin BMKG 8(8). BMKG Wilayah II: 21 30.
- Widodo, P. 2012. *Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Young and Freedman. 2003. *Fisika Universitas Jilid I*. Jakarta: Erlangga.
- Zulianti, R. 2018. *Analisis Parameter Mikrotremor Di Kawasan Jalur Sesar Grindulu Pacitan*. Skripsi. FMIPA. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.

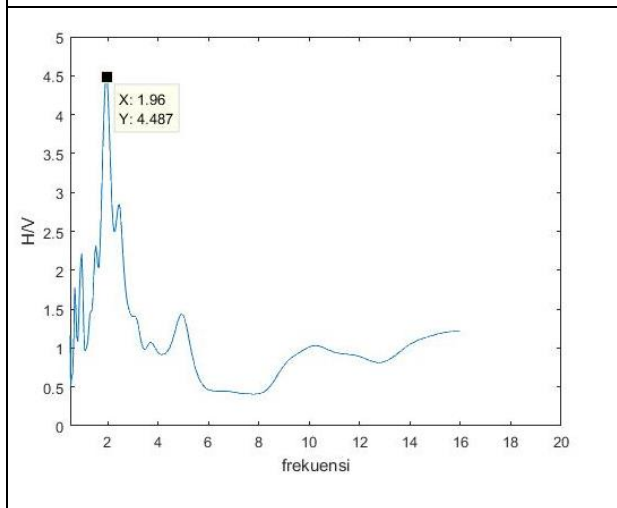
LAMPIRAN 1
Kriteria *Reliable* dan *Clear Peak*

| Titik TA0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|---|--------------------------|--------|---|--|---|------|---|-----|---|----|-----|---|-----|---|-----|---------|---|---|---|----------------------------|--|--|--|---|---------|---|--------|--|----|---------|---|--------|---|-----|-------|---|---|---|----|-----------------|--|--|---|---|---------|---|------|---|----|---------|---|---|---|
| | <table border="0"> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;"><i>Kriteria Reliable</i></td> </tr> <tr> <td>i</td> <td>1.8</td> <td>></td> <td>0.4</td> <td>v</td> </tr> <tr> <td>ii</td> <td>675</td> <td>></td> <td>200</td> <td>v</td> </tr> <tr> <td>iii</td> <td>0.48039</td> <td><</td> <td>2</td> <td>v</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;"><i>Kriteria Clear Peak</i></td> </tr> <tr> <td>i</td> <td>1.87504</td> <td><</td> <td>1.4935</td> <td></td> </tr> <tr> <td>ii</td> <td>1.81312</td> <td><</td> <td>1.4935</td> <td></td> </tr> <tr> <td>iii</td> <td>2.987</td> <td>></td> <td>2</td> <td>v</td> </tr> <tr> <td>iv</td> <td colspan="3" style="text-align: center;">Tidak Terpenuhi</td> <td></td> </tr> <tr> <td>v</td> <td>0.07483</td> <td><</td> <td>0.45</td> <td>v</td> </tr> <tr> <td>vi</td> <td>0.48039</td> <td><</td> <td>3</td> <td>v</td> </tr> </table> | <i>Kriteria Reliable</i> | | | | i | 1.8 | > | 0.4 | v | ii | 675 | > | 200 | v | iii | 0.48039 | < | 2 | v | <i>Kriteria Clear Peak</i> | | | | i | 1.87504 | < | 1.4935 | | ii | 1.81312 | < | 1.4935 | | iii | 2.987 | > | 2 | v | iv | Tidak Terpenuhi | | | | v | 0.07483 | < | 0.45 | v | vi | 0.48039 | < | 3 | v |
| <i>Kriteria Reliable</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| i | 1.8 | > | 0.4 | v | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ii | 675 | > | 200 | v | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| iii | 0.48039 | < | 2 | v | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Kriteria Clear Peak</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| i | 1.87504 | < | 1.4935 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ii | 1.81312 | < | 1.4935 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| iii | 2.987 | > | 2 | v | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| iv | Tidak Terpenuhi | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| v | 0.07483 | < | 0.45 | v | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| vi | 0.48039 | < | 3 | v | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Titik TA3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <table border="0"> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;"><i>Kriteria Reliable</i></td> </tr> <tr> <td>i</td> <td>2.48</td> <td>></td> <td>0.4</td> <td>v</td> </tr> <tr> <td>ii</td> <td>682</td> <td>></td> <td>200</td> <td>v</td> </tr> <tr> <td>iii</td> <td>0.23531</td> <td><</td> <td>2</td> <td>v</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;"><i>Kriteria Clear Peak</i></td> </tr> <tr> <td>i</td> <td>0.99722</td> <td><</td> <td>0.838</td> <td></td> </tr> <tr> <td>ii</td> <td>0.85448</td> <td><</td> <td>0.838</td> <td></td> </tr> <tr> <td>iii</td> <td>1.676</td> <td>></td> <td>2</td> <td></td> </tr> <tr> <td>iv</td> <td colspan="3" style="text-align: center;">Terpenuhi</td> <td>v</td> </tr> <tr> <td>v</td> <td>0.08641</td> <td><</td> <td>0.62</td> <td>v</td> </tr> <tr> <td>vi</td> <td>0.23531</td> <td><</td> <td>3</td> <td>v</td> </tr> </table> | <i>Kriteria Reliable</i> | | | | i | 2.48 | > | 0.4 | v | ii | 682 | > | 200 | v | iii | 0.23531 | < | 2 | v | <i>Kriteria Clear Peak</i> | | | | i | 0.99722 | < | 0.838 | | ii | 0.85448 | < | 0.838 | | iii | 1.676 | > | 2 | | iv | Terpenuhi | | | v | v | 0.08641 | < | 0.62 | v | vi | 0.23531 | < | 3 | v |
| <i>Kriteria Reliable</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| i | 2.48 | > | 0.4 | v | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ii | 682 | > | 200 | v | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| iii | 0.23531 | < | 2 | v | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Kriteria Clear Peak</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| i | 0.99722 | < | 0.838 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ii | 0.85448 | < | 0.838 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| iii | 1.676 | > | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| iv | Terpenuhi | | | v | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| v | 0.08641 | < | 0.62 | v | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| vi | 0.23531 | < | 3 | v | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Titik TA4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <table border="0"> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;"><i>Kriteria Reliable</i></td> </tr> <tr> <td>i</td> <td>0.84</td> <td>></td> <td>0.4</td> <td>v</td> </tr> <tr> <td>ii</td> <td>483</td> <td>></td> <td>200</td> <td>v</td> </tr> <tr> <td>iii</td> <td>0.2239</td> <td><</td> <td>2</td> <td>v</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;"><i>Kriteria Clear Peak</i></td> </tr> <tr> <td>i</td> <td>0.66669</td> <td><</td> <td>0.5485</td> <td></td> </tr> <tr> <td>ii</td> <td>0.529</td> <td><</td> <td>0.5485</td> <td>v</td> </tr> <tr> <td>iii</td> <td>1.097</td> <td>></td> <td>2</td> <td></td> </tr> <tr> <td>iv</td> <td colspan="3" style="text-align: center;">Terpenuhi</td> <td>v</td> </tr> <tr> <td>v</td> <td>0.08641</td> <td><</td> <td>0.21</td> <td>v</td> </tr> <tr> <td>vi</td> <td>0.2239</td> <td><</td> <td>3</td> <td>v</td> </tr> </table> | <i>Kriteria Reliable</i> | | | | i | 0.84 | > | 0.4 | v | ii | 483 | > | 200 | v | iii | 0.2239 | < | 2 | v | <i>Kriteria Clear Peak</i> | | | | i | 0.66669 | < | 0.5485 | | ii | 0.529 | < | 0.5485 | v | iii | 1.097 | > | 2 | | iv | Terpenuhi | | | v | v | 0.08641 | < | 0.21 | v | vi | 0.2239 | < | 3 | v |
| <i>Kriteria Reliable</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| i | 0.84 | > | 0.4 | v | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ii | 483 | > | 200 | v | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| iii | 0.2239 | < | 2 | v | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Kriteria Clear Peak</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| i | 0.66669 | < | 0.5485 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ii | 0.529 | < | 0.5485 | v | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| iii | 1.097 | > | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| iv | Terpenuhi | | | v | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| v | 0.08641 | < | 0.21 | v | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| vi | 0.2239 | < | 3 | v | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Titik TA5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |



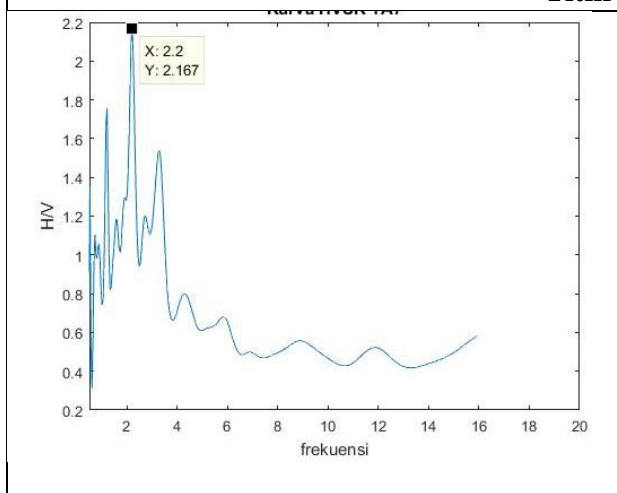
| Kriteria <i>Reliable</i> | | | | |
|----------------------------|-----------------|---|--------|---|
| i | 15.92 | > | 0.4 | v |
| ii | 6368 | > | 200 | v |
| iii | 0.94765 | < | 2 | v |
| Kriteria <i>Clear Peak</i> | | | | |
| i | 1.74294 | < | 1.3625 | v |
| ii | 3.87208 | < | 1.3625 | v |
| iii | 2.725 | > | 2 | v |
| iv | Tidak Terpenuhi | | | |
| v | 0.10954 | < | 3.98 | v |
| vi | 0.94765 | < | 3 | v |

Titik TA6



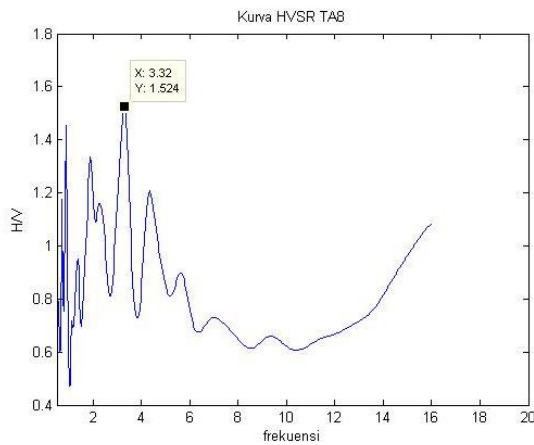
| Kriteria <i>Reliable</i> | | | | |
|----------------------------|-----------------|---|--------|---|
| i | 1.96 | > | 0.4 | v |
| ii | 833 | > | 200 | v |
| iii | 0.97652 | < | 2 | v |
| Kriteria <i>Clear Peak</i> | | | | |
| i | 1.94142 | < | 2.2435 | v |
| ii | 1.09345 | < | 2.2435 | v |
| iii | 4.487 | > | 2 | v |
| iv | Tidak Terpenuhi | | | |
| v | 0.08641 | < | 0.49 | v |
| vi | 0.97652 | < | 3 | v |

Titik TA7



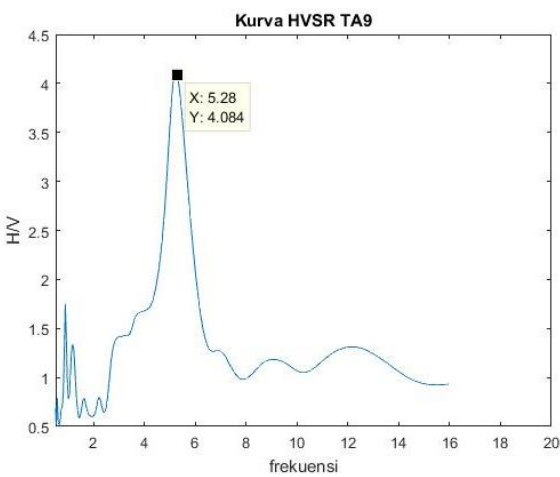
| Kriteria <i>Reliable</i> | | | | |
|----------------------------|-----------|---|--------|---|
| i | 2.2 | > | 0.4 | v |
| ii | 1320 | > | 200 | v |
| iii | 0.34647 | < | 2 | v |
| Kriteria <i>Clear Peak</i> | | | | |
| i | 1.14113 | < | 1.0835 | v |
| ii | 0.7344 | < | 1.0835 | v |
| iii | 2.167 | > | 2 | v |
| iv | Terpenuhi | | | |
| v | 0.04 | < | 0.55 | v |
| vi | 0.34647 | < | 3 | v |

Titik TA8



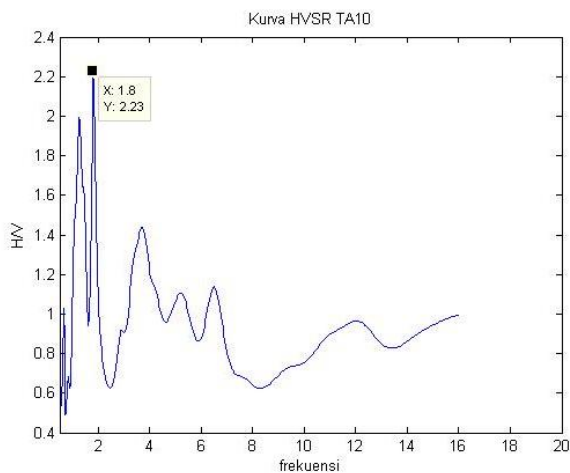
| Kriteria <i>Reliable</i> | | | | |
|----------------------------|-----------|---|-------|---|
| i | 3.32 | > | 0.4 | v |
| ii | 1079 | > | 200 | v |
| iii | 0.21765 | < | 2 | v |
| Kriteria <i>Clear Peak</i> | | | | |
| i | 1.02694 | < | 0.762 | |
| ii | 0.7428 | < | 0.762 | v |
| iii | 1.524 | > | 2 | v |
| iv | Terpenuhi | | | v |
| v | 0.10954 | < | 0.83 | v |
| vi | 0.21765 | < | 3 | v |

Titik TA9



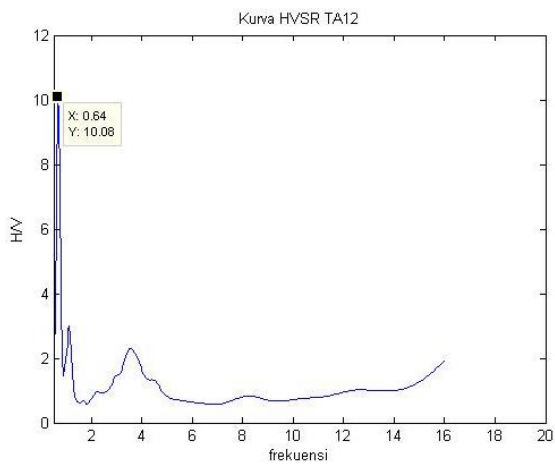
| Kriteria <i>Reliable</i> | | | | |
|----------------------------|-----------------|---|-------|---|
| i | 5.28 | > | 0.4 | v |
| ii | 3300 | > | 200 | v |
| iii | 0.8154 | < | 2 | v |
| Kriteria <i>Clear Peak</i> | | | | |
| i | 1.5913 | < | 2.042 | v |
| ii | 1.28176 | < | 2.042 | v |
| iii | 4.084 | > | 2 | v |
| iv | Tidak Terpenuhi | | | |
| v | 0.14422 | < | 1.32 | v |
| vi | 0.8154 | < | 3 | v |

Titik TA10



| Kriteria <i>Reliable</i> | | | | |
|----------------------------|-----------|---|-------|---|
| i | 1.8 | > | 0.4 | v |
| ii | 1035 | > | 200 | v |
| iii | 0.42917 | < | 2 | v |
| Kriteria <i>Clear Peak</i> | | | | |
| i | 1.2245 | < | 1.115 | |
| ii | 1.03081 | < | 1.115 | v |
| iii | 2.23 | > | 2 | v |
| iv | Terpenuhi | | | v |
| v | 0.06325 | < | 0.45 | v |
| vi | 0.42917 | < | 3 | v |

Titik TA12



Kriteria *Reliable*

| | | | | |
|-----|---------|---|-----|---|
| i | 0.64 | > | 0.4 | v |
| ii | 224 | > | 200 | v |
| iii | 0.22122 | < | 2 | v |

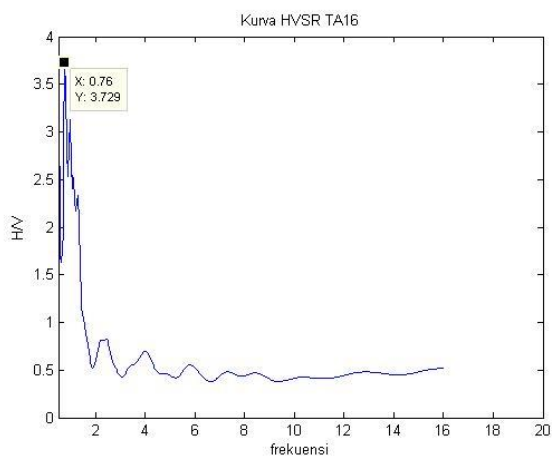
Kriteria *Clear Peak*

| | | | | |
|-----|---------|---|------|---|
| i | 0.46338 | < | 5.04 | v |
| ii | 0.62114 | < | 5.04 | v |
| iii | 10.08 | > | 2 | v |

iv Tidak Terpenuhi

| | | | | |
|----|---------|---|------|---|
| v | 0.04 | < | 0.16 | v |
| vi | 0.22122 | < | 3 | v |

Titik TA16



Kriteria *Reliable*

| | | | | |
|-----|---------|---|-----|---|
| i | 0.76 | > | 0.4 | v |
| ii | 209 | > | 200 | v |
| iii | 0.81694 | < | 2 | v |

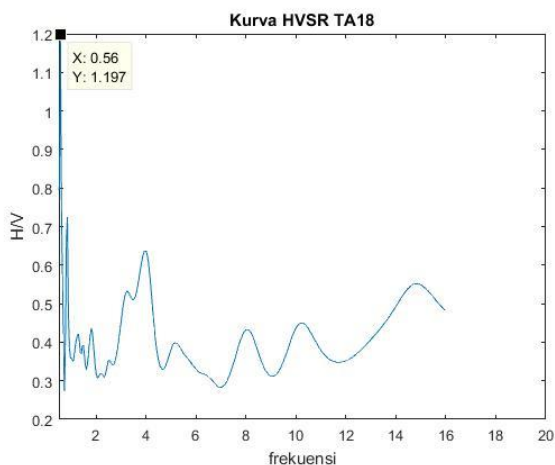
Kriteria *Clear Peak*

| | | | | |
|-----|---------|---|--------|---|
| i | 1.81299 | < | 1.8645 | v |
| ii | 1.22958 | < | 1.8645 | v |
| iii | 3.729 | > | 2 | v |

iv Terpenuhi

| | | | | |
|----|---------|---|------|---|
| v | 0.04 | < | 0.19 | v |
| vi | 0.81694 | < | 3 | v |

Titik TA18



Kriteria *Reliable*

| | | | | |
|-----|---------|---|-----|---|
| i | 0.56 | > | 0.4 | v |
| ii | 294 | > | 200 | v |
| iii | 5.44495 | < | 2 | v |

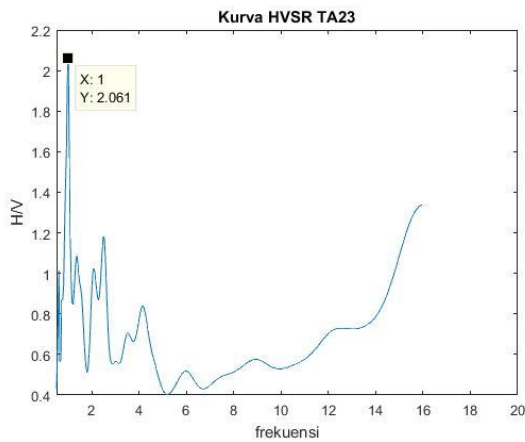
Kriteria *Clear Peak*

| | | | | |
|-----|--------|---|--------|---|
| i | 3.3008 | < | 0.5985 | |
| ii | 0.4175 | < | 0.5985 | v |
| iii | 1.197 | > | 2 | |

iv Tidak Terpenuhi

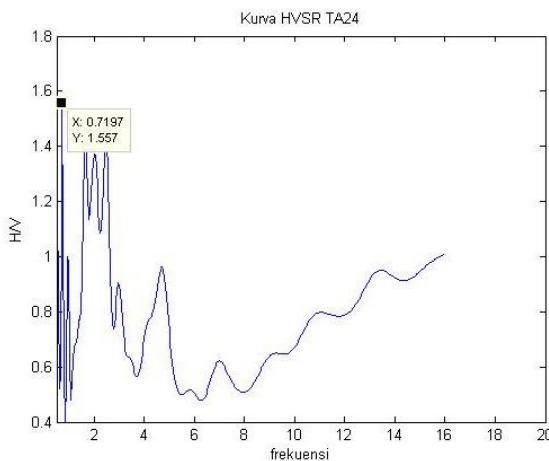
| | | | | |
|----|---------|---|------|---|
| v | 0.04 | < | 0.14 | v |
| vi | 5.44495 | < | 3 | |

Titik TA23



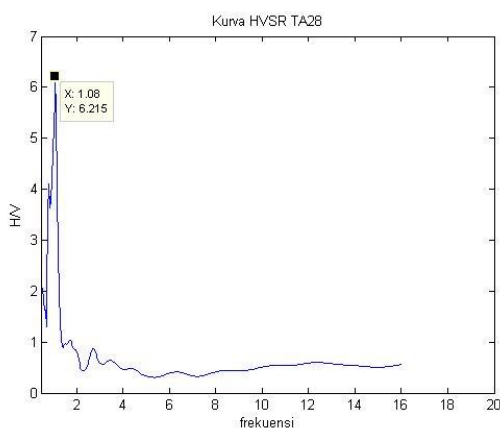
| Kriteria <i>Reliable</i> | | | | |
|----------------------------|-----------|---|--------|---|
| i | 1 | > | 0.4 | v |
| ii | 475 | > | 200 | v |
| iii | 0.37273 | < | 2 | v |
| Kriteria <i>Clear Peak</i> | | | | |
| i | 0.96157 | < | 1.0305 | v |
| ii | 0.80799 | < | 1.0305 | v |
| iii | 2.061 | > | 2 | v |
| iv | Terpenuhi | | | v |
| v | 0.04 | < | 0.25 | v |
| vi | 0.37273 | < | 3 | v |

Titik TA24



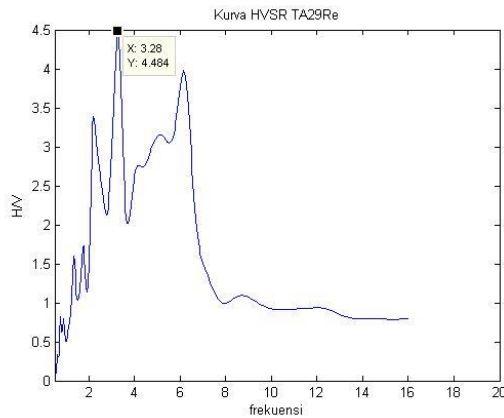
| Kriteria <i>Reliable</i> | | | | |
|----------------------------|-----------------|---|---------|---|
| i | 0.7197 | > | 0.4 | v |
| ii | 359.85 | > | 200 | v |
| iii | 0.31413 | < | 2 | v |
| Kriteria <i>Clear Peak</i> | | | | |
| i | 0.58009 | < | 0.7785 | v |
| ii | 0.66479 | < | 0.7785 | v |
| iii | 1.557 | > | 2 | |
| iv | Tidak Terpenuhi | | | |
| v | 0.04 | < | 0.17993 | v |
| vi | 0.31413 | < | 3 | v |

Titik TA28



| Kriteria <i>Reliable</i> | | | | |
|----------------------------|-----------------|---|--------|---|
| i | 1.08 | > | 0.4 | v |
| ii | 378 | > | 200 | v |
| iii | 1.68347 | < | 2 | v |
| Kriteria <i>Clear Peak</i> | | | | |
| i | 2.83618 | < | 3.1075 | v |
| ii | 0.88799 | < | 3.1075 | v |
| iii | 6.215 | > | 2 | v |
| iv | Tidak Terpenuhi | | | |
| v | 0.04 | < | 0.27 | v |
| vi | 1.68347 | < | 3 | v |

Titik TA29Re



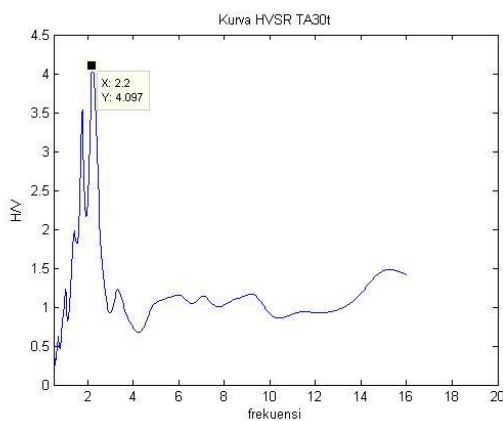
Kriteria *Reliable*

| | | | | |
|-----|--------|---|-----|---|
| i | 3.28 | > | 0.4 | v |
| ii | 902 | > | 200 | v |
| iii | 0.6965 | < | 2 | v |

Kriteria *Clear Peak*

| | | | | |
|-----|-----------|---|-------|---|
| i | 2.05884 | < | 2.242 | v |
| ii | 1.72628 | < | 2.242 | v |
| iii | 4.484 | > | 2 | v |
| iv | Terpenuhi | | | v |
| v | 0.10954 | < | 0.82 | v |
| vi | 0.6965 | < | 3 | v |

Titik TA30t



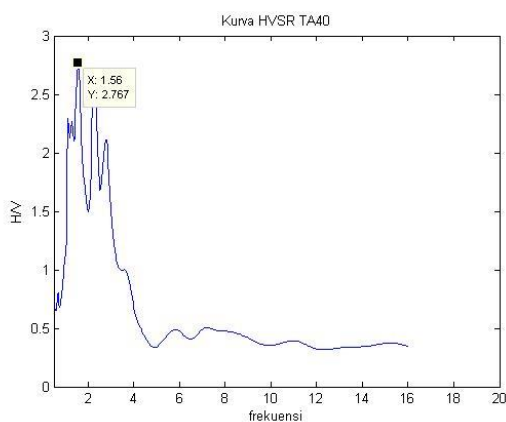
Kriteria *Reliable*

| | | | | |
|-----|-------|---|-----|---|
| i | 2.2 | > | 0.4 | v |
| ii | 605 | > | 200 | v |
| iii | 0.989 | < | 2 | v |

Kriteria *Clear Peak*

| | | | | |
|-----|-----------------|---|--------|---|
| i | 1.7954 | < | 2.0485 | v |
| ii | 1.16515 | < | 2.0485 | v |
| iii | 4.097 | > | 2 | v |
| iv | Tidak Terpenuhi | | | v |
| v | 0.08641 | < | 0.55 | v |
| vi | 0.989 | < | 3 | v |

Titik TA40t



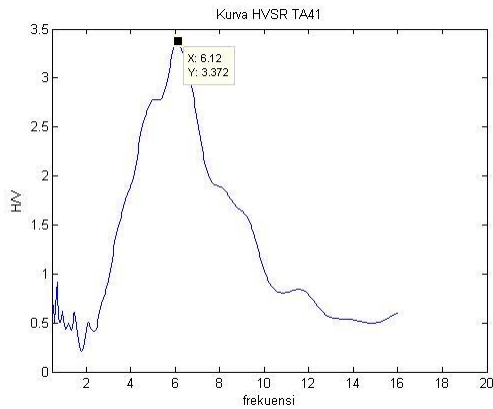
Kriteria *Reliable*

| | | | | |
|-----|---------|---|-----|---|
| i | 1.56 | > | 0.4 | v |
| ii | 429 | > | 200 | v |
| iii | 0.51424 | < | 2 | v |

Kriteria *Clear Peak*

| | | | | |
|-----|-----------------|---|--------|---|
| i | 1.60674 | < | 1.3835 | |
| ii | 1.04464 | < | 1.3835 | v |
| iii | 2.767 | > | 2 | v |
| iv | Tidak Terpenuhi | | | |
| v | 0.06325 | < | 0.39 | v |
| vi | 0.51424 | < | 3 | v |

Titik TA41t



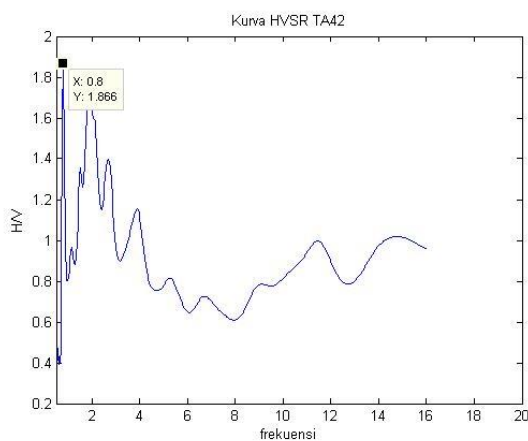
Kriteria *Reliable*

| | | | | |
|-----|--------|---|-----|---|
| i | 6.12 | > | 0.4 | v |
| ii | 3366 | > | 200 | v |
| iii | 0.8151 | < | 2 | v |

Kriteria *Clear Peak*

| | | | | |
|-----|-----------------|---|-------|---|
| i | 1.74574 | < | 1.686 | |
| ii | 0.91437 | < | 1.686 | v |
| iii | 3.372 | > | 2 | v |
| iv | Tidak Terpenuhi | | | |
| v | 0.20199 | < | 1.53 | v |
| vi | 0.8151 | < | 3 | v |

Titik TA42t



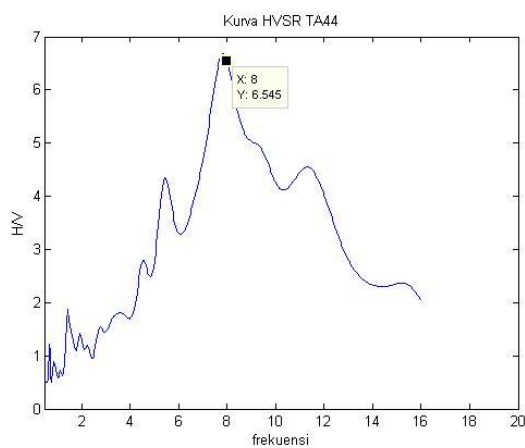
Kriteria *Reliable*

| | | | | |
|-----|---------|---|-----|---|
| i | 0.8 | > | 0.4 | v |
| ii | 220 | > | 200 | v |
| iii | 0.45717 | < | 2 | v |

Kriteria *Clear Peak*

| | | | | |
|-----|-----------|---|-------|---|
| i | 0.52392 | < | 0.933 | v |
| ii | 1.23668 | < | 0.933 | |
| iii | 1.866 | > | 2 | v |
| iv | Terpenuhi | | | |
| v | 0.04 | < | 0.2 | v |
| vi | 0.45717 | < | 3 | v |

Titik TA44t



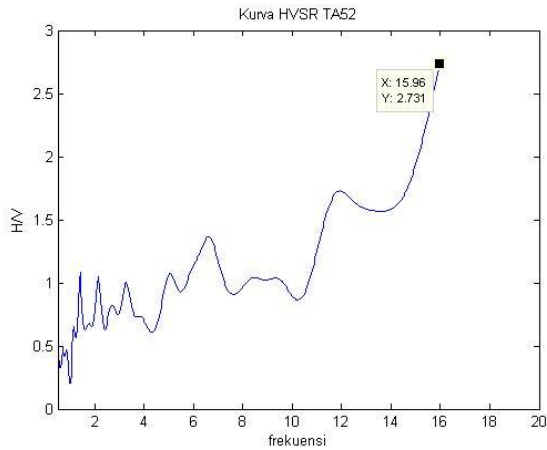
Kriteria *Reliable*

| | | | | |
|-----|---------|---|-----|---|
| i | 8 | > | 0.4 | v |
| ii | 3800 | > | 200 | v |
| iii | 1.26864 | < | 2 | v |

Kriteria *Clear Peak*

| | | | | |
|-----|-----------------|---|--------|---|
| i | 3.1545 | < | 3.2725 | v |
| ii | 2.55646 | < | 3.2725 | v |
| iii | 6.545 | > | 2 | v |
| iv | Tidak Terpenuhi | | | |
| v | 0.24819 | < | 2 | v |
| vi | 1.26864 | < | 3 | v |

Titik TA52



Kriteria *Reliable*

| | | | | |
|-----|---------|---|-----|---|
| i | 15.96 | > | 0.4 | v |
| ii | 5187 | > | 200 | v |
| iii | 1.01965 | < | 2 | v |

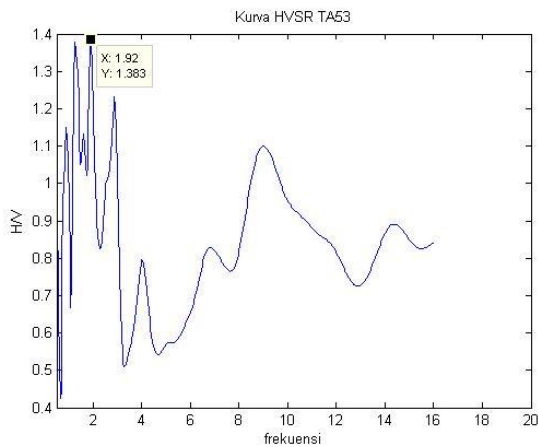
Kriteria *Clear Peak*

| | | | | |
|-----|---------|---|--------|---|
| i | 1.31822 | < | 1.3655 | v |
| ii | 3.38965 | < | 1.3655 | |
| iii | 2.731 | > | 2 | v |

Tidak Terpenuhi

| | | | | |
|----|---------|---|------|---|
| v | 0.47917 | < | 3.99 | v |
| vi | 1.01965 | < | 3 | v |

Titik TA53



Kriteria *Reliable*

| | | | | |
|-----|---------|---|-----|---|
| i | 1.92 | > | 0.4 | v |
| ii | 624 | > | 200 | v |
| iii | 0.25944 | < | 2 | v |

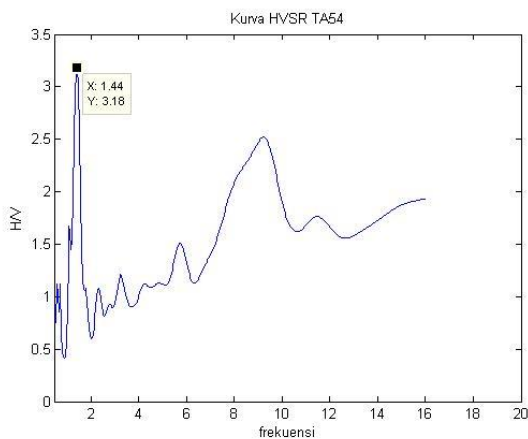
Kriteria *Clear Peak*

| | | | | |
|-----|---------|---|--------|---|
| i | 1.01977 | < | 0.6915 | v |
| ii | 0.74407 | < | 0.6915 | |
| iii | 1.383 | > | 2 | |

Terpenuhi

| | | | | |
|----|---------|---|------|---|
| iv | | | | v |
| v | 0.08641 | < | 0.48 | v |
| vi | 0.25944 | < | 3 | v |

Titik TA54



Kriteria *Reliable*

| | | | | |
|-----|---------|---|-----|---|
| i | 1.44 | > | 0.4 | v |
| ii | 576 | > | 200 | v |
| iii | 0.74701 | < | 2 | v |

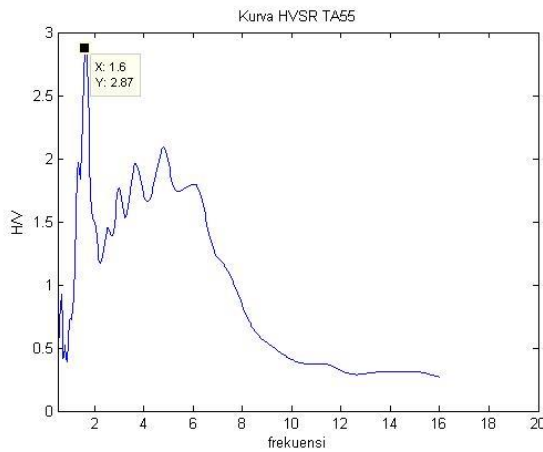
Kriteria *Clear Peak*

| | | | | |
|-----|---------|---|------|---|
| i | 1.31795 | < | 1.59 | v |
| ii | 1.11028 | < | 1.59 | v |
| iii | 3.18 | > | 2 | v |

Tidak Terpenuhi

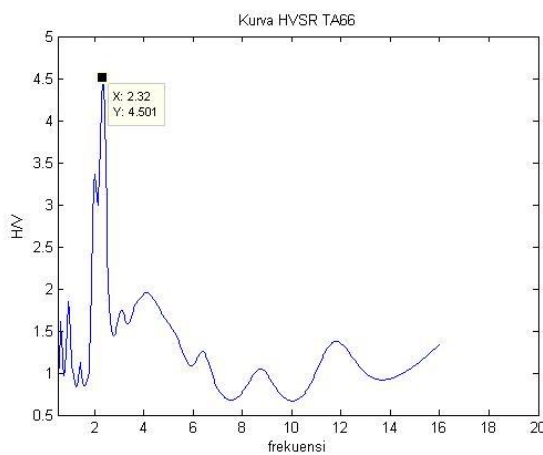
| | | | | |
|----|---------|---|------|---|
| iv | | | | |
| v | 0.06325 | < | 0.36 | v |
| vi | 0.74701 | < | 3 | v |

Titik TA55



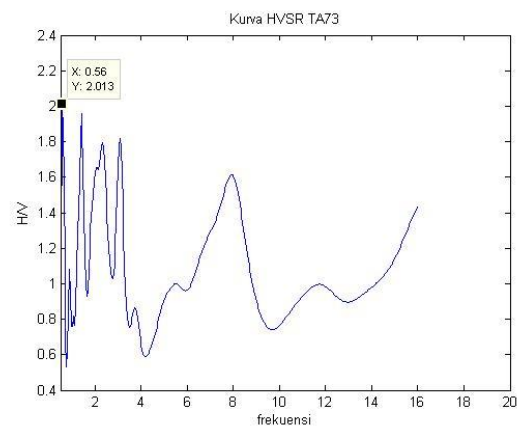
| Kriteria <i>Reliable</i> | | | | |
|----------------------------|-----------------|---|-------|---|
| i | 1.6 | > | 0.4 | v |
| ii | 480 | > | 200 | v |
| iii | 0.56309 | < | 2 | v |
| Kriteria <i>Clear Peak</i> | | | | |
| i | 1.11999 | < | 1.435 | v |
| ii | 1.74812 | < | 1.435 | |
| iii | 2.87 | > | 2 | v |
| iv | Tidak Terpenuhi | | | |
| v | 0.06325 | < | 0.4 | v |
| vi | 0.56309 | < | 3 | v |

Titik TA66



| Kriteria <i>Reliable</i> | | | | |
|----------------------------|-----------------|---|--------|---|
| i | 2.32 | > | 0.4 | v |
| ii | 1160 | > | 200 | v |
| iii | 0.13171 | < | 2 | v |
| Kriteria <i>Clear Peak</i> | | | | |
| i | 0.5358 | < | 2.2505 | v |
| ii | 0.45077 | < | 2.2505 | v |
| iii | 4.501 | > | 2 | v |
| iv | Tidak Terpenuhi | | | |
| v | 0.08641 | < | 0.58 | v |
| vi | 0.13171 | < | 3 | v |

Titik TA73



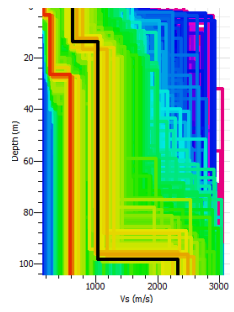
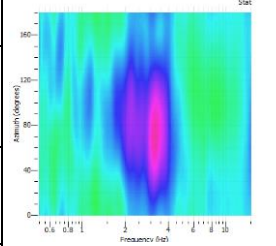
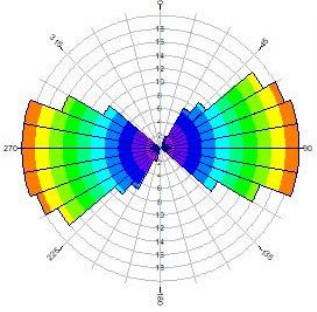
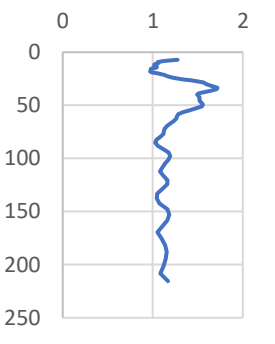
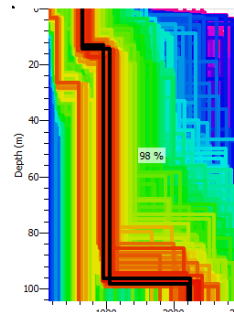
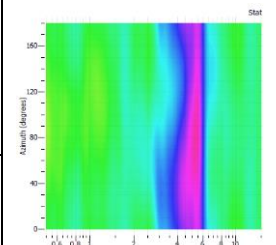
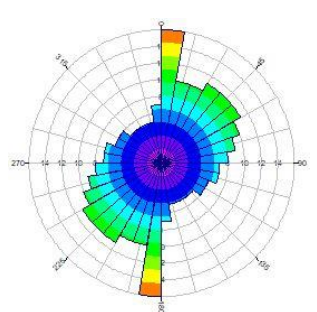
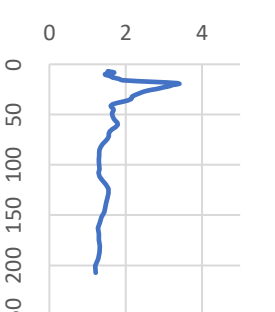
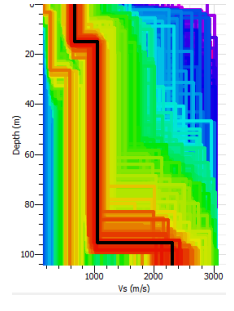
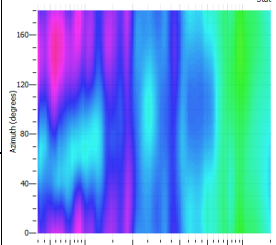
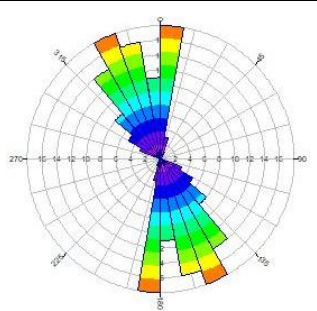
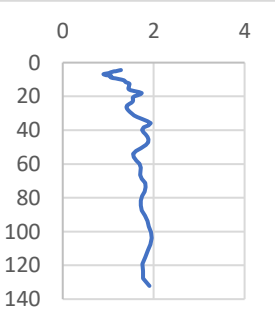
| Kriteria <i>Reliable</i> | | | | |
|----------------------------|-----------|---|--------|---|
| i | 0.56 | > | 0.4 | v |
| ii | 322 | > | 200 | v |
| iii | 0.42517 | < | 2 | v |
| Kriteria <i>Clear Peak</i> | | | | |
| i | 0.73037 | < | 1.0065 | v |
| ii | 1.28579 | < | 1.0065 | |
| iii | 2.013 | > | 2 | v |
| iv | Terpenuhi | | | |
| v | 0.04 | < | 0.14 | v |
| vi | 0.42517 | < | 3 | v |

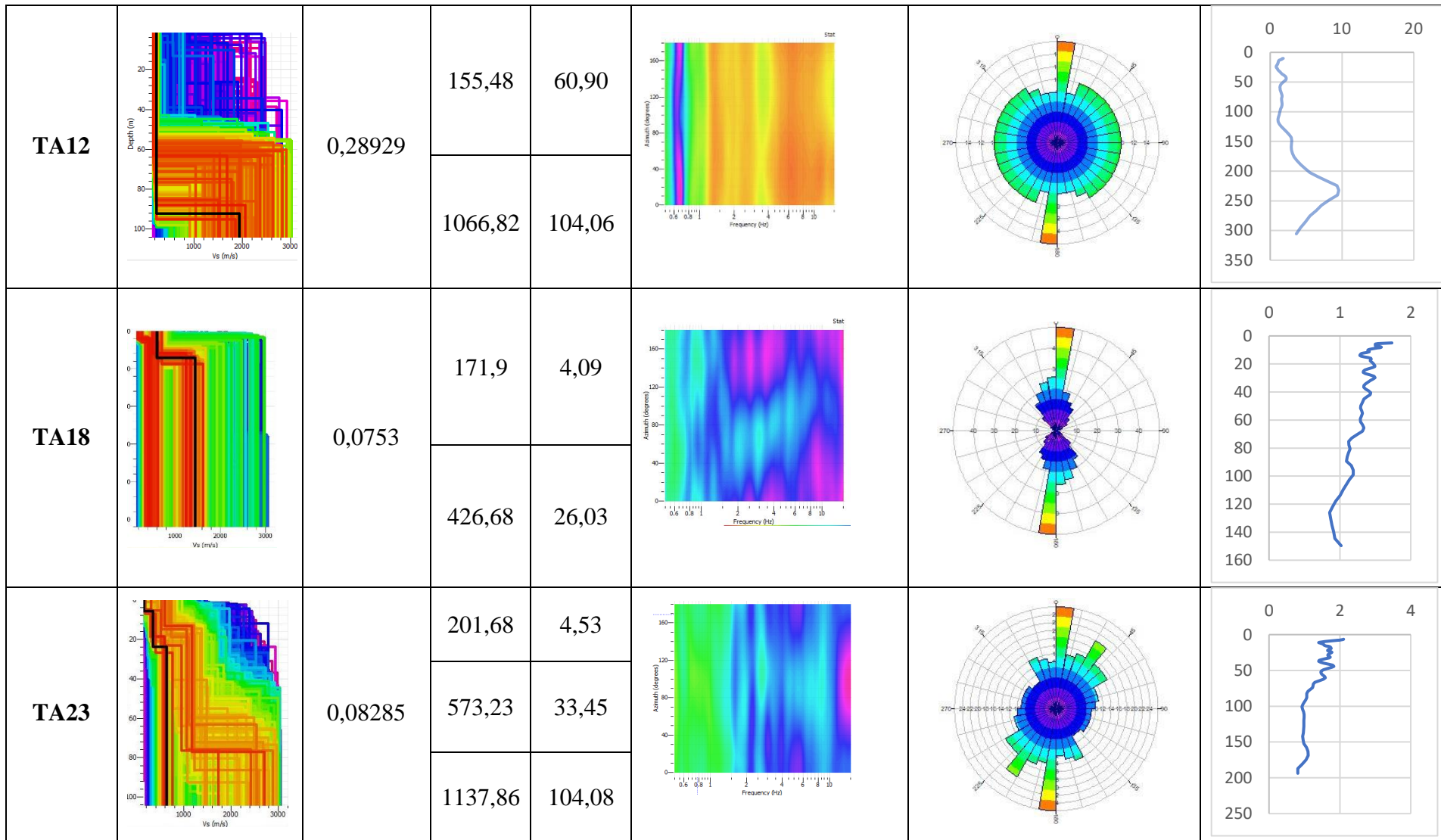
Lampiran 2

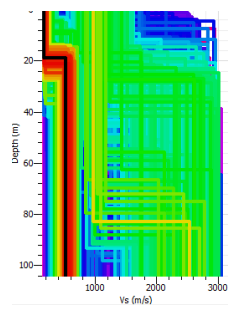
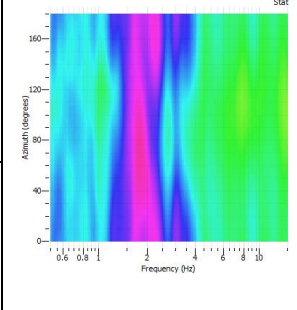
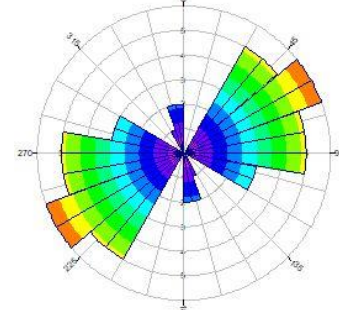
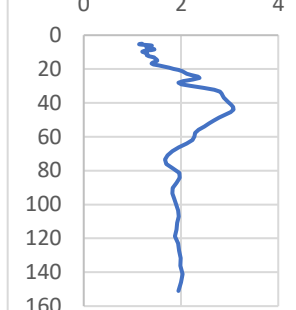
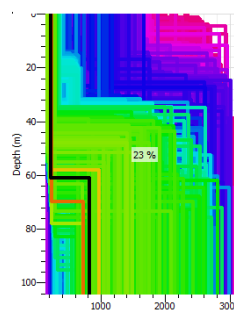
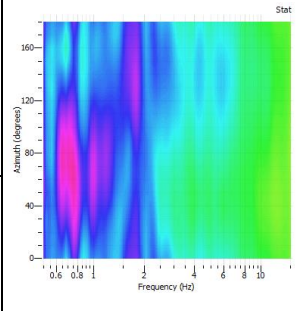
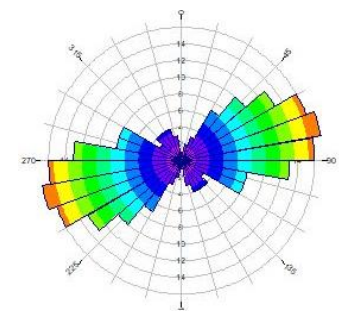
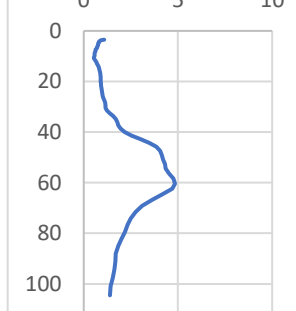
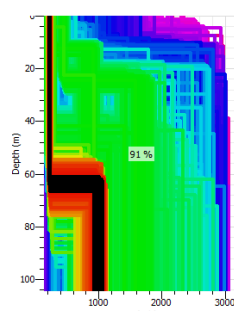
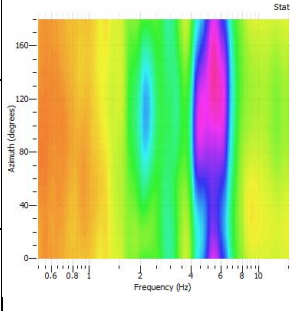
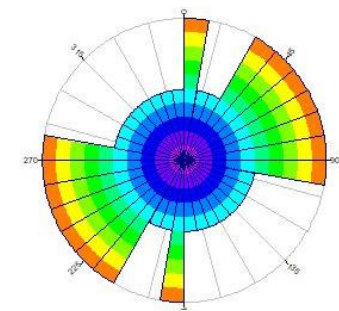
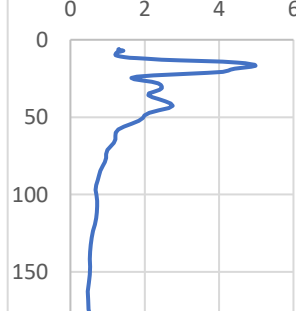
Hasil Analisis nilai V_s menggunakan Metode Inversi, Arah Sumber Gelombang, dan Spektrum Penampang Kurva H/V

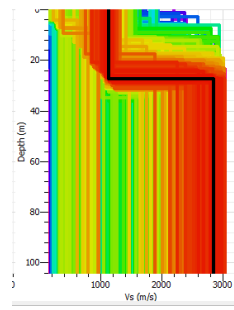
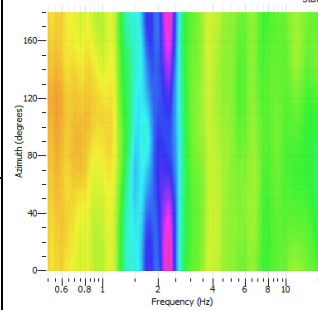
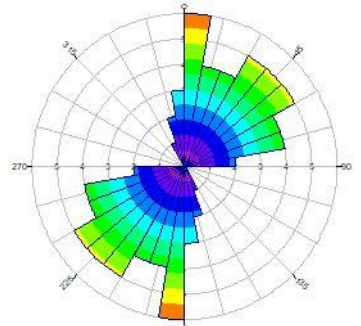
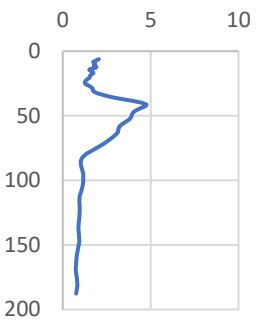
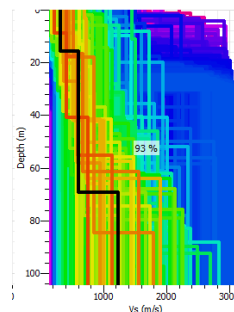
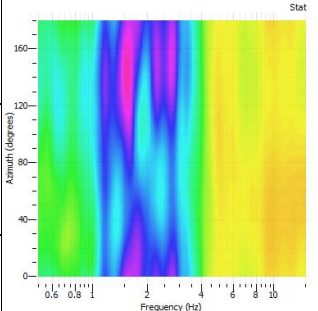
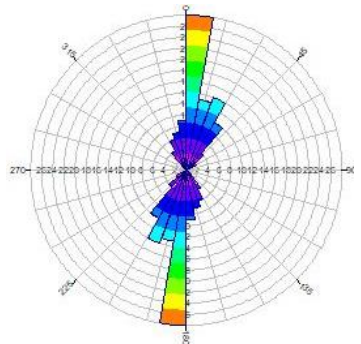
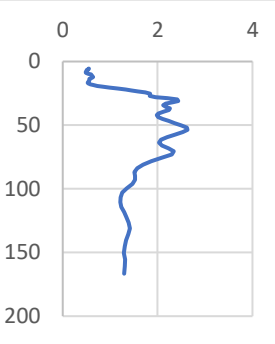
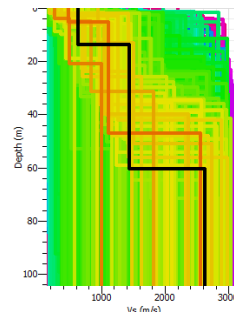
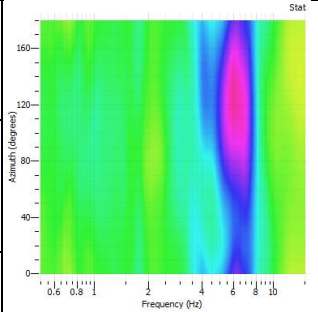
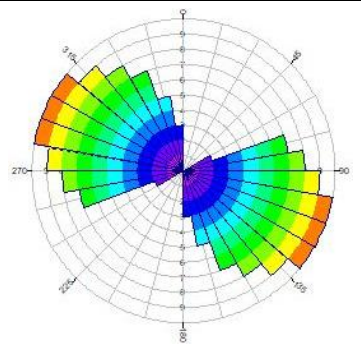
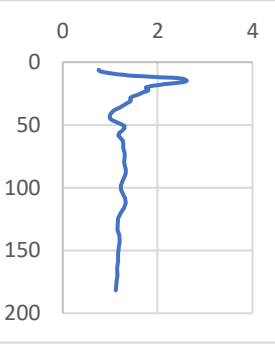
| Titik | Metode Inversi | | | | Arah Sumber Gelombang | | Spektrum Penampang Kurva H/V |
|-------|----------------|----------|-------------|---------------|-----------------------|--------------|------------------------------|
| | Ground Profile | misfit | V_s (m/s) | Depth (meter) | H/V Rotate | Rose Diagram | |
| TA0 | | 0,291797 | 158,34 | 2,620 | | | |
| | | | 250,81 | 5,371 | | | |
| | | | 455,11 | 28,899 | | | |
| | | | 925,11 | 104,200 | | | |
| TA3 | | 0,06652 | 430,93 | 7,685 | | | |
| | | | 955,99 | 104,18 | | | |
| TA4 | | 0,08778 | 151,19 | 17,92 | | | |
| | | | 343,22 | 104,15 | | | |

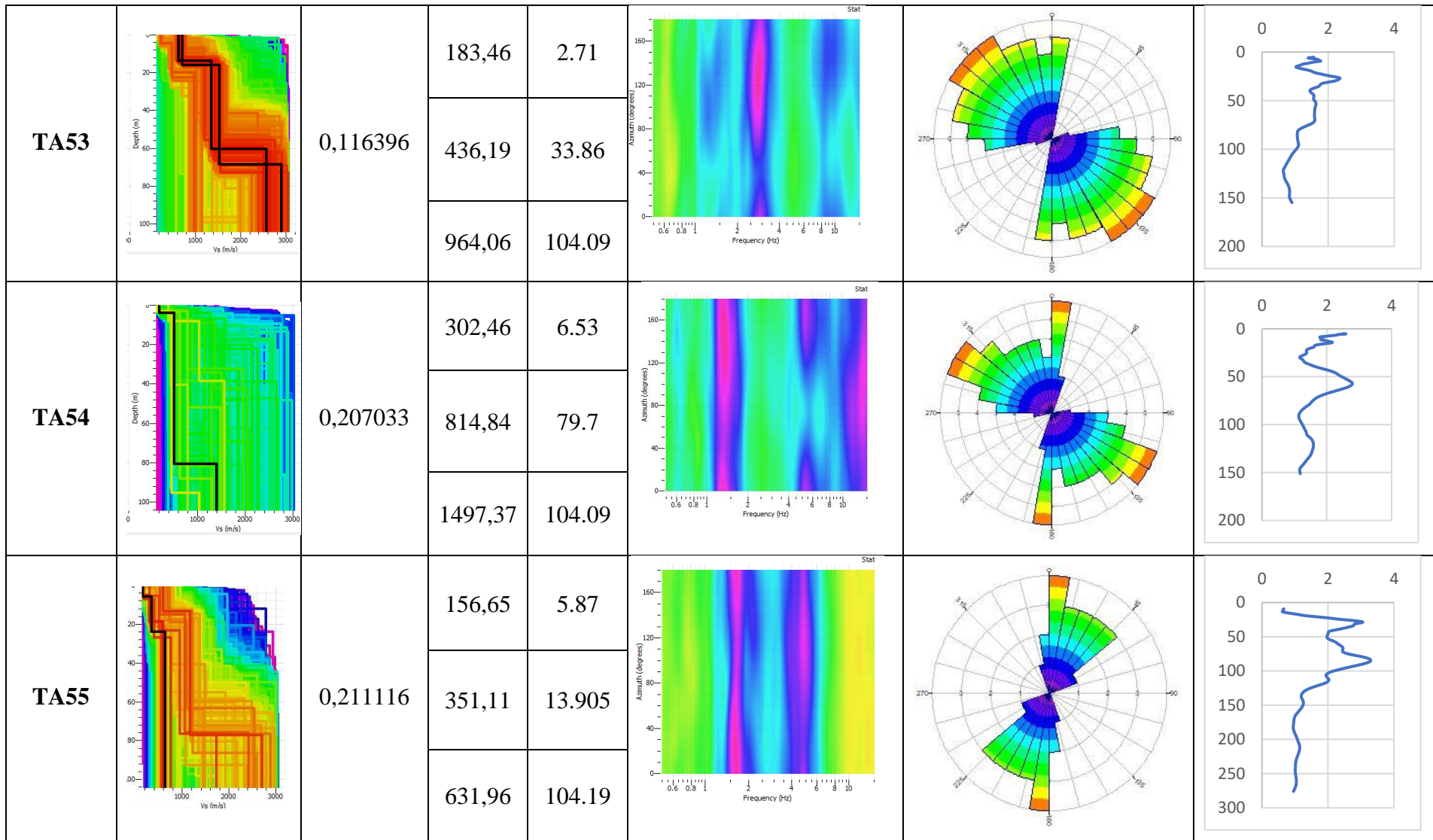
| | | | | | | | |
|------------|--|-----------|---------|--------|--|--|--|
| TA5 | | 0,14255 | 777,1 | 19,44 | | | |
| | | | 2018,25 | 104,06 | | | |
| TA6 | | 0,19778 | 406,05 | 7,53 | | | |
| | | | 76,77 | 99,20 | | | |
| | | | 3011,55 | 104,13 | | | |
| TA7 | | 0,0611278 | 161,88 | 6,64 | | | |
| | | | 277,27 | 30,96 | | | |
| | | | 546,53 | 104,18 | | | |
| | | | | | | | |

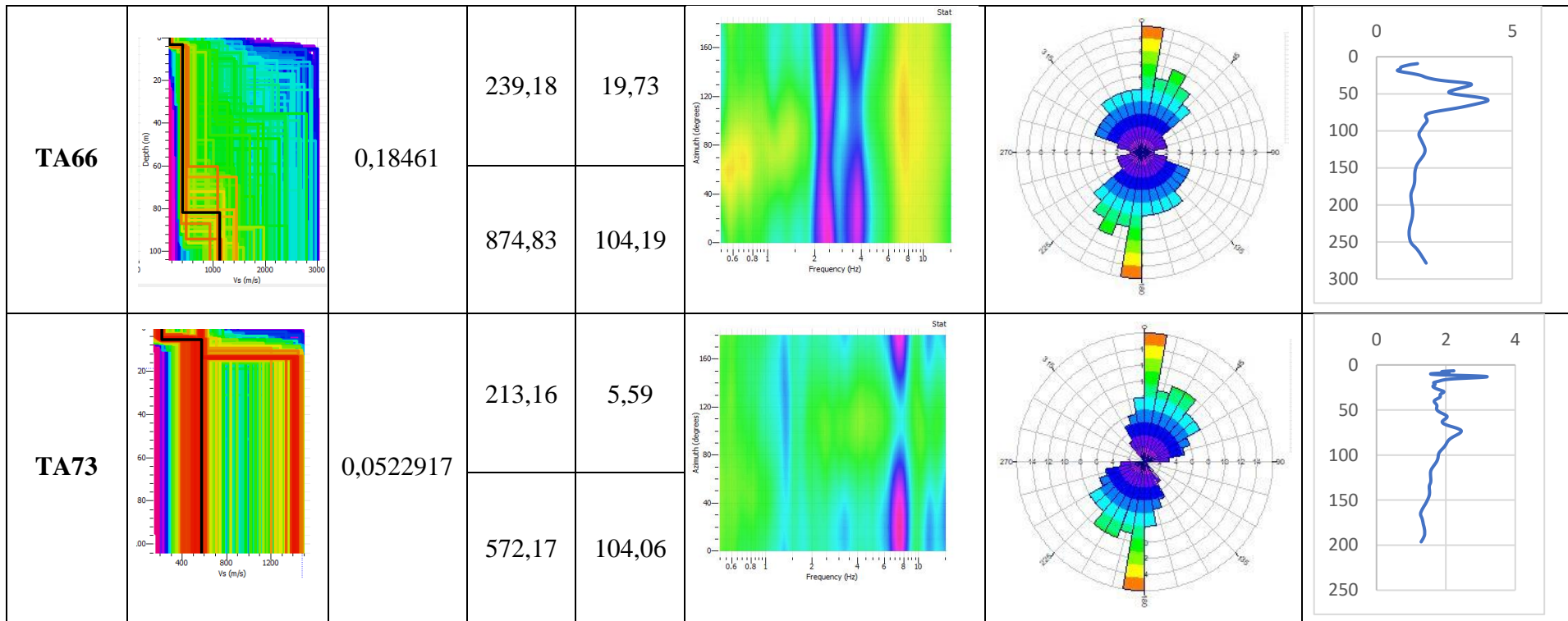
| | | | | | | | |
|-------------|--|-----------|---------|--------|---|--|--|
| TA8 |  | 0,0670441 | 178,58 | 1,97 |  |  |  |
| | | | 270,83 | 4,89 | | | |
| | | | 422,75 | 27,21 | | | |
| | | | 852,01 | 104,12 | | | |
| TA9 |  | 0,187033 | 414,7 | 10,31 |  |  |  |
| | | | 1046,75 | 101,13 | | | |
| TA10 |  | 0,179632 | 149,05 | 9,83 |  |  |  |
| | | | 379,58 | 103,12 | | | |



| | | | | | | | |
|---------------|--|----------|---------|--------|---|--|--|
| TA24 |  | 0,21864 | 149,24 | 15,58 |  |  |  |
| | | | 454,87 | 103,98 | | | |
| TA28 |  | 0,15195 | 209,02 | 60,22 |  |  |  |
| | | | 794,08 | 104,15 | | | |
| TA29Re |  | 0,163669 | 308,58 | 2,61 |  |  |  |
| | | | 412,29 | 20,90 | | | |
| | | | 1583,48 | 104,09 | | | |

| | | | | | | | |
|-------------|--|----------|--------|--------|---|--|--|
| TA30 |  | 0,23565 | 375,42 | 8,79 |  |  |  |
| | | | 940,69 | 103,98 | | | |
| TA40 |  | 0,131452 | 185,15 | 14,54 |  |  |  |
| | | | 322,23 | 23,86 | | | |
| | | | 492,36 | 104,00 | | | |
| TA41 |  | 0,10654 | 156,52 | 3,05 |  |  |  |
| | | | 316,08 | 12,54 | | | |
| | | | 617,85 | 104,09 | | | |
| | | | | | | | |



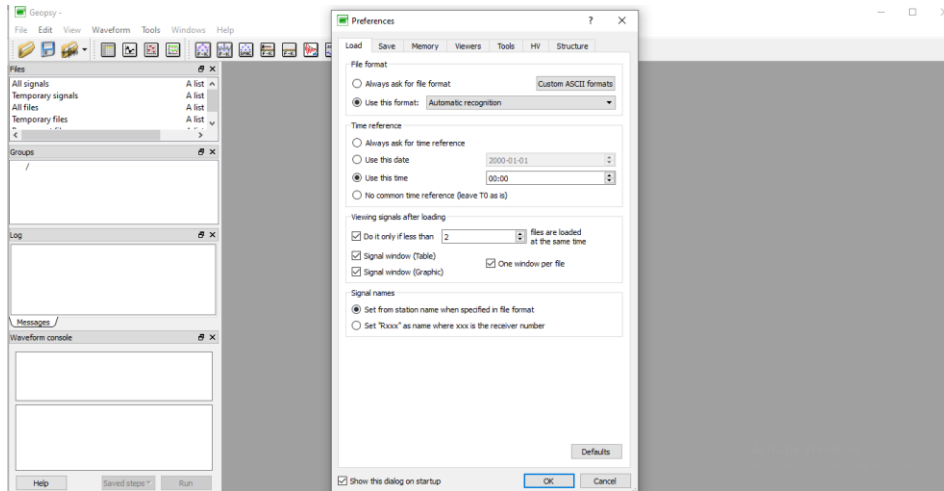


Lampiran 3

TAHAPAN PENGOLAHAN SINYAL MIKROTREMOR

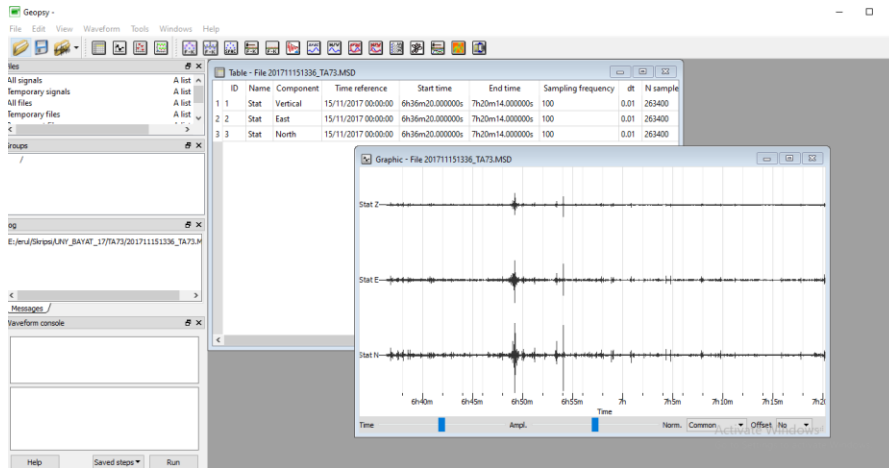
A. Pengolahan Sinyal Mikrotremor dengan *Software Geopsy*

1. Buka *software Geopsy* dengan mengklik kanan → *run* → *yes*. Maka akan muncul tampilan seperti Gambar L1.



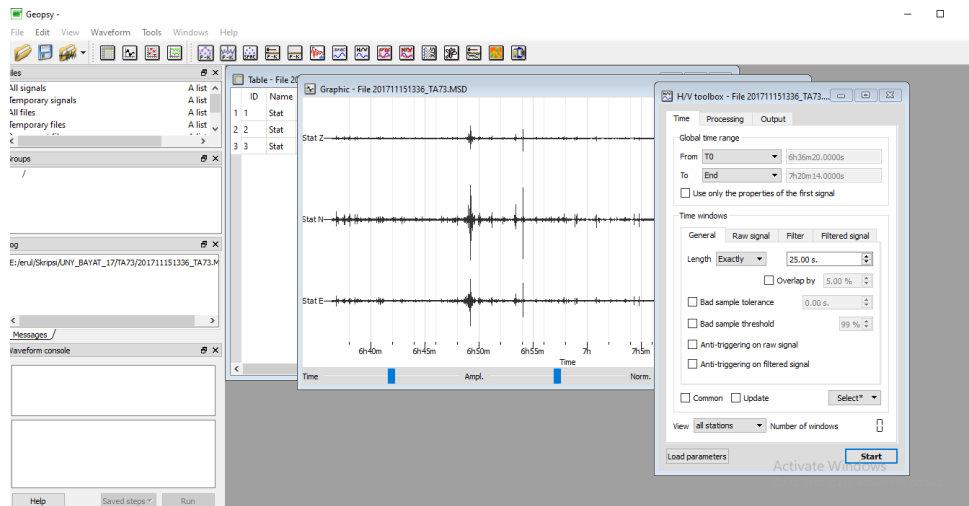
Gambar L1. Tampilan awal *software Geopsy*

2. Mengklik pilihan *OK* pada jendela *preferences*.
3. Masukkan sinyal mikrotremor dengan cara pilih *Icon Import Signal* kemudian pilih *file* sinyal mikrotremor dalam format *.MSD* lalu *Open* maka akan muncul tampilan seperti Gambar L2.
4. Sinyal mikrotremor yang ditampilkan *software Geopsy* menunjukkan 3 komponen sinyal, yaitu komponen vertikal (*SHZ*), komponen sinyal horizontal arah barat-timur (*SHE*), dan komponen sinyal horizontal arah utara-selatan (*SHN*) yang dapat dilihat pada Gambar L2.



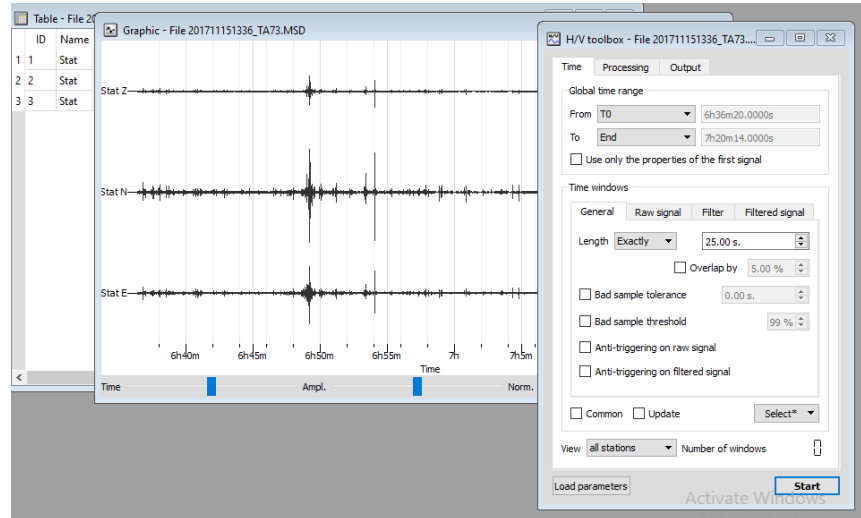
Gambar L2. tampilan input sinyal mikrotremor format .MSD pada *software Geopsy*

- Pilih H/V pada *toolbar*, maka akan muncul tampilan jendela *H/V toolbox* yang terdiri dari menu *time*, *processing*, dan *output*. Pada menu *time* terdapat *time window*, salah satu submenu *time window* adalah *general*. Kemudian tentukan *length windows* sebesar 20 detik. Kemudian pada menu *processing* digunakan *parameters type konno & ohmachi*, *smoothing constant 40*, dan *horizontal component* pilih *squared average* seperti yang dapat dilihat pada Gambar L3.



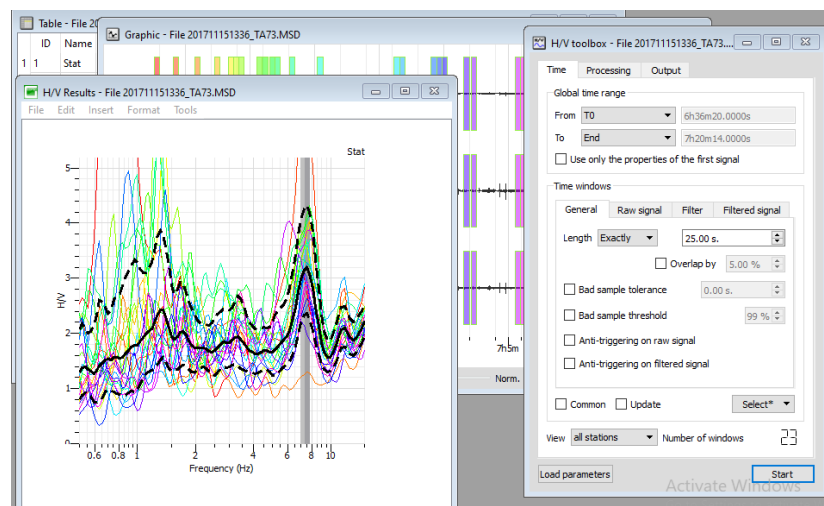
Gambar L3. Tampilan *H/V toolbox*

6. Output frequency sampling diatur 0,5 – 15 Hz, dan number sampling 100 kemudian pilih *select* → *add* untuk memilih sinyal tanpa *noise*. Number windows yang dipilih minimal 10, kemudian pilih *start*. Proses ini dapat dilihat pada Gambar L4.



Gambar L4. Pemilihan sinyal mikrotremor atau *cutting*

7. Setelah selesai proses pemilihan sinyal mikrotremor, maka akan tampil seperti Gambar L5, yaitu akan tampil kurva H/V hubungan antara frekuensi terhadap faktor amplifikasi.

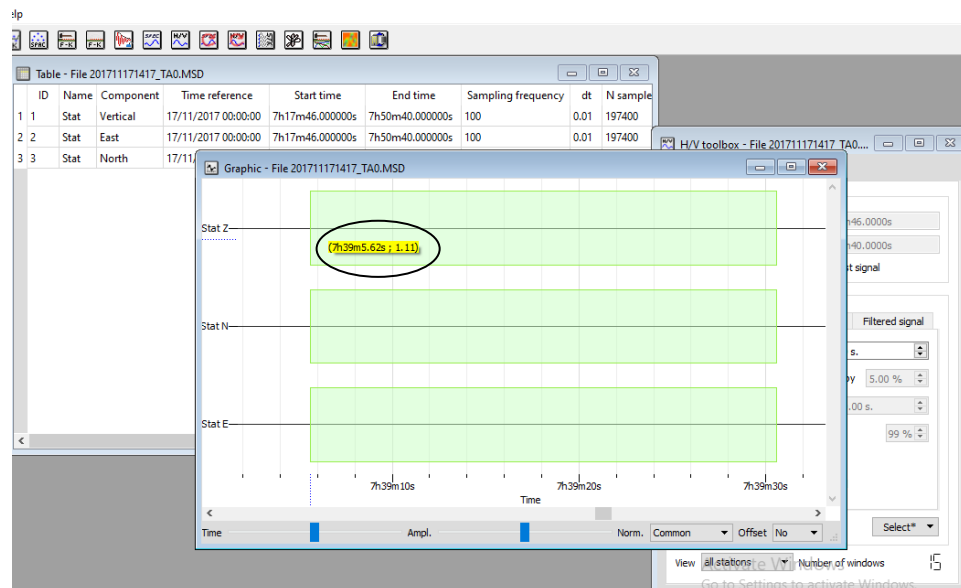


Gambar L5. Tampilan Kurva H/V sinyal mikrotremor dengan *software Geopsy*

- Menyimpan kurva *H/V* dengan cara memilih menu *tool* → *save result*. Cara lain bisa dengan klik kanan kurva → *properties* → *save layer*. File disimpan dalam format *.hv*.

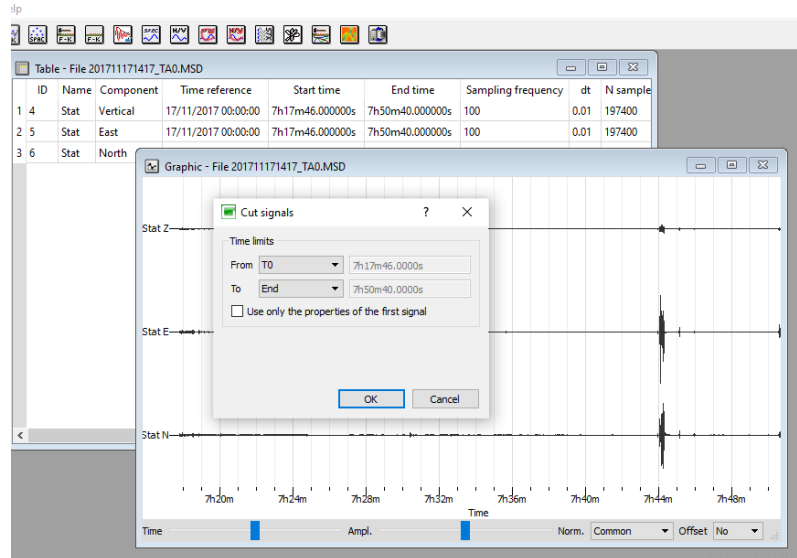
B. Cutting Sinyal Mikrotremor dengan Software Geopsy

- Buka *software Geopsy* dengan mengklik kanan → *run* → *yes*.
- Pilih sinyal mikrotremor yang akan di *cutting*.
- Setelah muncul sinyal yang dipilih, kemudian klik kanan → *zoom*, selanjutnya catat waktu yang ditampilkan pada *cursor* dan lakukan hal tersebut sampai selesai sinyal yang akan di *cutting* maka akan tampil Gambar L6.



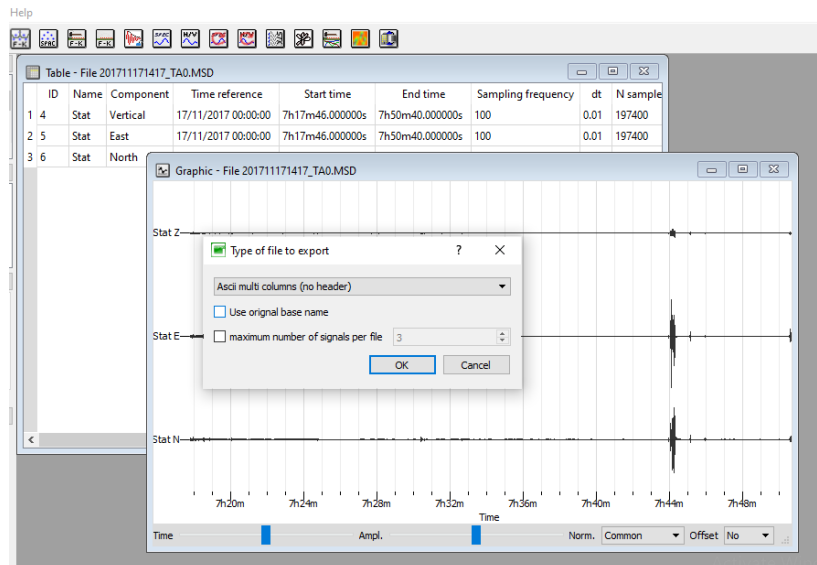
Gambar L6 : Hasil perbesaran sinyal mikrotremor di setiap *windows*

- Pilih menu *waveform* → *cut* atau bisa juga dengan menekan tombol *Ctrl+Alt+C*. Pada jendela *cut signal* → *time limits* → *from to* diisi dengan awal *cutting* dan *to end* diisi dengan akhir proses *cutting* → *Ok*, maka akan tampil seperti Gambar L.7.



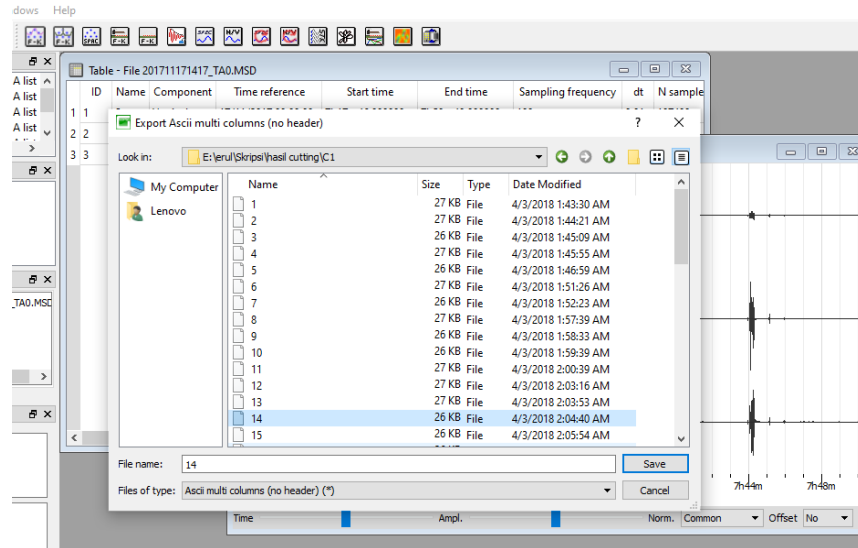
Gambar L7. Tampilan *Cutting windows*

5. Simpan hasil *cutting* tersebut dengan cara *file* → *export* → *Ascii multi columns (no header)* → *OK*. Seperti pada Gambar L8.



Gambar L8. Tampilan jendela pemilihan tipe penyimpanan *file*

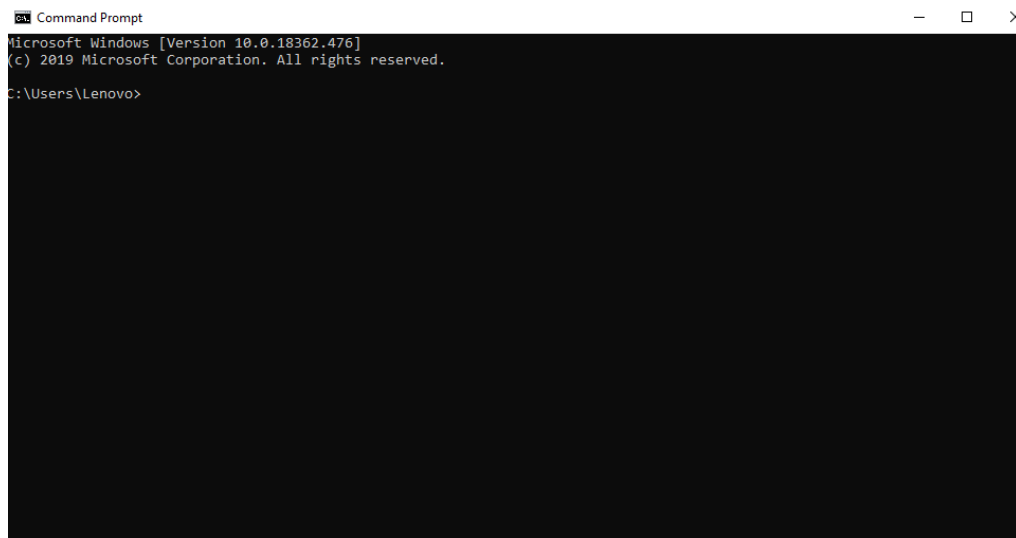
6. Pilih lokasi dan nama *file* yang akan disimpan kemudian klik *save* maka akan tampil seperti pada Gambar L9.



Gambar L9. Tampilan *file* hasil proses *cutting*

C. Penggabungan *file* Hasil *Cutting* dengan *Command Prompt*

1. Buka *command prompt* dengan cara mengklik menu *start* kemudian pilih menu *command prompt* → *run* → *yes*. Maka akan muncul tampilan seperti Gambar L10.



Gambar L10 Tampilan awal jendela *command prompt*

2. Tulis perintah di *command prompt* sebagai berikut :
 - a. Tulis *local disk address* lokasi penyimpanan *file* hasil *cutting* yaitu *local disk (D)* diikuti tanda (:) kemudian *enter*.
 - b. Ketik *cd* (spasi) nama folder kemudian *enter*.

- c. Ketik `copy/b (spasi) 1+2+3.....+n (spasi) filename.xls`. lalu tekan `enter`. n merupakan banyaknya *number windows*. Dapat dilihat pada Gambar L11.

```

Command Prompt
Microsoft Windows [Version 10.0.18362.535]
(c) 2019 Microsoft Corporation. All rights reserved.

C:\Users\Lenovo>
C:\Users\Lenovo>D
'D' is not recognized as an internal or external command,
operable program or batch file.

C:\Users\Lenovo>D:
D:\>cd C1
D:\C1>copy/b 1+2+3+4+5+6+7+8+9+10 C1.xls
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
1 file(s) copied.
D:\C1>

```

Gambar L11. Proses penggabungan *file cutting* pada *command prompt*

D. Menganalisis kurva *H/V* dengan *software MatlabR2010a*.

1. Membuka *file* hasil penggabungan dengan *commad prompt* dalam format *.xls* dengan *Microsoft Excel 2010*. Maka akan muncul tampilan seperti Gambar L12.

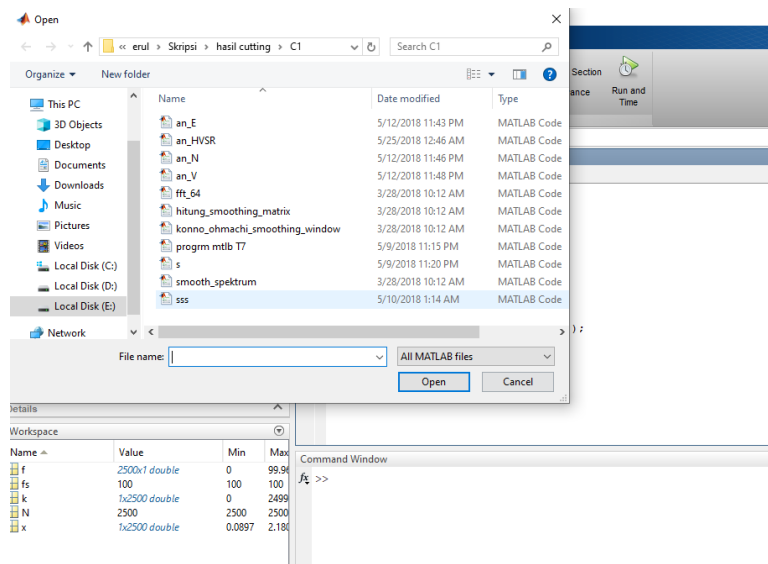
| | A | B | C |
|----|------|-----|------|
| 1 | -123 | 11 | -68 |
| 2 | -122 | -18 | -91 |
| 3 | -258 | -32 | -122 |
| 4 | -136 | 71 | -133 |
| 5 | -230 | -38 | -192 |
| 6 | -295 | 55 | -4 |
| 7 | 79 | 58 | -64 |
| 8 | -35 | 78 | -222 |
| 9 | -148 | 31 | -52 |
| 10 | -98 | -13 | -41 |
| 11 | -219 | 108 | -118 |
| 12 | -200 | -24 | -75 |
| 13 | -165 | 54 | -24 |
| 14 | -146 | 76 | -88 |
| 15 | -126 | 30 | -95 |
| 16 | -92 | 13 | -29 |
| 17 | -112 | 31 | -1 |
| 18 | -109 | 87 | -17 |
| 19 | -47 | -2 | 7 |
| 20 | -23 | 76 | 41 |
| 21 | 57 | 97 | -27 |
| 22 | 87 | 58 | 9 |
| 23 | 81 | 72 | 30 |
| 24 | 118 | 80 | 47 |
| 25 | 118 | 96 | 52 |
| 26 | 107 | 80 | 28 |
| 27 | 113 | 89 | 64 |

Gambar L12. Tampilan *file cutting* setelah digabung

2. Gambar L13 menunjukkan tiga nilai sinyal mikrotremor yaitu kolom A mewakili komponen sinyal vertikal (SHZ), kemudian kolom B mewakili komponen sinyal horizontal arah barat-timur (SHE), dan kolom C mewakili komponen sinyal horizontal arah utara-selatan.
3. Selanjutnya *save* ketiga komponen tersebut secara terpisah dengan format *.xls*. Nama *file* *V.xls* untuk komponen sinyal vertikal (SHZ), *E.xls* untuk komponen sinyal horizontal arah barat-timur (SHE), dan *N.xls* untuk komponen sinyal horizontal arah utara-selatan. Kemudian simpan ketiga komponen tersebut dalam satu folder untuk selanjutnya dianalisis dengan *Fast Fourier Transform* (FFT) dengan program *radix* pada *software Matlab2014a*.

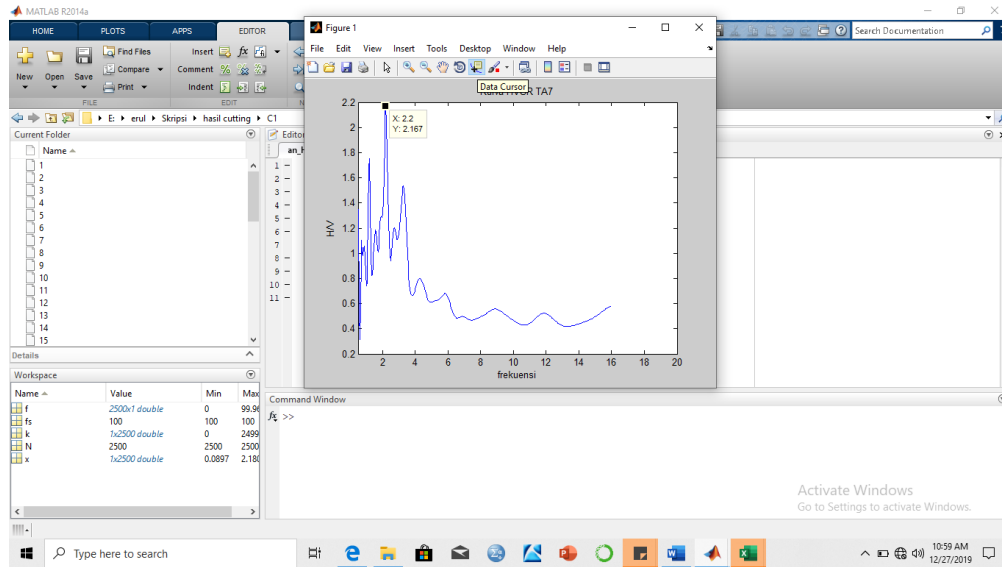
E. Analisis sinyal mikrotremor dengan program *radix* pada *software Matlab2014a*

1. Membuka *software Matlab2014a*.
2. Memilih menu *file* → *Open* → **an_HVSR**, maka akan tampil seperti Gambar L13.



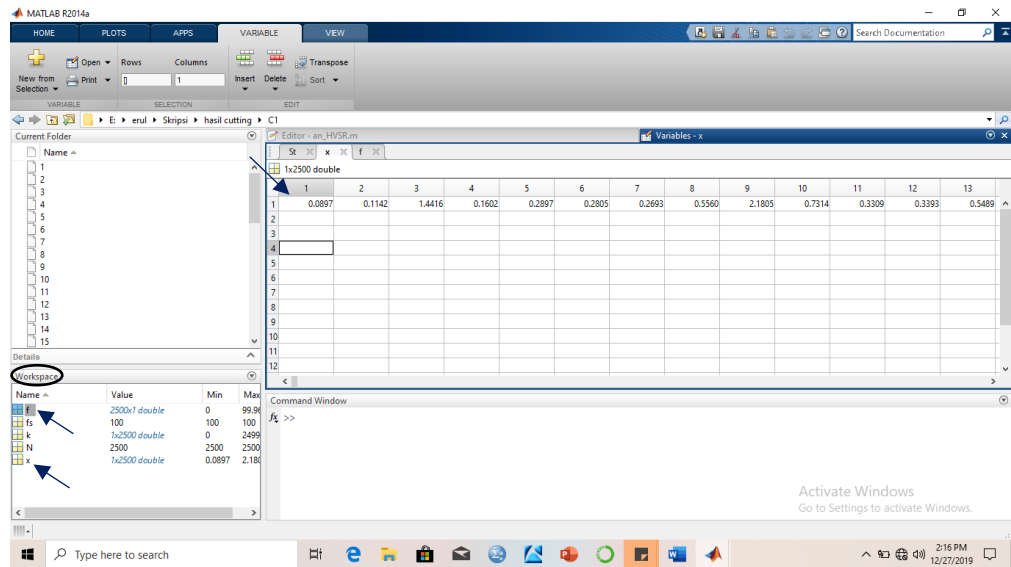
Gambar L13. Tampilan input data format *.m* pada *Matlab2014a*

3. Sebelum proses, ketiga *file* yaitu *V.xls*, *E.xls*, dan *N.xls* harus terbuka di Microsoft Excel, kemudian pilih *Run* pada jendela *Editor*, maka akan muncul tampilan seperti pada Gambar L14.



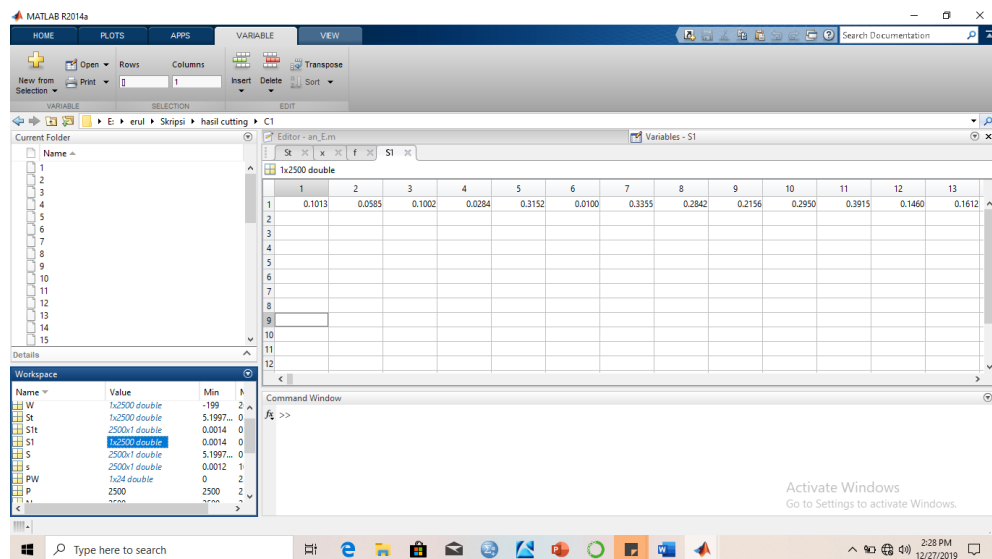
Gambar L14. Spektrum sinyal Mikrotremor hasil FFT

4. Setelah muncul tampilan seperti Gambar L13, kemudian pilih *data cursor* untuk mengetahui nilai titik puncak dari grafik tersebut, dimana x merupakan nilai f_0 dan y merupakan nilai A_0 .
5. Selanjutnya menyimpan nilai-nilai frekuensi dan amplifikasi dari kurva *H/V* yang ditunjukkan seperti Gambar L14, caranya dengan menu *Desktop* → ***Workspace*** → klik dua kali pada variable f untuk nilai frekuensi dan x untuk nilai amplifikasi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar L15. Setelah ditampilkan nilai fekuensi dan amplifikasinya, kemudian di *copy* → *paste* ke Microsoft Excel.

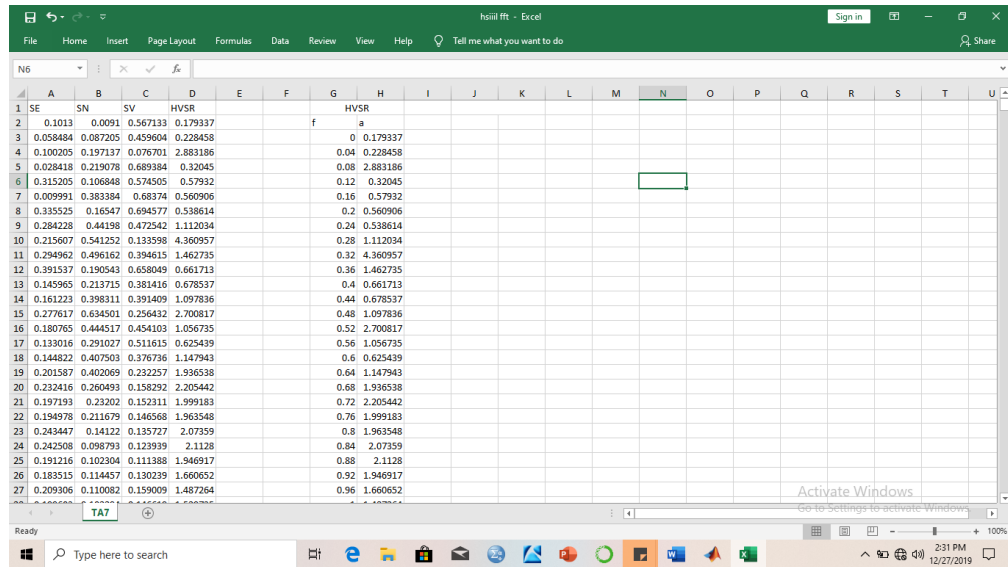


Gambar L15. Tampilan proses penyimpanan nilai frekuensi dan amplifikasi kurva H/V

6. Selain nilai frekuensi dan amplifikasi, ketiga komponen $E.xls$, $N.xls$, dan $V.xls$ juga disimpan ke Microsoft Excel, dengan cara pada menu *file* → *Open* → **an_E** → *Open* → *Run* seperti Gambar L16, selanjutnya pada menu *Dekstop* → **Workspace** → klik dua kali pada $S1$ dan *copy* → *Paste* ke Microsoft Excel seperti pada Gambar L17. Begitu juga dengan komponen $N.xls$, dan $V.xls$.



Gambar L16. Proses penyimpanan komponen $E.xls$, $N.xls$, dan $V.xls$

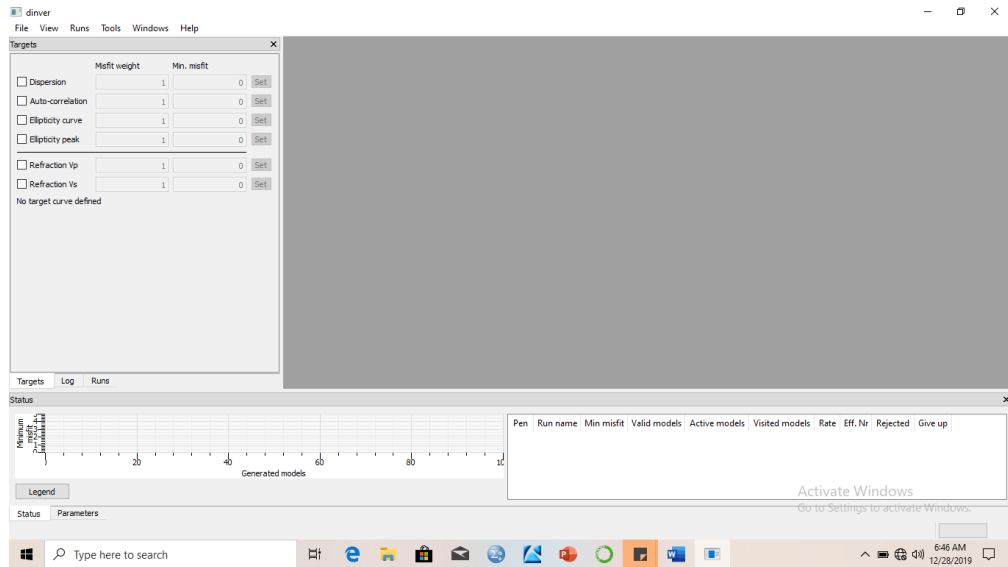


Gambar L17. Penyimpanan di Microsoft Excel

F. Pengolahan kurva H/V untuk menentukan nilai kecepatan gelombang geser V_s dan kedalaman ($Depth$) dengan menggunakan *Dinver*.

1. Buka program *Dinver* → *Dinver plugin selector* → centang *Surface Wave Inversion*

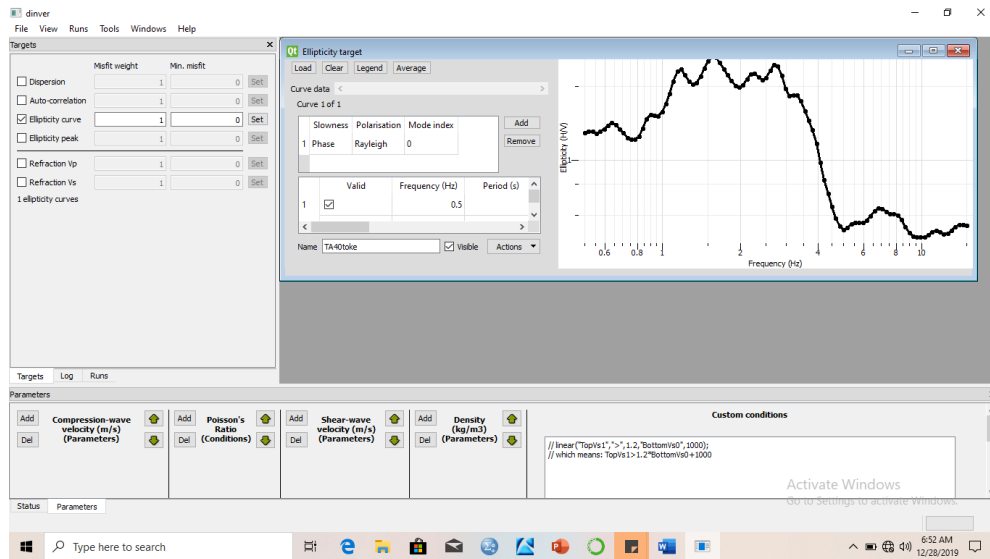
→ *Ok*. Maka akan muncul tampilan seperti pada Gambar L18.



Gambar L18. Tampilan awal *Dinver*

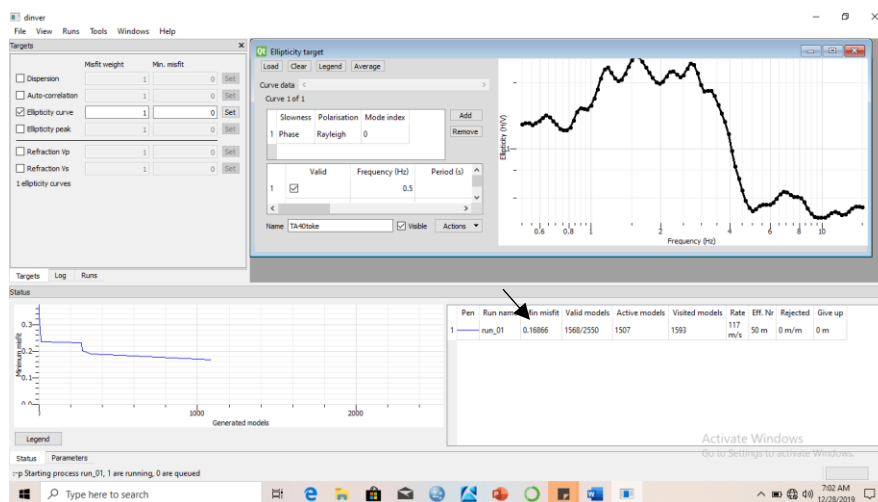
2. Memilih metode *Ellipticity curve* → *Set* → *Load* → pilih *file* yang akan diolah → *Open*

→ *Load cuve* → *Ok*. Maka akan muncul tampilan seperti Gambar L19.



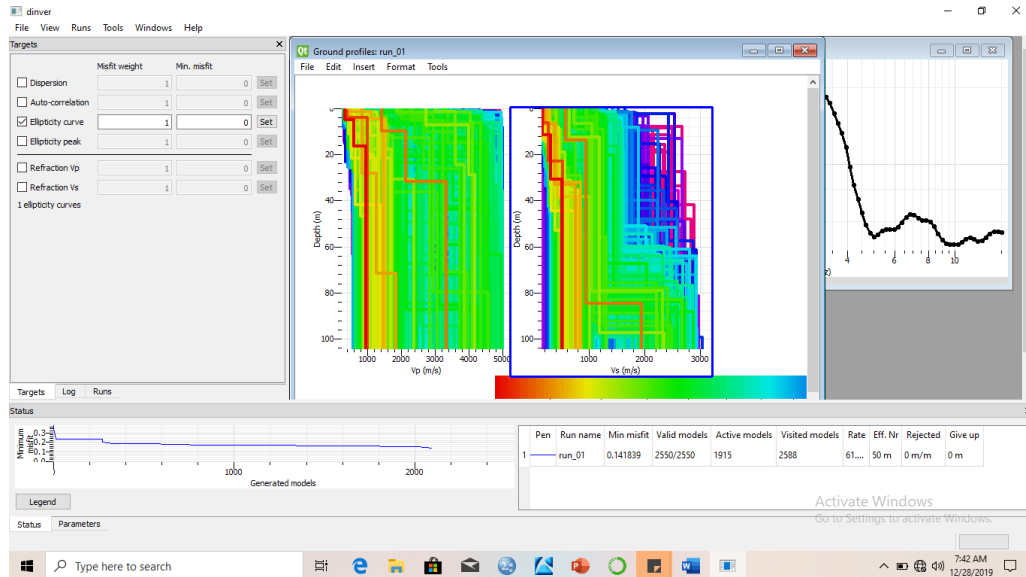
Gambar L19. Tampilan pengisian nilai parameter

3. Selanjutnya mengisi parameter-parameter yaitu *Compression Wave Velocity* (V_p), *Poisson Ratio*, *Shear Wave Velocity* (V_s), dan *Density*. Pengisian parameter tersebut disesuaikan dengan kondisi geologi di lokasi penelitian. Setelah selesai mengisi parameter, selanjutnya memilih menu *Run* → *Add* → *Start*.
4. Buka jendela *Status* untuk melihat proses inversi data, tunggu sampai selesai proses *running* selesai, sehingga diperoleh grafik dengan nilai *misfit*. Maka akan tampil seperti Gambar L20.



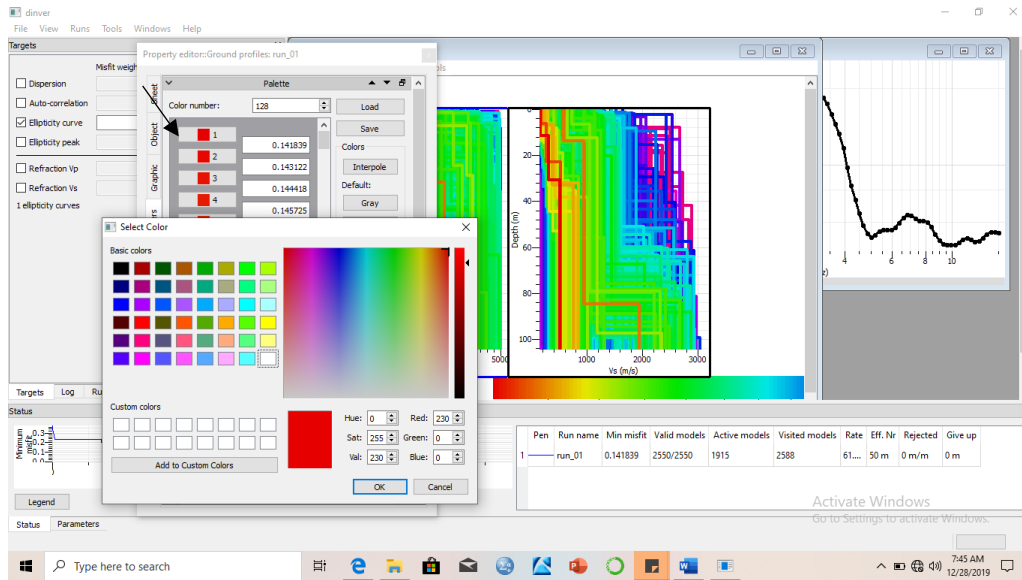
Gambar L20. Tampilan proses *running*

- Selanjutnya pilih menu *View* → *Ground Profile* → *View Ground Profile* → *Yes* → *Ground Profile Viewer* isi nilai *Maximum Misfit* 1, dan *Maximum Number of Profiles* 2 → *Ok*. Maka akan tampil seperti Gambar L21.



Gambar L21. Tampilan *Ground Profile*

- Gambar L21 menampilkan nilai grafik kecepatan gelombang primer V_p dan kecepatan gelombang geser V_s . Selanjutnya klik kanan pada grafik tersebut, pilih *properties* ganti warna pada nilai *misfit* terendah dengan warna hitam, tujuannya untuk membedakan dengan garis lainnya. Kemudian pilih *Ok*. Maka akan muncul tampilan seperti Gambar L22.
- Tulis nilai kecepatan gelombang geser V_s dan nilai kedalaman (Depth) pada setiap lapisan,

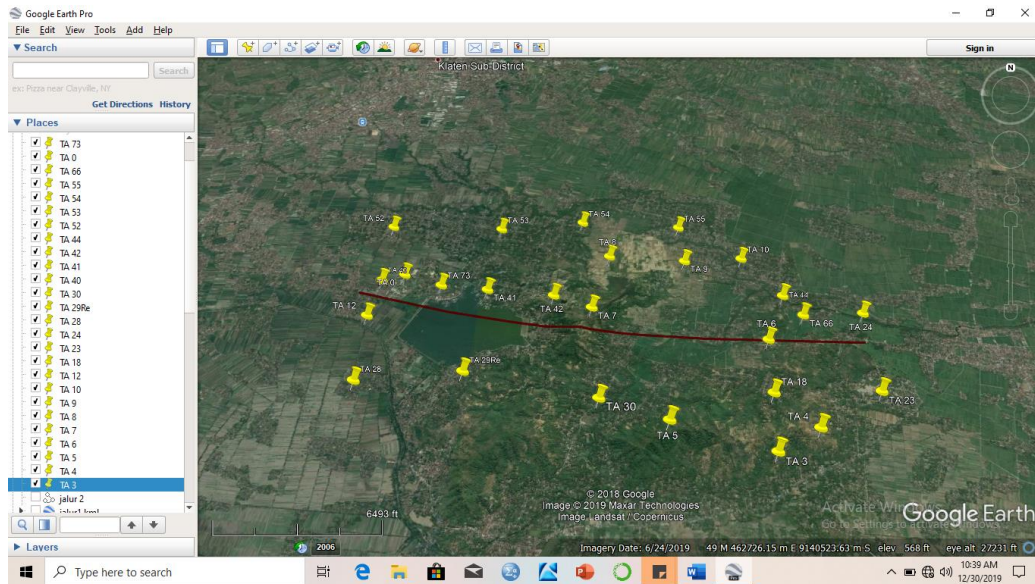


Gambar L22. Tampilan penggantian warna pada grafik *Ground Profile*

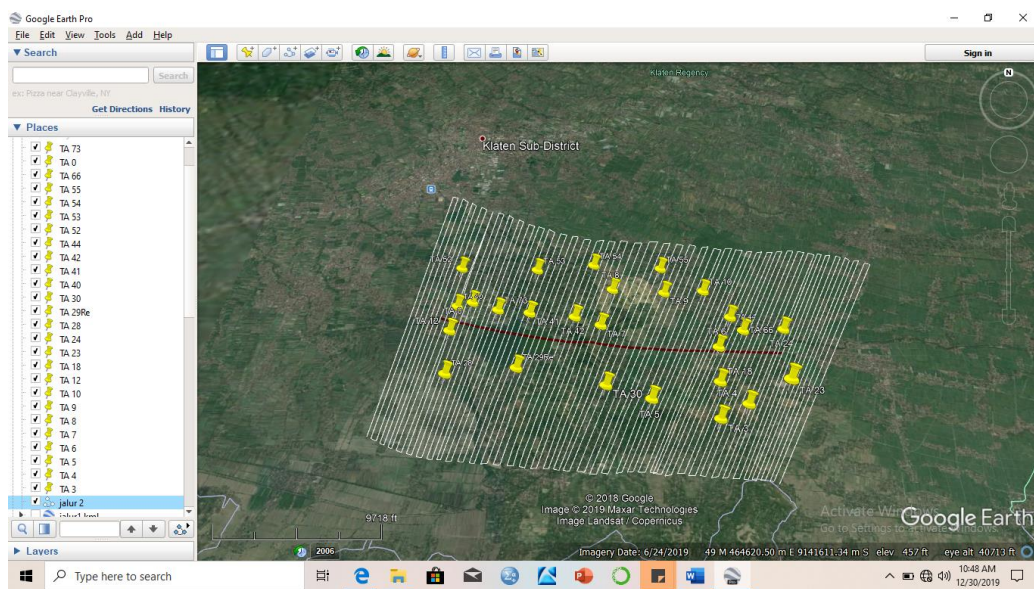
G. Program *Google Earth Pro* dan *TCX Converter*

Program *Google Earth Pro* digunakan untuk mengetahui topografi daerah penelitian, sedangkan program *TCX Converter* digunakan untuk mengkonversi data dari *Google Earth Pro* dalam format .kml menjadi .csv. Berikut langkah-langkahnya :

1. Membuka program *Google Earth Pro*
2. Membuat topografi titik-titik penelitian pada *Google Earth Pro*
3. Untuk *Plotting* titik penelitian maka pilih menu *Add* → *Placemark* → isikan *Longitude* dan *Latitude* → *Ok*. Maka akan tampil seperti Gambar L23.
4. Selanjutnya membuat jalur untuk membuat topografi daerah penelitian dengan cara membuat jalur secara vertikal dan horizontal tanpa terputus yang melingkupi daerah penelitian, caranya dengan memilih *add* → *Path* → *Ok*, maka akan tampil seperti Gambar L24.

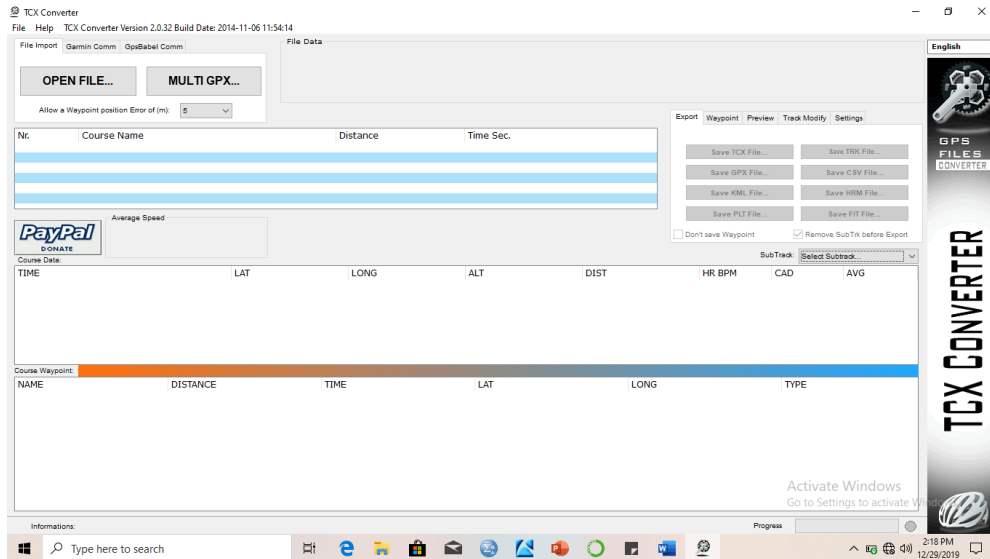


Gambar L23. Titik-titik pengukuran dan jalur sesar



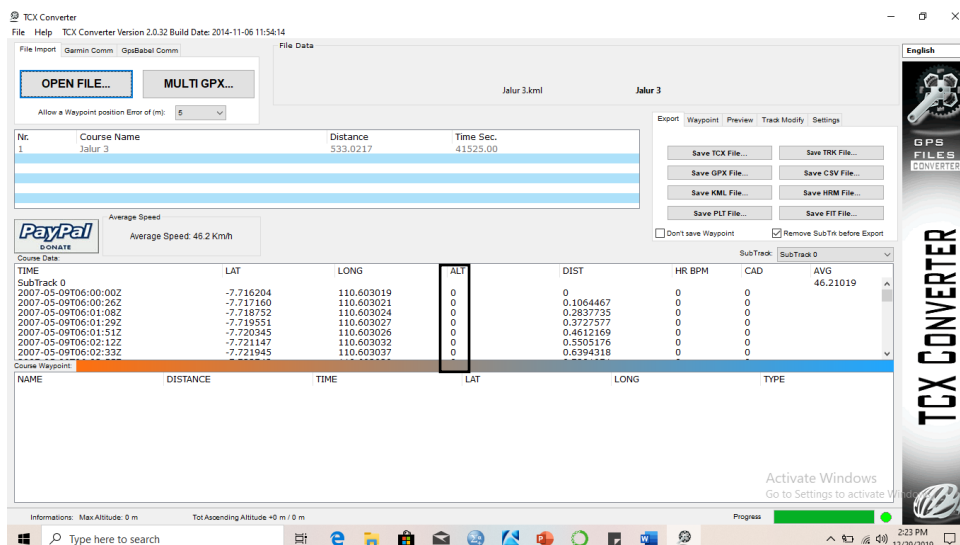
Gambar L24. Tampilan titik-titik penelitian dan jalur

5. Kemudian simpan jalur tersebut dengan cara klik kanan kemudian simpan dengan format *.kml*.
6. Adapun untuk mengkonversi data dari *Google Earth* di *TCX Converter* adalah dengan melakukan :
 - a. Membuka *TCX Converter* seperti pada Gambar L25.



Gambar L25. Tampilan awal *TCX Converter*

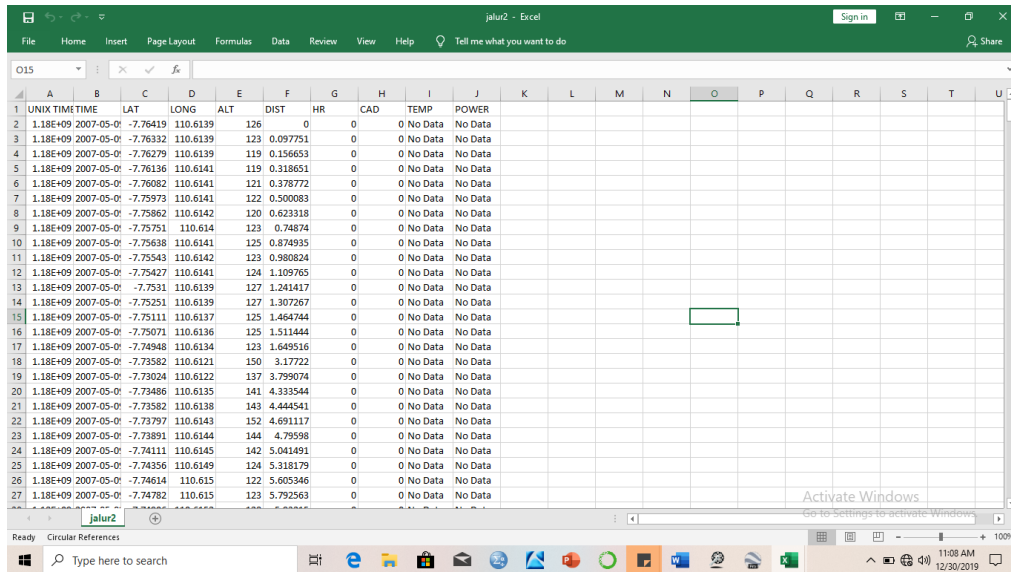
- b. Memilih menu *file import* → *Open file*, membuka *file* dengan format *.kml*.
- c. Memilih *Track Modify* → *Update Altitude*. Proses ini mengharuskan untuk terhubung ke jaringan internet, dan tunggu sampai proses ini selesai. Tanda selesainya yaitu *Progress* pada kotak hijau penuh. Maka akan tampil seperti Gambar L26.



Gambar L26. Tampilan *Update Altitude*

- d. Menyimpan data *update altitude* dengan cara memilih *Export* → *Save CSV file*. Kemudian membuka data tersebut dalam format *.csv* dengan *Microsoft Excel*. Data

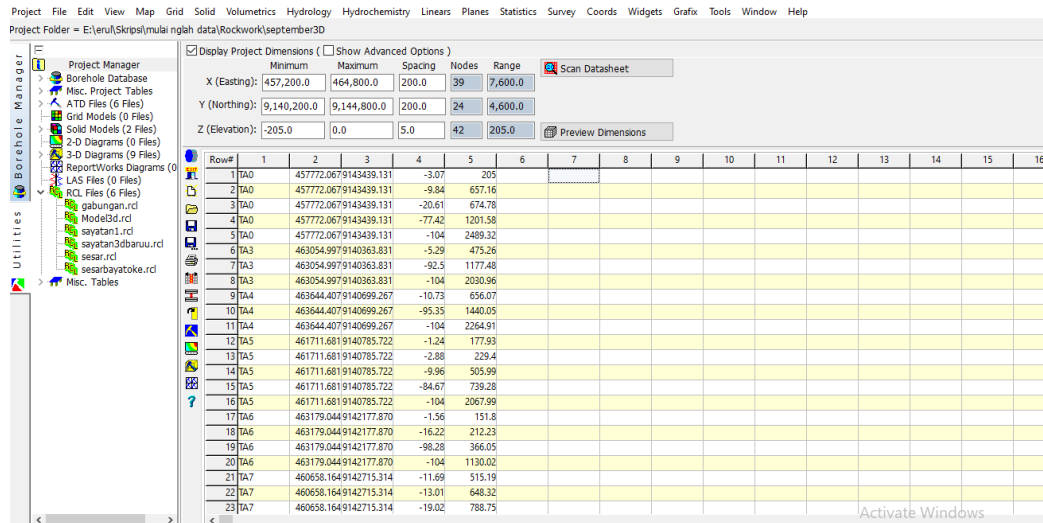
yang ditampilkan berupa *latitude*, *longitude*, dan *altitude*. Maka akan tampil seperti Gambar L27.



Gambar L27. Tampilan data format .csv pada *Microsoft Excel*

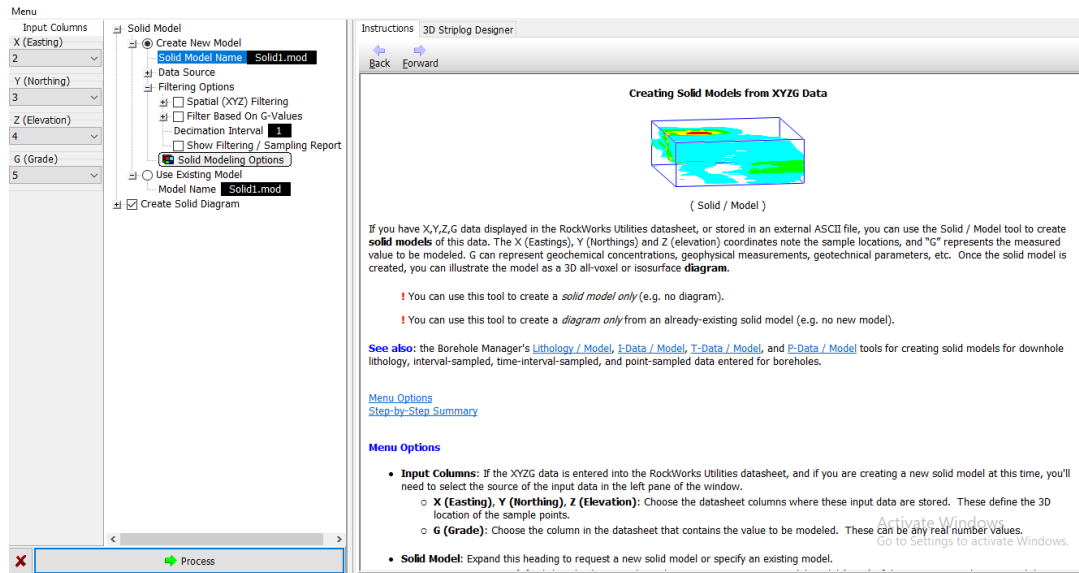
H. Membuat *Solid Model 3D* Persebaran Nilai V_s dengan *Rockworks15*

1. Membuka *Rockworks15*.
2. *Input* data koordinat, ketebalan (*depth*), dan nilai V_s . Kemudian pilih *scan Datasheet* → *Scan for XYZ-data* → *Process*. Maka akan tampil seperti Gambar L28.



Gambar L28. Tampilan *input* data pada *data sheet*.

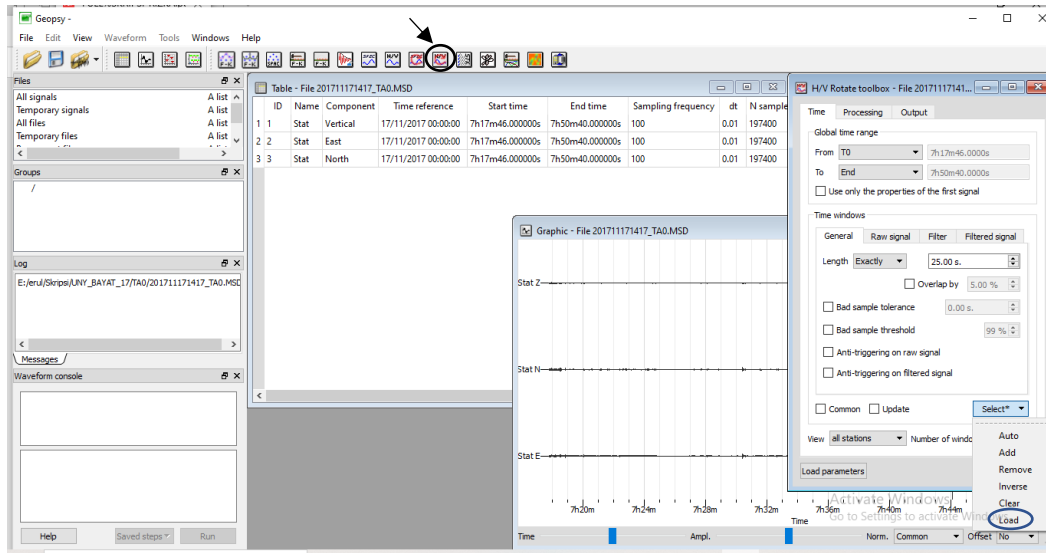
- Memilih menu *Solid* → *Model* → *Process*. Kemudian mengklik *Solid Model* → *Create New Model* untuk membuat pemodelan yang baru lalu memilih *Solid Model Name* simpan dalam format *.mod*. Maka akan tampil seperti Gambar L29.



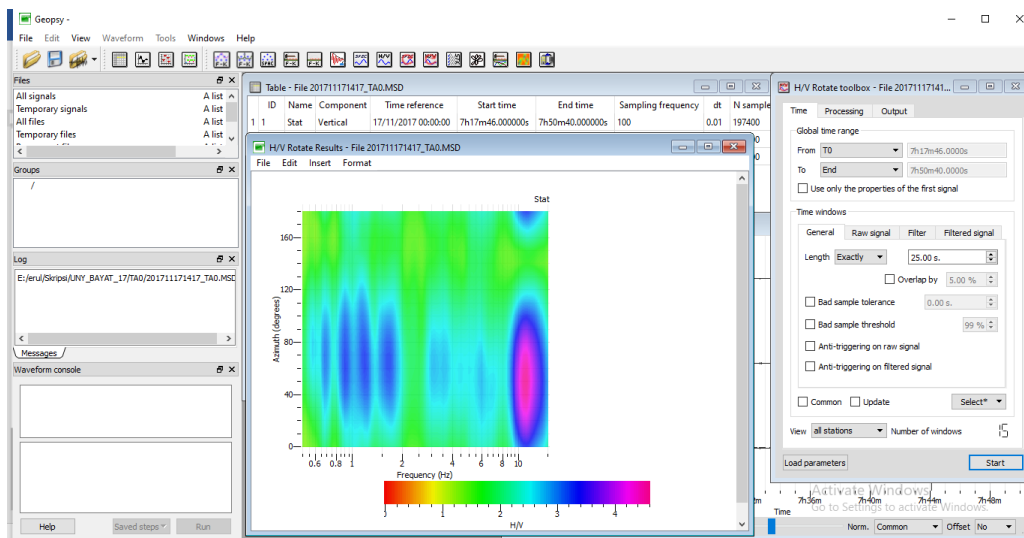
Gambar L29. Tampilan *Create New Model*

I. Menganalisis Arah Orientasi Sesar dengan Metode *H/V Rotate*

- Membuka *Software Geopsy*.
- Memilih menu *file* → *Import data* → *Load signal* → *Open*. Membuka *file* dengan format *.MSD*.
- Memilih menu *H/V rotate* pada *toolbar* yang tersedia, sehingga akan muncul seperti Gambar L30.
- Setelah memilih menu *H/V rotate* selanjutnya memilih *select* → *Load* → *Open*, maka akan muncul spektrum *H/V* yang ditunjukkan pada Gambar L31.
- Untuk menyimpan spektrum *H/V* dengan cara klik kanan pada area kontur pilih *ekspor value* kemudian tuliskan nama *file* dan pilih *save* untuk menyimpan dengan format *.hv*.



Gambar L30. Tampilan *input data log*

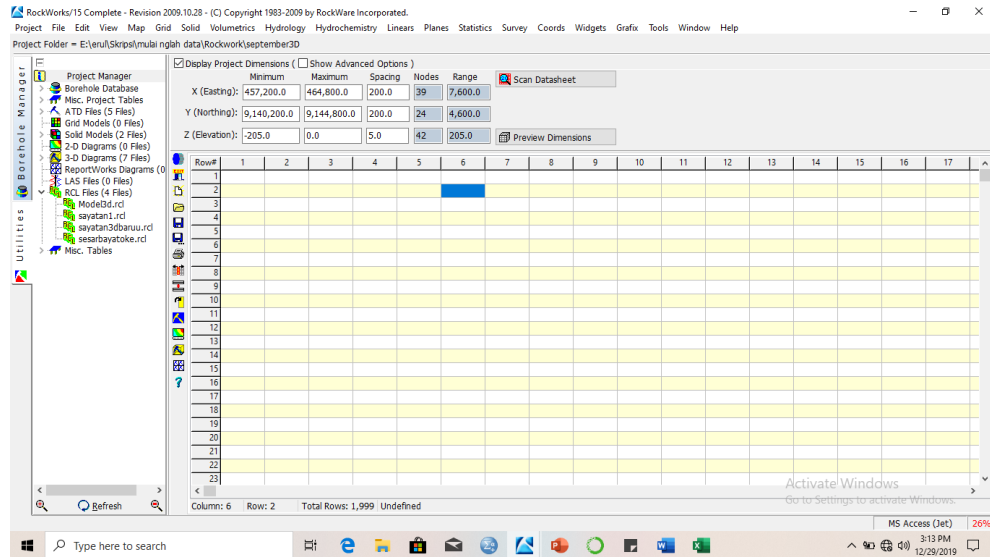


Gambar L31. Tampilan Spektrum *H/V*

J. Analisis Orientasi Sesar dengan Pemodelan *Rose Diagram*

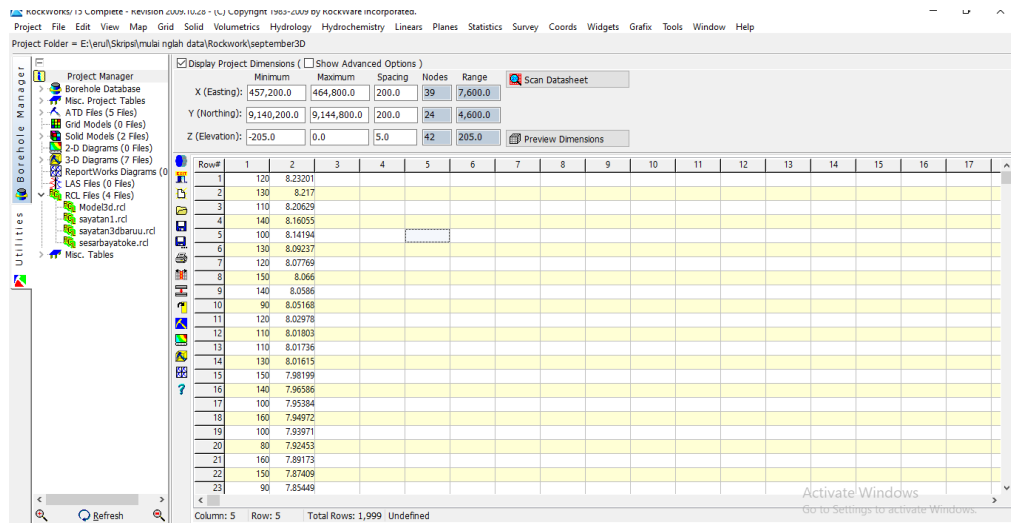
Langkah-langkahnya sebagai berikut :

1. Membuka *icon Rockworks15*. Maka akan tampil seperti Gambar L32.



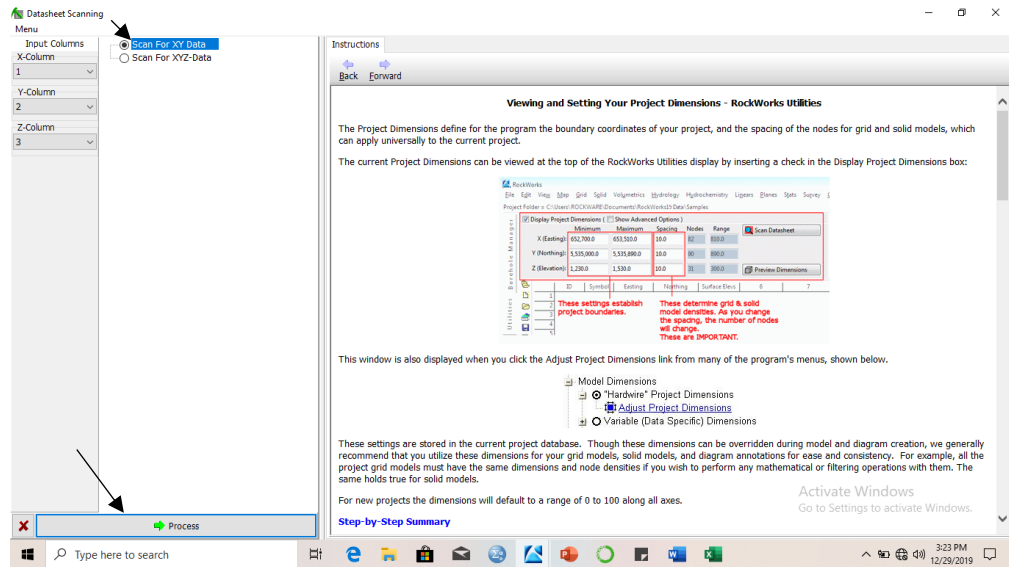
Gambar L32. Tampilan awal *Rockworks15*

2. Menginput data dalam format *.hv* hasil dari analisis *H/V rotate* yang sudah disalin pada *Microsoft Excel*.



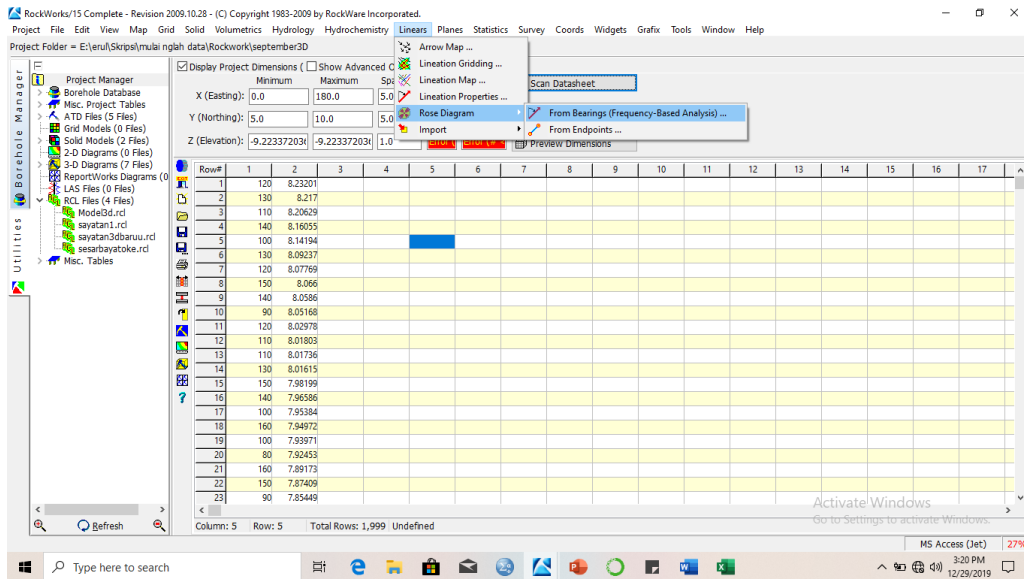
Gambar L33. Tampilan *input data* dari *Microsoft Excel*

3. Kemudian pilih *scan datasheet* → *Scan for X-Y data* → *Proces*. Proses ini ditunjukkan pada Gambar L34.



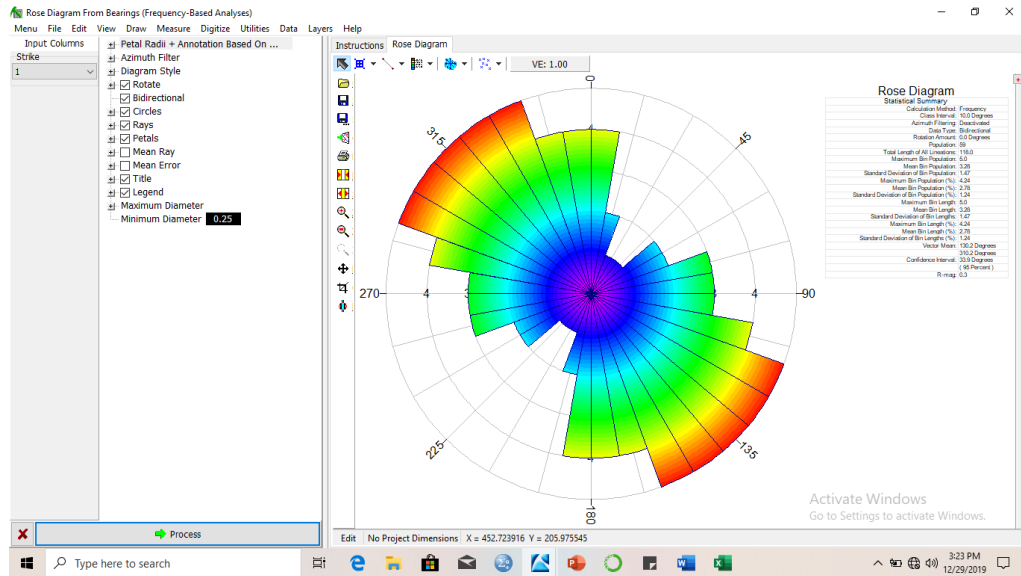
Gambar L34. Tampilan Scan datasheet

4. Memilih menu *linears* → *Rose Diagram* → *From Bearing*. Maka akan tampil seperti Gambar L35.



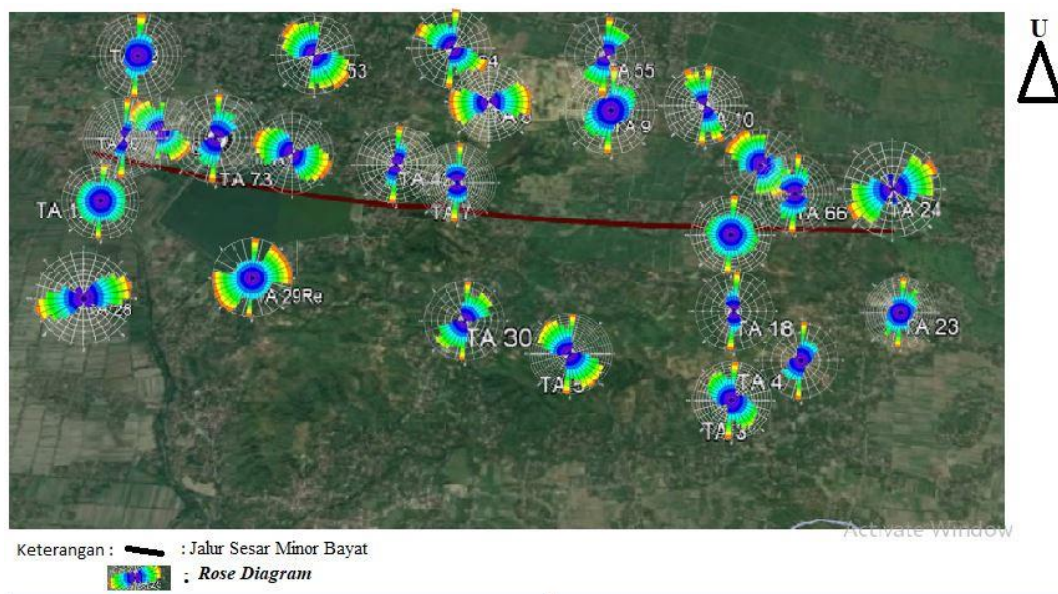
Gambar L35. Tampilan proses pengolahan *rose diagram*

5. Setelah proses no. 4 selesai kemudian klik *Process*, maka akan tampil *diagram rose* seperti yang ditunjukkan pada Gambar L36.



Gambar L36. Tampilan *Diagram rose* hasil pemodelan arah orientasi sesar

6. Untuk menyimpan gambar *rose diagram* caranya dengan memilih *file* → *Export*, simpan dalam format *.jpg*.
7. Lakukan proses 1-6 pada semua titik penelitian.
8. Selanjutnya membuka *Microsoft Word* atau *Microsoft Power Point* untuk menggabungkan hasil *diagram rose* dengan peta geologi beserta garis sesarnya. Maka akan tampil seperti Gambar L37.



Gambar L37. Tampilan Penggabungan *rose diagram*