

**LITOLOGI BAWAH PERMUKAAN BERDASARKAN KECEPATAN
GELOMBANG GESER DENGAN METODE ELLIPTICITY CURVE DI
KECAMATAN BAYAT KABUPATEN KLATEN**

SKRIPSI

**Diajukan kepada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta
Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan Guna Memperoleh Gelar Sarjana
Sains**



**Oleh :
HANIF IRHAM FATHULLAH
NIM. 14306141026**

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

HALAMAN PERSETUJUAN

LEMBAR PERSETUJUAN

Tugas Akhir Skripsi dengan Judul

**Litologi Bawah Permukaan Berdasarkan Kecepatan Gelombang dengan Metode
Ellipticity Curve di Kecamatan Bayat Kabupaten Klaten**

Disusun oleh:

Hanif Irham Fathullah

NIM 14306141026

telah memenuhi syarat dan disetujui oleh Dosen Pembimbing untuk dilaksanakan

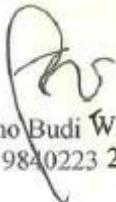
Ujian Akhir Skripsi bagi yang bersangkutan

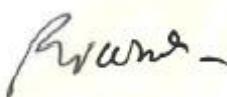
Yogyakarta, Januari 2020

Menyetujui,

Pembimbing I

Pembimbing II


Nugroho Budi Wibowo, M.Si
NIP. 19840223 200811 01 1011


Bambang Ruwanto, M.Si
NIP. 19651225 199101 1001

Mengetahui,
Ketua Program Studi Fisika


Dr. Warsono, M.Si
NIP. 19681101 199903 1002

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir Skripsi dengan judul

LITOLOGI BAWAH PERMUKAAN PERMUKAAN BERDASARKAN KECEPATAN GELOMBANG GESER DENGAN METODE ELLIPTICITY CURVE DI KECAMATAN BAYAT KABUPATEN KLATEN

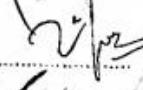
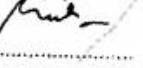
Disusun oleh:

Hanif Irham Fathullah
NIM 14306141026

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

Pada tanggal 23 Januari 2020

Tim Pengaji

Nama	Jabatan	Tanda Tangan	Tanggal
<u>Nugroho Budi W. M.Si</u> NIP. 19840223 20081 1 011	Ketua Pengaji		24 Januari 2020
<u>Laila Katriani, M.Si</u> NIP. 198504152 201212 2 001	Pengaji Utama		24 Januari 2020
<u>Bambang Ruwanto, M.Si</u> NIP. 19651225 199101 1 001	Sekretaris		24 Januari 2020

Yogyakarta, 24 Januari 2020

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA



PROF. DR. Ariswan, M.Si
NIP. 19590914 198803 1 003

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Hanif Irham Fathullah
NIM : 14306141026
Program Studi : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Judul Skripsi : Litologi Bawah Permukaan Berdasarkan Kecepatan Gelombang Geser Dengan Metode *Ellipticity Curve* di Kecamatan Bayat

Menyatakan bahwa karya tulis ini merupakan hasil 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 saya tidak benar, sepenuhnya merupakan tanggung jawab saya.

Yogyakarta, Januari 2020

Yang menyatakan

Hanif Irham Fathullah
14306141026

MOTTO

“Tanggungjawab atas keputusan yang telah diambil”

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan ijin-Nya, karya ini kupersembahkan untuk:

- Bapak (Fathullah) dan Mama (Sarofah) selaku orangtua yang tidak pernah berhenti mendoakan, memberikan semangat dan motivasi untuk keberhasilan anaknya. Semoga selalu dalam lindungan-Nya.
- Adik-adik tersayang yaitu Dian dan Lulu yang senantiasa memberikan dukungan dan doa nya.
- Untuk diriku sendiri yang telah mampu berjuang sampai tahap ini.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang senantiasa melimpahkan karunia dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“LITOLOGI BAWAH PERMUKAAN BERDASARKAN KECEPATAN GELOMBANG GESER DENGAN METODE ELLIPTICITY CURVE DI KECAMATAN BAYAT KABUPATEN KLATEN”** untuk memperoleh gelar sarjana di Universitas Negeri Yogyakarta.

Penulisan skripsi ini tak lepas dari bantuan, bimbingan, serta arahan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Sutrisna Wibawa, M.Pd selaku Rektor Universitas Negeri Yogyakarta
2. Bapak Nugroho Budi Wibowo, M.Si sebagai dosen pembimbing I yang selalu sabar memberikan masukan, bimbingan, arahan, dan ikhlas meluangkan waktu di sela-sela kesibukannya, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
3. Bapak Bambang Ruwanto, M.Si sebagai dosen pembimbing II dan dosen Penasehat Akademik (PA) yang telah membimbing serta banyak memberikan motivasi agar secepatnya menyelesaikan tanggungjawabnya, terimakasih untuk semangatnya selalu.

4. Bapak Denny Darmawan, M.Sc sebagai dosen fisika yang telah mengenalkan dan memberikan banyak hal terkait ilmu geofisikn, serta arahan dan masukan untuk penelitian ini.
5. Seluruh Dosen Prodi Fisika yang telah banyak memberikan ilmu pengetahun yang bermanfaat.
6. Semua Staff dan Laboran Prodi Fisika UNY yang selalu membantu dan menyediakan fasilitas
7. Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika yang telah memfasilitasi dan mengijinkan untuk melakukan penelitian
8. Pemerintah Kabupaten Klaten dan Kementerian Pekerjaan Umum yang telah memberikan izin untuk melakukan penelitian di Kecamatan Bayat.
9. Tim Kecebong (Rofiki, Khoerul Muna) yang telah solid berjuang bersama dari survey lokasi, ambil data, analisis data, hingga skripsi ini selasai.
10. Teman-teman Fisika B yang memberikan dukungan, pendampingan, dan semangat selama menempuh studi di Prodi Fisika.
11. Teman-teman Geofisika UNY yang telah membantu sehingga skripsi ini dapat diselesaikan
12. Serta semua pihak yang tidak bisa saya sebutkan satu per satu yang telah membantu penyusunannya tugas akhir baik langsung maupun tidak langsung.

Semoga segala bantuan yang telah Bapak/Ibu/Saudara berikan mendapatkan balasan yang lebih dari Allah SWT. Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini tentu masih sangat jauh dari kata sempurna, maka dari itu sangat diperlukan saran dan kritik yang bersifat membangun memperbaiki tugas akhir ini. Semoga karya ini memberikan manfaat bagi masyarakat dan ilmu pengetahuan. Aamiin.

Wassalamua'alykum Wr. Wb.

Yogyakarta, Januari 2020

Yang menyatakan

Hanif Irham Fathullah

14306141026

**LITOLOGI BAWAH PERMUKAAN BERDASARKAN KECEPATAN
GELOMBANG GESER DENGAN METODE ELLIPTICITY CURVE
DI KECAMATAN BAYAT KABUPATEN KLATEN**

Oleh
Hanif Irham Fathullah

14306141026

ABSTRAK

Penelitian mengenai litologi bawah permukaan telah dilakukan dengan tujuan untuk mikrozonasi suatu wilayah yang dilihat dari frekuensi predominan (f_0) dan faktor amplifikasi (A_0) dan untuk menentukan nilai kecepatan gelombang geser (v_s) serta litologi permukaan di Kecamatan Bayat Kabupaten Klaten.

Data penelitian diperoleh melalui pengukuran mikrotremor. Data mikrotremor diambil di 29 titik pengukuran dengan jarak antar titik sejauh 1 km. Data ini diolah menggunakan metode HVSR untuk memperoleh nilai frekuensi dan amplifikasi. Nilai frekuensi dan amplifikasi menjadi input dalam pengolahan dengan metode *ellipticity curve* menggunakan *software* dinver sehingga diperoleh pemodelan *ground profiles* yang menyatakan nilai kecepatan gelombang geser (v_s).

Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa nilai f_0 di Kecamatan Bayat berkisar 0,55 Hz – 13,5 Hz dan nilai A_0 berkisar 2,20 – 27,60. Litologi bawah permukaan terbagi menjadi enam zona berdasarkan formasi yang terdapat di titik pengukuran. Untuk zona I (Formasi Merapi Muda) dari 13 titik pengukuran persebaran nilai v_s pada *layer* pertama memiliki rentang nilai 142,3 m/s – 337,4 m/s dan untuk *layer* terakhir memiliki rentang nilai 929,8 m/s – 2.450,8 m/s. Zona II (Formasi Batuan Malihan) dari 5 titik pengukuran persebaran nilai v_s pada *layer* pertama memiliki rentang nilai 180,7 m/s – 297,3 m/s dan untuk *layer* terakhir memiliki rentang nilai 1.750,2 m/s – 2.190,9 m/s. Zona III (Formasi Wonosari-Punung) dari 6 titik pengukuran persebaran nilai v_s pada *layer* pertama memiliki rentang nilai 225,1 m/s – 687,1 m/s dan untuk *layer* terakhir memiliki rentang nilai 1.153,2 m/s – 2.841,3 m/s. Zona IV (Formasi Alluvium Tua) dari 3 titik pengukuran persebaran nilai v_s pada *layer* pertama memiliki rentang nilai 152,8 m/s – 596,2 m/s dan untuk *layer* terakhir memiliki nilai 1.638 m/s – 2.203,4 m/s. Zona V (Formasi Gunung Wungkal) memiliki 1 titik pengukuran pada *layer* pertama 277,9 m/s dan untuk *layer* terakhir memiliki nilai 1.543,4 m/s. Zona VI (Formasi Diorit Pindul) memiliki 1 titik pengukuran pada *layer* pertama 276,1 m/s dan untuk *layer* terakhir memiliki nilai 765,2 m/s.

Kata Kunci: litologi bawah permukaan, kecepatan gelombang geser, Mikrozonasi, *ellipticity curve*

**SUBSURFACE LITHOLOGY BASED ON WAVE VELOCITY USING
ELLIPTICITY CURVE METHOD IN BAYAT SUBDISTRICT OF KALTEN
REGENCY**

By
Hanif Irham Fathullah

14306141026

ABSTRACT

The research on subsurface lithology has been conducted with the aims to determine microzonation of an area which is seen from predominant frequency (f_0) and amplification factor (A_0) and determine the value of shear wave velocity (v_s) and the subsurface lithology in Bayat Subdistrict at Kliten Regency.

Data were obtained by microtremor measurement. Microtremor data were measured from 29 locations with distance interval of 1 kilometers for each. The microtremor data was analyzed using Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVS) method to get predominant frequency and amplification factor value. The value of frequency and amplification became the input in processing with *ellipticity curve* method using dinver software to obtain the ground profiles that show the value of shear wave velocity (v_s).

This result of the showed that f_0 value for Bayat Subdistrict are ranging from 0,55 – 13,5 Hz and A_0 value are ranging 2,20 – 27,60. The Surface Lithology divided into six zone that can be classified based on its geological formation, zone I (Merapi Muda Formation) consists of 13 measurement points v_s value on the first layer are ranging from 142,3 m/s – 337,4 m/s and from 929,8 m/s – 2.450,8 m/s for the last layer. Zone II (Batuan Malihan Formation) consists of 5 measurement points v_s value on the first layer are ranging from 180,7 m/s – 297,3 m/s and from 1.750,2 m/s – 2.190,9 m/s for the last layer. Zone III (Wonosari-Punung Formation) consists of 6 measurement points v_s value on the first layer are ranging from 225,1 m/s – 687,1 m/s and from 1.153,2 m/s – 2.841,3 m/s for the last layer. Zone IV (Alluvium Tua Formation) consists of 3 measurement points v_s value on the first layer are ranging 152,8 m/s – 596,2 m/s and from 1.638 m/s – 2.203,4 m/s for the last layer. Zone V (Gunung Wungkal Formation) consists of 1 measurement points v_s value of 277,9 m/s and the last layer has v_s value of 1.543,4 m/s. Zone VI (Diorit Pindul Formation) consists of 1 measurement points v_s value of 276,1 m/s and the last layer has v_s value of 765,2 m/s.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
SURAT PERNYATAAN.....	iv
MOTTO	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR	vii
ABSTRAK	x
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
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
KAJIAN PUSTAKA.....	10
A. Dasar Teori.....	10
1. Gelombang	10
2. Gelombang Seismik	12
3. Mikrotremor	15
4. Gempa Bumi.....	17
5. Metode HVSR dan Eliptcity Curve	20
6. Litologi	26
7. Transformasi Fourier	28

8.	Kondisi Geologi Kecamatan Bayat.....	28
9.	Kerangka Berfikir.....	30
BAB III		31
METODE PENELITIAN.....		31
A.	Waktu dan Tempat Penelitian	31
B.	Instrumen Penelitian.....	31
C.	Teknik Pengambilan Data	32
D.	Teknik Analisis Data.....	36
E.	Menganalisis Sinyal dengan Fast Fourier Transform (FFT).....	37
F.	Menganalisis kurva H/V menggunakan metode ellipticity curve	40
G.	Pemodelan Litologi dengan software Rockwork15	41
H.	Diagram Alir Penelitian	42
BAB IV		43
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN		43
A.	Mikrozonasi Frekuensi Predominan dan Faktor Amplifikasi	43
B.	Metode Ellipticity Curve.....	48
C.	Ground Profiles <i>vs</i> dan Litologi Bawah Permukaan	50
BAB V.....		58
KESIMPULAN DAN SARAN.....		58
DAFTAR PUSTAKA		60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Grafik Bencana Alam Tahun 2007 s.d. 2017 (BNPD, 2018).....	2
Gambar 2. Peta Geologi Kabupaten Klaten (BAPPEDA, 2017)	3
Gambar 3. Peta Gerakan Tanah Kabupaten Klaten (BAPPEDA, 2017).....	4
Gambar 4. Gelombang P (Elnashai dan Sarno, 2008: 10)	12
Gambar 5. Gelombang S (Elnashai dan Sarno, 2008: 10)	12
Gambar 6. (a) Ilustrasi gelombang <i>Rayleigh</i> (b) Ilustrasi gelombang <i>Love</i> ...	14
Gambar 7. Tampilan sinyal mikrotremor di Kecamatan Bayat	16
Gambar 8. Ilustrasi Gerakan Lempeng Bumi (Thomson, 2006).....	17
Gambar 9. Desain Awal Titik Pengukuran	32
Gambar 10. Peta Titik Pengukuran Mikrotremor di Kecamatan Bayat	33
Gambar 11. Contoh Pemilihan Sinyal pada Titik TA 0k	36
Gambar 12. Kurva HVSR pada Titik TA 9K.....	37
Gambar 13. (a) <i>Ellipticity curve</i> (b) <i>ground profiles</i> dari <i>vs</i>	39
Gambar 14. Pemodelan Tampilan <i>Multilog</i>	40
Gambar 15. Diagram Alir Penelitian.	41
Gambar 16. Mikrozonasi Frekuensi Predominan di Kecamatan Bayat	44
Gambar 17. Mikrozonasi Amplifikasi di Kecamatan Bayat	47
Gambar 18. Kurva dari metode <i>ellipticity curve</i>	48
Gambar 19. <i>Ground Profile vs</i> dengan variasi lapangan (a) <i>ground profiles vs</i> untuk 3 lapisan (b) <i>ground profiles vs</i> untuk 4 lapisan (c) <i>ground profiles vs</i> untuk 5 lapisan.	49
Gambar 20. Tampilan <i>Multilog</i> 3D Zona I Formasi Merapi Muda	52
Gambar 21. Tampilan <i>Multilog</i> 3D Zona II Formasi Batuan Malihan	53
Gambar 22. Tampilan <i>Multilog</i> 3D Zona III Formasi Wonosari-Punung	54
Gambar 23. Model 3D berdasarkan jenis tanah (a) model <i>full</i> litologi (b) model 3D tanpa lapisan tanah (c) model 3D tanpa tanah dan batuan lunak (d) model 3D batuan keras.....	54
Gambar 24. Sayatan persebaran kecepatan gelombang geser	56

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Kategori Kerusakan Bangunan	18
Tabel 2. Nilai Perkiraan Angka poisson ratio	23
Tabel 3. Nilai Variasi Densitas Batuan	25
Tabel 4. Klasifikasi <i>Site</i> Berdasarkan nilai Vs SNI 176	26
Tabel 5. Nilai Gelombang P Pada Beberapa Medium	26
Tabel 6. Persyaratan Teknis Survei Mikrotrrmor di Lapangan	34
Tebel 7. Nilai <i>Threshold</i> Untuk Keadaan Stabil	38
Tabel 8. Klasifikasi Nilai Frekuensi Predominan	43
Tabel 9. Klasifikasi Nilai Faktor Amplifikasi	45
Tabel 10. Pengelompokkan Titik Pengukuran Berdasarkan Formasi Geologi di Kecamatan Bayat	50
Tabel 11. Interpretasi Nilai <i>vs</i> Formasi Merapi	50
Tabel 12. Interpretasi Nilai <i>vs</i> Formasi Batuan Malihan	50
Tabel 13. Interpretasi Nilai <i>vs</i> Formasi Wonosari-Punung	51
Tabel 14. Interpretasi Nilai <i>vs</i> Formasi Alluvium Tua	51
Tabel 15. Interpretasi Nilai <i>vs</i> Formasi Gamping-Wungkal	51
Tabel 16. Interpretasi Nilai <i>vs</i> Formasi Diorit	51

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel nilai Vs dan Litologi berdasarkan <i>Ground Profiles</i>	63
Lampiran 2. Kurva <i>ellipticity curve</i> dan <i>ground profiles</i> v_s	68
Lampiran 3. Pemodelan Data Log	78
Lampiran 4. Tahap-Tahap Pengolahan Data.....	86
Lampiran 5. Grafik HVSR.....	98
Lampiran 6. Dokumentasi Penelitian.....	109

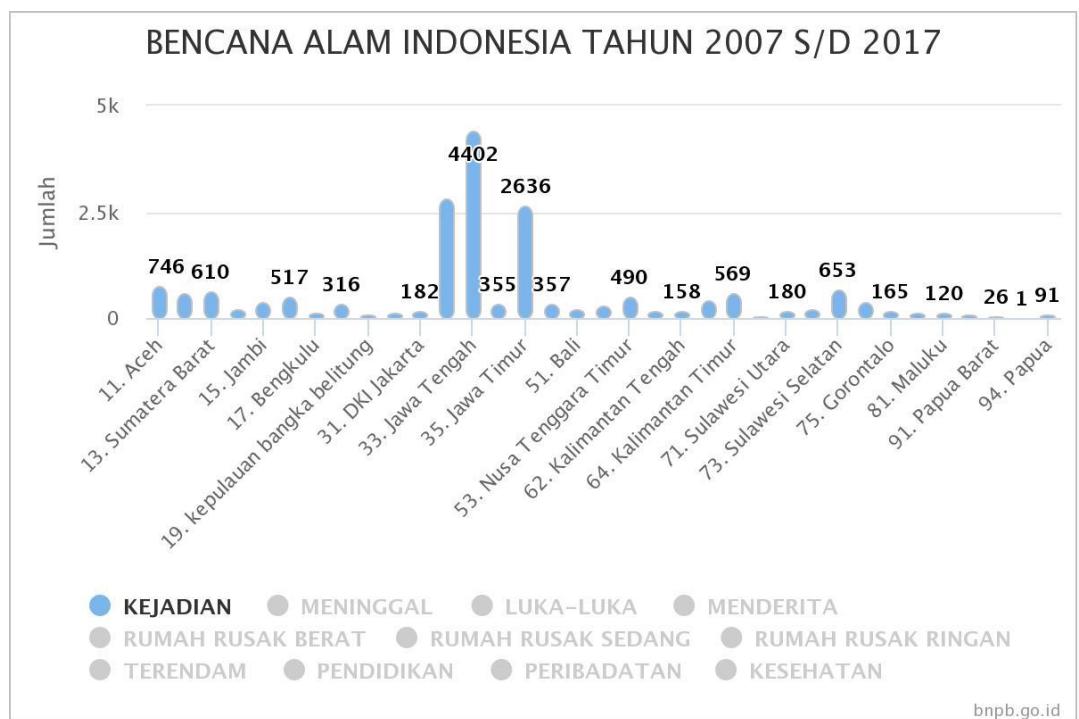
BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

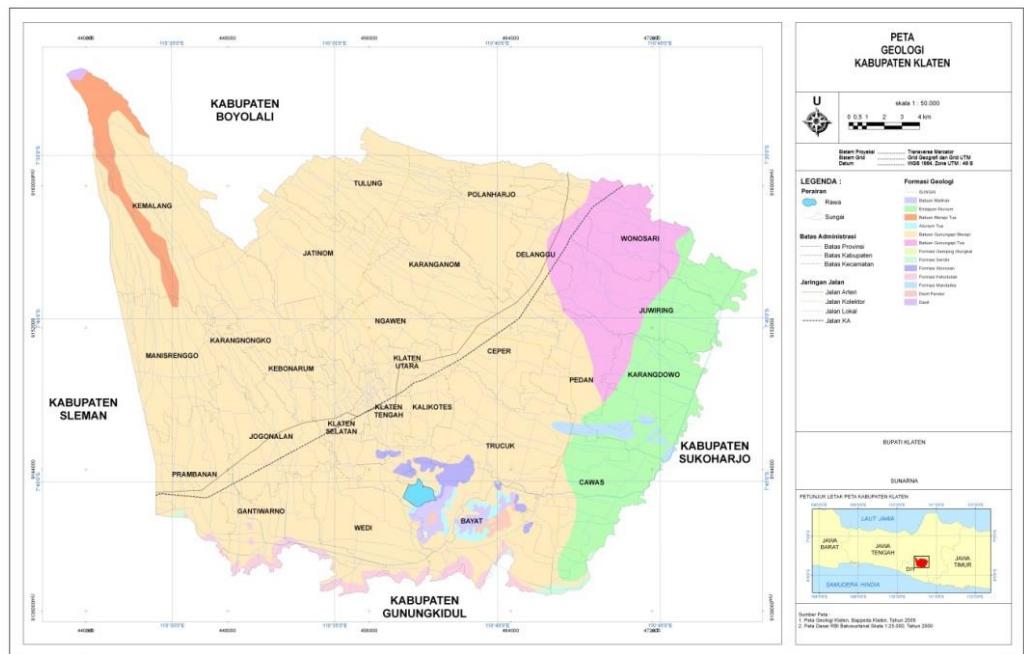
Indonesia merupakan negara dengan tingkat rawan bencana yang cukup besar. Menurut Arnold (1986), Indonesia menjadi salah satu negara dengan tingkat potensi gempa yang tertinggi di dunia, lebih dari 10 kali lipat tingkat kegempaan di Amerika Serikat. Hal ini tidak terlepas dari kondisi geografis Indonesia yang terletak pada pertemuan empat lempeng tektonik yaitu lempeng Benua Asia, lempeng Benua Australia, lempeng Samudera Hindia, dan Samudera Pasifik. Sejarah juga mencatat, selama kurun waktu 1.600 – 2.000 tahun terdapat 1.500 kejadian tsunami, 90% di antaranya disebabkan oleh gempa tektonik, 9% letusan gunung berapi, dan 1% tanah longsor (BAPPENAS, 2009).

Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) menyatakan bahwa Provinsi Jawa Tengah dalam 10 tahun terakhir menempati peringkat pertama se-Indonesia dalam jumlah kejadian bencana alam. Berdasarkan Data Informasi Bencana Indonesia (DIBI) dapat diketahui bahwa Provinsi Jawa Tengah memiliki jumlah kejadian bencana alam terbanyak yang diikuti oleh Provinsi Jawa Timur (Gambar 1). Informasi ini penting untuk mengetahui lebih lanjut mengenai kondisi lingkungan yang mempengaruhi bencana alam, khususnya wilayah Kabupaten Klaten, Jawa Tengah.



Gambar 1. Grafik Bencana Alam Tahun 2007 s.d. 2017 (BNPB, 2018)

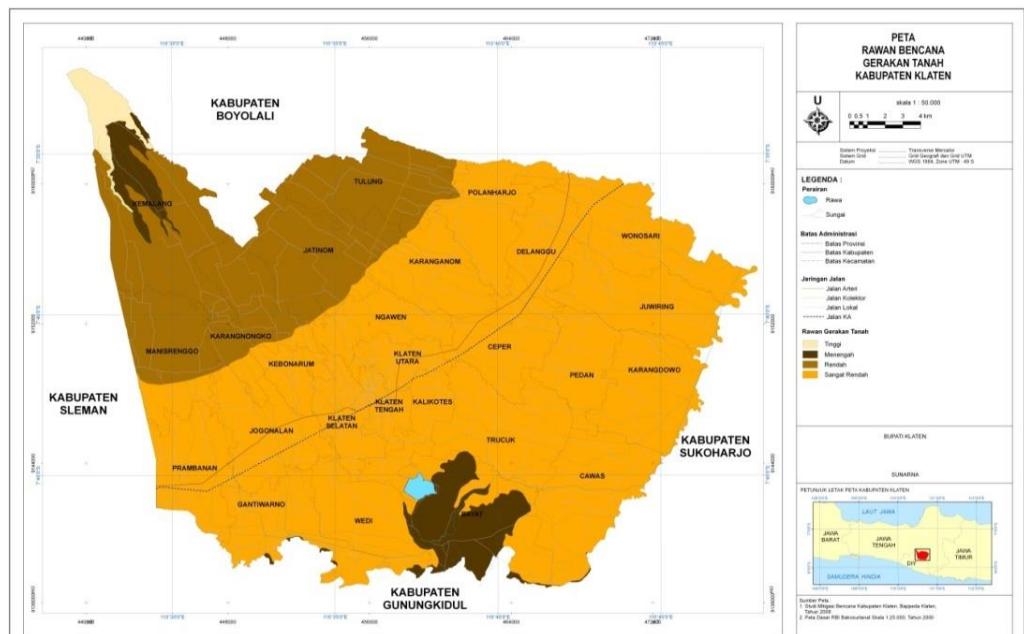
Kabupaten Klaten terletak antara $110^{\circ}26'14''$ BT – $110^{\circ}47'51''$ BT dan $7^{\circ}32'19''$ LS – $7^{\circ}48'33''$ LS dengan ketinggian sekitar 100 m – 500 m di atas permukaan laut. Wilayah Kabupaten Klaten terbagi menjadi tiga dataran yaitu wilayah lereng Gunung Merapi di bagian utara yang meliputi sebagian kecil Kecamatan Kemalang, Karangnongko, dan Jatinom; wilayah dataran di bagian tengah meliputi Kecamatan Kalikotes, Wedi, Prambanan, Jogonalan, Gantiwarno, Delanggu, Wonosari, Juwiring, Ceper, Pedan, Karangdowo, Trucuk, Cawas, Polanharto, Ngawen, dan Kebonarum; serta wilayah berbukit di bagian selatan meliputi sebagian kecil Kecamatan Bayat, Cawas, dan sebagian Gantiwarno (Klatenkab.go.id). Kecamatan Bayat merupakan kecamatan terbesar kedua setelah Kecamatan Kemuning dengan luas wilayah $39,43 \text{ km}^2$.



Gambar 2. Peta Geologi Kabupaten Klaten (BAPPEDA, 2017)

Gambar 2 menunjukkan wilayah Kabupaten Klaten yang terdiri dari berbagai jenis formasi geologi, setiap formasi memiliki jenis batuan yang berbeda-beda. Jika terjadi gempa bumi, dampak kerusakan di setiap kecamatan berbeda tergantung pada penyusun litologi formasi tersebut. Berdasarkan Gambar 2, penyusun geologi Kecamatan Bayat terdiri dari berbagai formasi, antara lain: Formasi Wonosari-Punung, Aluvium Tua, Diorit Pendul, Batuan Malihan, Merapi Muda, dan Wungkal-Gamping. Susunan batuannya pun beragam. Apabila disederhanakan litologi penyusunnya meliputi lempung hitam, konglomerat, aglomerat, leleran lava, batu pasir tuff, batu lanau berlapis, batuan metamorf, batuan breksi, dan batu gamping. Dengan adanya jenis batuan tuff memiliki potensi bahaya lebih besar terhadap getaran tanah akibat amplifikasi dan interaksi getaran tanahnya (Nakamura, 2000).

Gempa bumi di Yogyakarta pada 27 Mei 2006 merupakan titik awal dari penelitian ini untuk menganalisis litologi daerah Kecamatan Bayat yang berhubungan dengan kecepatan gelombang geser. Bencana alam tersebut bukan hanya merusak daerah DIY saja, namun juga berdampak pada Kabupaten Klaten khususnya Kecamatan Bayat. Dari 16 desa di Kecamatan Bayat, sejumlah 3.447 rumah rusak total, 4.190 rumah rusak berat, dan 8.023 rumah rusak ringan (BAPPEDA, 2017).



Gambar 3. Peta Gerakan Tanah Kabupaten Klaten (BAPPEDA, 2017)

Tingkat kerusakan bangunan tergantung pada struktur bawah permukaan tanah, salah satunya dipengaruhi oleh kecepatan gelombang geser (v_s). Kecamatan Bayat merupakan kawasan yang memiliki tingkat rawan bencana oleh gerakan tanah dengan kategori menengah (Gambar 3). Hal ini berdampak pada tingginya potensi bencana alam, terutama gempa bumi. Untuk itu, perlu adanya metode dalam menganalisis nilai v_s sehingga dapat digunakan sebagai paramater

dalam interpretasi litologi bawah permukaan tanah. Melalui survey lapangan, salah satu metode yang dapat diterapkan di daerah Kecamatan Bayat yakni metode *elipticity curve*. *Elipticity curve* merupakan metode dengan menggunakan parameter seperti *poisson's ratio*, kecepatan gelombang geser, dan *density* digunakan untuk menentukan model bawah permukaan berupa nilai v_s dan kedalaman dari suatu lapisan. *Elipticity curve* dapat menjelaskan secara lebih spesifik kondisi bawah permukaan suatu wilayah. Metode ini diperoleh dari hasil pengukuran mikrotremor.

Mikrotremor merupakan getaran tanah dengan amplitudo skala mikrometer yang dapat ditimbulkan oleh peristiwa alam maupun buatan, seperti angin, gelombang laut, dan getaran kendaraan yang bisa menggambarkan kondisi geologi suatu wilayah (Arai & Tokimatsu, 2004). Hasil dari pengukuran tersebut berupa gelombang sinyal yang terdiri dari tiga komponen yakni dua komponen horizontal (Barat-Timur, Utara-Selatan) dan satu komponen vertikal. Dari data yang diperoleh, melalui metode *elipticity curve* didapatkan nilai kecepatan gelombang geser (v_s), dengan nilai yang berbeda sesuai dengan jenis batuan, sehingga dapat dijadikan salah satu parameter untuk mengetahui litologi bawah permukaan tanah.

Beberapa penelitian sebelumnya telah menjelaskan litologi bawah permukaan yang telah dilakukan oleh Surono (2008) yang meneliti mengenai litostratigrafi dan sedimentasi Formasi Kebo dan Formasi Butak di pegunungan Baturagung Jawa Tengah bagian selatan. Penelitiannya menunjukkan bahwa batuan pada Formasi Butak terendapkan pada suatu cekungan laut dalam hingga

dangkal yang diisi batuan gunung api, dibandingkan dengan bagian bawah Formasi Kebo. Novianita (2009) meneliti tentang struktur lapisan bawah permukaan menggunakan metode *ellipticity curve* di Yogyakarta. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa pada sisi barat daya dan barat laut Yogyakarta telah terjadi fase penutupan sedimen dengan nilai kecepatan gelombang geser antara 1.350 m/s dan 2.250 m/s.

Patimah (2017) meneliti mengenai nilai gelombang geser permukaan di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa litologi penyusun struktur bawah permukaan didominasi oleh abu dan tuff yang tebal pada zona Formasi Merapi Muda, konglomerat dan aglomerat yang cukup tebal di Formasi Kebobutak. Novia (2018) meneliti tentang analisis gerakan tanah di Desa Purwasari, Kabupaten Kulon Progo. Penelitiannya menunjukkan bahwa nilai frekuensi predominan dan faktor amplifikasi tinggi terdapat di kawasan tengah daerah penelitian dengan nilai berkisar 7,5 Hz – 9,1 Hz dan faktor amplifikasi 7,5 – 9,6. Penelitian tentang analisis litologi bawah permukaan berdasarkan *ground profiles* suatu wilayah dari hasil interpretasi nilai frekuensi kecepatan gelombang geser dengan metode *ellipticity curve* belum pernah dilakukan sebelumnya di Kecamatan Bayat, Kabupaten Klaten.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan pemaparan latar belakang di atas, maka dapat diidentifikasi masalah sebagai berikut:

1. Kecamatan Bayat mengalami banyak kerusakan bangunan akibat gempa bumi 27 Mei 2006 di Yogyakarta. Salah satu faktor disebabkan oleh kecepatan gelombang geser (v_s).
2. Kecamatan Bayat memiliki formasi yang cukup kompleks dibanding dengan kecamatan lain di Kabupaten Klaten.
3. Informasi mengenai litologi bawah permukaan tanah belum diketahui, ditandai dengan tidak adanya data bor di daerah Kecamatan Bayat, Kabupaten Klaten.

C. Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi sebagai berikut:

1. Data yang diambil berupa data mikrotremor dengan menggunakan *Digital Portable Seismograph* tipe TDL-303S.
2. Aturan dalam pengambilan data sesuai dengan SESAME *European Research Project* (Sesame, 2004).
3. Data yang diambil sebanyak 29 titik dengan jarak masing-masing titik 1 km.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan indentifikasi masalah di atas, maka dapat ditentukan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimanakah mikrozonasi nilai frekuensi predominan dan amplifikasi di Kecamatan Bayat, Kabupaten Klaten?

2. Berapakah nilai kecepatan gelombang geser (v_s) pada setiap lapisan bawah permukaan yang diwakili dengan titik pengambilan data pada Kecamatan Bayat, Kabupaten Klaten?
3. Bagaimanakah litologi bawah permukaan tanah dengan metode *elipticity curve* yang dipengaruhi oleh bedanya formasi dan batuan di Kecamatan Bayat, Kabupaten Klaten?

E. Tujuan Penelitian

Dari permasalahan di atas, tujuan penelitian ini adalah :

1. Mengetahui mikrozonasi nilai frekuensi predominan dan amplifikasi di Kecamatan Bayat, Kabupaten Klaten.
2. Mengetahui nilai v_s pada setiap lapisan bawah permukaan tanah yang diwakili dengan titik pengukuran di Kecamatan Bayat, Kabupaten Klaten.
3. Mengetahui litologi bawah permukaan tanah dengan metode elipticity curve di Kecamatan Bayat, Kabupaten Klaten.

F. Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat, di antaranya sebagai berikut:

1. Memberikan gambaran visual berupa mikrozonasi tentang daerah yang rawan terhadap gempa bumi di Kecamatan Bayat sehingga menjadi acuan dalam perencanaan pembangunan.
2. Memberikan informasi terkait litologi bawah permukaan tanah di Kecamatan Bayat, Kabupaten Klaten.

3. Memberikan wawasan terkait pentingnya mengetahui kecepatan gelombang geser (v_s) terhadap bangunan rumah yang dihuni.
4. Sebagai sumber referensi untuk akademisi maupun instansi yang akan mengembangkan penelitian ini.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

A. Dasar Teori

1. Gelombang

Gelombang adalah suatu gejala terjadinya penjalaran suatu gangguan melewati suatu medium, dimana setelah gangguan itu lewat keadaan medium kembali ke keadaan semula seperti sebelum gangguan itu datang (Tipler, 1998: 497). Menurut arah rambatnya dapat dibedakan menjadi dua yaitu :

a) Gelombang Longitudinal

Gelombang longitudinal adalah gelombang yang arah rambatnya sejajar dengan arah getaran. Contoh gelombang ini adalah gelombang bunyi.

b) Gelombang Transversal

Gelombang transversal adalah gelombang yang arah rambatnya tegak lurus dengan arah getaran. Contoh gelombang ini adalah gelombang cahaya.

Berdasarkan medianya, gelombang dibagi menjadi dua yaitu gelombang elektromagnetik dan gelombang mekanis. Gelombang elektromagnetik tidak memerlukan media atau zat perantara dalam perambatannya, sedangkan gelombang mekanis memerlukan zat perantara dalam perambatannya (Young & Freedman, 2003: 2). Gelombang memiliki sifat-sifat umum, yaitu: refleksi, refraksi, difraksi, polarisasi dan interferensi.

Pemantulan (refleksi) merupakan perubahan arah gerak rambat yang mengenai suatu medium. Hal ini mengakibatkan sudut datang sama dengan sudut pantul. Pada pembiasan (refraksi) berlaku hukum Snellius yaitu jika sinar datang dari medium kurang rapat ke medium lebih rapat, maka sinar dibelokkan mendekati garis normal dan sebaliknya.

Difraksi adalah penyebaran atau pembelokan gelombang saat gelombang tersebut dipotong suatu penghalang. Gejala difraksi terjadi akibat dari gelombang yang terdistorsi oleh suatu penghalang yang memiliki dimensi sebanding dengan panjang gelombang dari gelombang datang. Pola difraksi akan semakin jelas apabila ukuran dari penghalang itu mendekati panjang gelombang dari gelombang dari gelombang datang. Penghalang tersebut dapat berupa celah persegi maupun celah lingkaran (Allonso & Finn, 1994: 446).

Interferensi cahaya adalah perpaduan dua atau lebih sumber cahaya sehingga menghasilkan keadaan yang lebih terang (interferensi maksimum) dan keadaan yang gelap (interferensi minimum). Syarat terjadinya interferensi cahaya adalah cahaya tersebut harus koheren yaitu keadaan dua sumber cahaya atau lebih yang mempunyai frekuensi, amplitudo, dan beda fase yang tetap. Prinsipnya jika dua gelombang yang merambat dalam arah yang sama (hampir sama) dengan beda fase yang konstan terhadap waktu, maka dapat terjadi keadaan sedemikian rupa sehingga energinya tidak didistribusikan secara merata, tetapi pada titik-titik tertentu dicapai harga maksimum, dan pada titik lain dicapai harga minimum (Halliday & Resnick, 1978: 486).

2. Gelombang Seismik

Gelombang seismik merupakan gelombang mekanik yang merambat di dalam bumi, sehingga pada penjalarannya gelombang seismik memerlukan medium untuk merambat (Young & Freedman, 2003: 4). Gelombang seismik merambat pada suatu medium ke segala arah. Perambatan gelombang seismik bergantung pada elastisitas batuan. Oleh karena itu, kerusakan yang ditimbulkan gelombang ini tergantung pada jenis batuan penyusun.

Gelombang seismik terdiri dari dua jenis, yaitu gelombang badan (*body wave*) dan gelombang permukaan (*surface wave*).

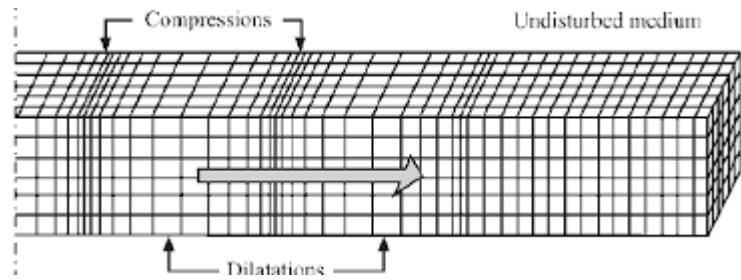
a. Gelombang Badan (*Body Wave*)

Gelombang badan merupakan gelombang yang menjalar dalam media elastik dan arah perambatannya ke seluruh bagian di dalam bumi. Berdasarkan gerak partikel pada media dan arah penjalarannya, gelombang ini dapat dibedakan menjadi gelombang P dan gelombang S.

1) Gelombang Primer (P)

Gelombang P disebut juga gelombang longitudinal, karena dapat menarik dan mendorong batuan. Gelombang ini memiliki kecepatan perambatan lebih cepat dibanding gelombang S sehingga akan terdeteksi pertama oleh sismograf.

Ilustrasi gerak gelombang P ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Gelombang P (Elnashai dan Sarno, 2008: 10)

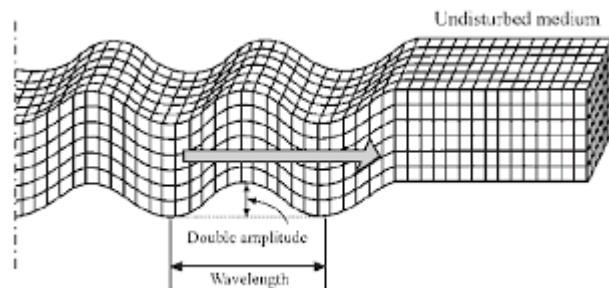
Kecepatan gelombang P ditunjukkan oleh persamaan (Elnashai dan Sarno, 2008):

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

dengan v_p adalah kecepatan gelombang (m/s), k adalah modulus Bulk (Pa), μ adalah modulus geser (Pa), dan ρ adalah densitas batuan (kg/m^3).

2) Gelombang Sekunder (S)

Gelombang sekunder disebut juga gelombang transversal, karena dapat menggerakkan batuan ke atas, bawah, kanan, dan kiri. Arah simpangan gelombang S tegak lurus terhadap arah rambatnya, seperti Gambar 5.



Gambar 5. Gelombang S (Elnashai dan Sarno, 2008: 10)

Gelombang ini kecepatannya lebih lambat menjalar daripada gelombang P. Kecepatan gelombang S adalah

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

dengan v_s adalah kecepatan gelombang (m/s), μ adalah rigiditas atau modulus geser (Pa), ρ adalah densitas batuan (kg/m^3).

b. Gelombang Permukaan (*Surface Wave*)

Gelombang permukaan merupakan gelombang yang kompleks dengan frekuensi yang rendah dan amplitudo yang besar menjalar pada permukaan bebas (Susilawati, 2008: 19). Terdapat dua jenis gelombang permukaan yaitu gelombang *Rayleigh* dan gelombang *Love*.

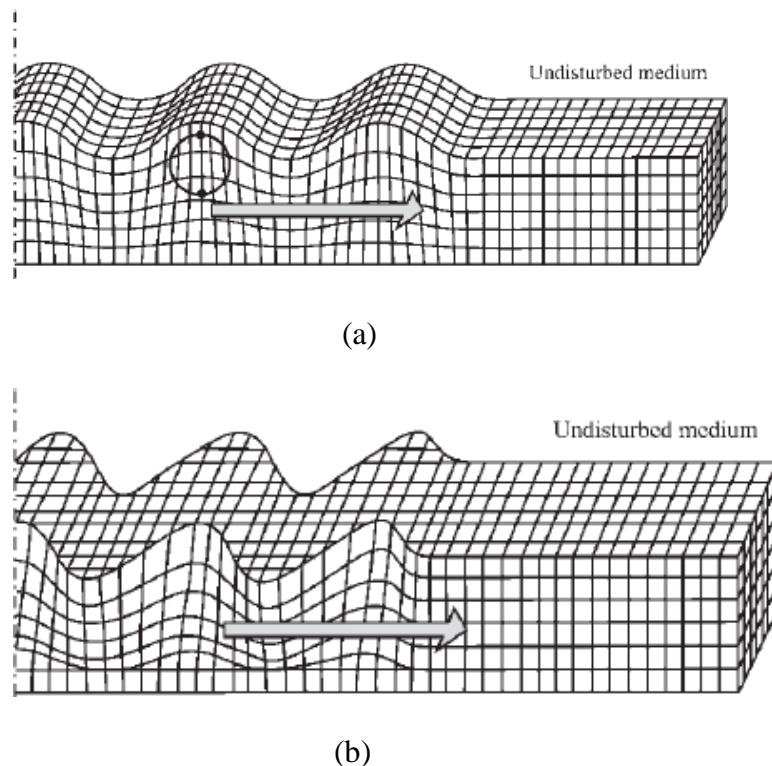
1) Gelombang *Rayleigh*

Gelombang *Reyleigh* merupakan gelombang permukaan yang orbit gerak partikelnya menyerupai elips serta tegak lurus dengan permukaan dan arah penjalarannya. Gelombang ini terjadi akibat adanya interferensi antara gelombang tekan dan gelombang geser secara konstruktif (Susilawati, 2008: 19).

2) Gelombang *Love*

Gelombang *Love* merupakan gelombang permukaan yang menjalar dalam bentuk gelombang transversal. Gelombang ini terbentuk akibat interferensi konstruktif dari pantulan-pantulan gelombang seismik. Ilustrasi gelombang *Love* dan gelombang *Rayleigh* ditunjukkan pada Gambar 6. Kecepatan penjalaran

gelombang *Love* bergantung pada panjang gelombang dan bervariasi di permukaan.



Gambar 6. (a) Ilustrasi gelombang *Rayleigh* (b) Ilustrasi gelombang *Love* (Elnashai dan Sarno, 2008: 13)

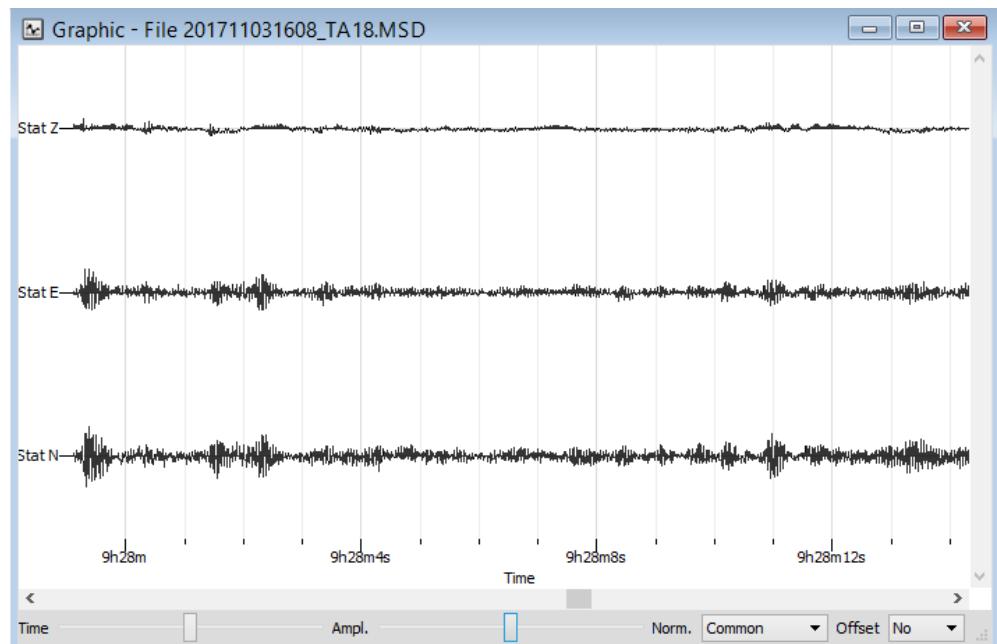
3. Mikrotremor

Mikrotremor merupakan getaran tanah yang memiliki amplitudo pergeseran sekitar $0,1 \mu\text{m}$ sampai $1 \mu\text{m}$ (Mirzaoglu & Dykmen, 2003: 146). Menurut Tokimatsu (2004), getaran tanah dengan amplitudo mikrometer ditimbulkan oleh alam maupun buatan, seperti angin, gelombang laut, atau getaran kendaraan yang bisa menggambarkan kondisi geologi suatu wilayah dekat permukaan.

Berdasarkan rentang periodenya, mikrotremor terbagi menjadi mikrotremor periode pendek dan mikrotremor periode panjang. Mikrotremor periode pendek (kurang dari satu detik), hanya terkait pada struktur bawah permukaan yang dangkal dengan ketebalan beberapa puluh meter. Sementara itu, mikrotremor periode panjang (lebih dari satu detik), terkait dengan struktur tanah yang lebih dalam menuju ke dasar batuan keras (Mirzaoglu & Dykmen, 2003: 146).

Karakteristik permukaan tanah dapat diketahui berdasarkan frekuensi predominan dan amplifikasi. Frekuensi predominan merupakan frekuensi yang kerap kali muncul sehingga dapat dikatakan mewakili frekuensi dari daerah tersebut. Frekuensi rendah memiliki sifat batuan lunak. Amplifikasi merupakan perbesaran gelombang seismik yang terjadi akibat adanya perbedaan karakter signifikan antar lapisan. Nilai amplifikasi bisa bertambah jika batuan telah mengalami deformasi.

Luaran data pengukuran berupa getaran dalam fungsi waktu. Sinyal mikrotremor ini terdiri dari satu komponen vertikal dan dua komponen horizontal (utara-selatan dan barat-timur). Gambar 7 menjelaskan bahwa spektrum Z satu komponen vertikal, spektrum E (Barat-Timur), dan spektrum N (Utara-Selatan). Litologi lebih keras memiliki resiko yang lebih rendah bila diguncang gempa bumi, karena jika litologi yang lunak akan mengalami penguatan gelombang yang lebih besar.

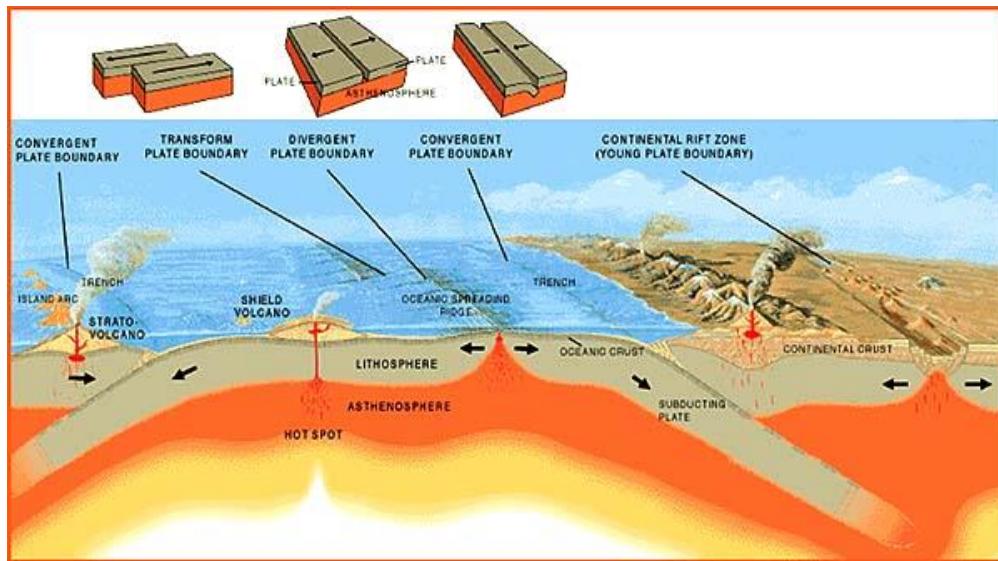


Gambar 7. Tampilan sinyal mikrotremor di Kecamatan Bayat.

4. Gempa Bumi

Gempa bumi merupakan berguncangnya bumi yang diakibatkan oleh adanya patahan aktif, aktivitas gunung api, runtuhan batuan, dan tumbukan akibat pergerakan lempeng bumi. Gerakan lempeng ini menimbulkan pengumpulan energi yang berlangsung terus-menerus sampai pada suatu saat batuan pada lempeng tektonik tersebut tidak lagi kuat menahan gerakan (ESDM, 2017).

Ilustrasi gerakan lempeng bumi ditunjukkan Gambar 8. Pergerakan ini disebabkan oleh tenaga endogen. Tenaga endogen adalah tenaga dari dalam bumi yang sifatnya membentuk permukaan bumi tidak rata sehingga menyebabkan perubahan pada kulit bumi. Berdasarkan parameternya, gempa bumi dapat diklasifikasikan menjadi:



Gambar 8. Ilustrasi Gerakan Lempeng Bumi (Thomson, 2006)

a. Hiposentrum

Hiposentrum (pusat gempa bumi) adalah tempat terjadinya perubahan lapisan batuan. Howell (1969) membagi jenis gempa berdasarkan kedalaman hiposentrum :

1. Gempa dangkal, pusatnya kurang dari 70 km
2. Gempa sedang, pusatnya 70 km – 300 km
3. Gempa dalam, pusatnya 300 km – 700 km

b. Episentrum

Episentrum adalah tempat di permukaan bumi yang letaknya terdekat terhadap hiposentrum. Letak episentrum tegak lurus dengan hiposentrum dan sekitar daerah ini merupakan wilayah paling besar merasakan gempa bumi.

c. *After Shock*

After Shock merupakan suatu yang mempengaruhi terjadinya gempa bumi lain karena lokasinya berdekatan dengan gempa bumi.

d. Intensitas

Intensitas atau kekuatan gempa bumi diukur dengan suatu alat yang dinamakan seismograf. Data hasil catatan seismograf yang berupa grafik dinamakan seismogram.

Akibat langsung yang dirasakan ketika terjadi gempa bumi adalah kerusakan bangunan. Kerusakan dapat berupa kerusakan rumah, jalan raya, gedung bertingkat, rel kereta api, dan lain sebagainya. Seringkali ditambah korban luka-luka dan korban jiwa akibat tertimpa bahan bangunan. Menurut Pamungkas (2006), kerusakan bangunan terbagi menjadi tiga kategori yaitu roboh, rusak berat, dan rusak sedang (Tabel 1).

Tabel 1. Kategori Kerusakan Bangunan (Pamungkas, 2006)

No	Kategori Kerusakan	Kriteria Kerusakan	Uraian
1.	Roboh	Bangunan roboh atau sebagian besar komponen struktur rusak	Bangunan roboh total; Atap runtuh; Sebagian besar dinding dan langit-langit roboh; Instalasi listrik rusak total; Pintu/Jendela rusak total.

2.	Rusak Berat	Bangunan masih berdiri, sebagian kecil komponen struktur rusak, dan komponen arsitektur rusak.	Bangunan masih berdiri; Sebagian rangka atap patah; Sebagian besar langit-langit lepas; Sebagian instalasi listrik lepas/terputus dan pintu/jendela rusak berat
3.	Rusak Sedang/Ringan	Bangunan masih berdiri, sebagian komponen struktural dan arsitektural retak	Bangunan masih berdiri; retak-retak pada dinding plesteran; penutup atap/genteng lepas, sebagian penutup langit-langit rusak; instalasi listrik rusak sebagian; dan pintu/jendela rusak sebagian.

5. Metode HVSR dan Elipticity Curve

Metode HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) adalah salah satu metode geofisika yang dapat memberikan informasi nilai frekuensi dominan dan amplifikasi gelombang. Informasi ini berkaitan dengan parameter bawah permukaan, sehingga kondisi geologi setempat dapat diketahui secara umum.

HVSR diperoleh dari pengukuran sinyal mikrotremor. Sinyal ini memiliki tiga komponen, yaitu dua arah horizontal (Barat-Timur, Utara-Selatan) dan satu arah vertikal. Menurut Nakamura (2000) faktor amplifikasi dari gerakan

komponen horizontal dan vertikal di permukaan tanah sedimen berdasarkan pada gerakan seismik di permukaan tanah yang bersentuhan langsung dengan batuan dasar di area cekungan dilambangkan dengan T_H dan T_V . Persamaan faktor amplifikasi horizontal T_H adalah:

$$T_H = \frac{S_{HS}}{S_{HB}} \quad (3)$$

dengan S_{HS} adalah spektrum dari komponen gerak horizontal di permukaan tanah dan S_{HB} adalah spektrum dari komponen gerak horizontal pada lapisan tanah. Besarnya faktor amplifikasi vertikal T_V adalah:

$$T_V = \frac{S_{VS}}{S_{VB}} \quad (4)$$

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

Gelombang diasumsikan sebagai *noise* mikrotremor dan metode HVSR dapat mengeliminasi efek gelombang *Rayleigh*. Nakamura (2008) memberikan rentang frekuensi 0,2 Hz – 2,0 Hz pada rekaman mikrotremor yang digunakan untuk komponen vertikal dan horizontal, sehingga rasio spektrum antara komponen horizontal dan batuan dasar mendekati nilai satu:

$$\frac{S_{HB}}{S_{VB}} = 1 \quad (5)$$

Site effect (T_{SITE}) pada lapisan permukaan ditentukan dengan cara membandingkan faktor amplifikasi dari gerakan horizontal dengan faktor amplifikasi dari gerakan vertikal (Daryono dkk, 2009). *Site effect* menunjukkan puncak amplifikasi dan frekuensi dasar dari suatu lokasi. Nilai *Site effect* dapat dihitung dengan persamaan:

$$T_{SITE} = \frac{T_H}{T_V} \quad (6)$$

Dengan subsitusi Persamaan (3), (4), dan (5) ke Persamaan (6), maka diperoleh:

$$HVSR = T_{SITE} = \frac{S_{HS}}{S_{VS}} \frac{\sqrt{(S_{north-south})^2 + (S_{east-west})^2}}{S_{VS}} \quad (7)$$

dengan $S_{north-south}$ adalah nilai amplitudo spektrum frekuensi komponen utara-selatan, $S_{east-west}$ adalah nilai amplitudo spektrum frekuensi komponen timur-barat, dan S_{VS} adalah nilai amplitudo spektrum frekuensi komponen vertikal. Persamaan (7) menjadi dasar perhitungan rasio spektrum mikrotremor komponen horizontal terhadap komponen vertikal atau *Horizontal to Vertical Spectral Ratio*.

Hasil pengolahan data mikrotremor menggunakan metode HVSR bersifat umum. Oleh karena itu, Herak (2008) mengembangkan suatu metode yang berupa pemodelan ke belakang (*inverse modelling*). Pemodelan ini biasa disebut pencocokan data karena prosesnya mencari parameter model untuk menghasilkan respon yang cocok dengan data pengamatan. Salah satu metode pemodelan ini adalah metode *ellipticity curve*.

Metode *ellipticity curve* merupakan pendekatan dari kurva HVSR berbasis gelombang badan untuk mendapatkan parameter kecepatan gelombang S di titik pengukuran mikrotremor. Metode ini menggunakan beberapa parameter seperti v_p , ρ , σ , dan v_s . Metode *ellipticity curve* dapat mengekstrak sifat-sifat fisis bawah permukaan yang tidak dapat ditentukan oleh metode HVSR.

Sebagaimana konsep gelombang *Rayleigh*, gelombang ini sangat baik untuk mengidentifikasi struktur tanah, karena pengurangan energi perambatannya lebih rendah dibandingkan dengan gelombang seismik lain (Shearer, 2009). Perambatan gelombang ini yang melewati batas lapisan material bumi akan terdispersi. Dispersi gelombang *Rayleigh* dimaksudkan untuk mendapatkan nilai kecepatan gelombang geser permukaan (v_s) di titik pengukuran. Inversi gelombang *Rayleigh* untuk menentukan parameter-parameter elastis kurva dispersi (*ellipticity curve*). Dalam penentuan inversi *Rayleigh* dilakukan pendekatan harga data eksperimen dengan cara melakukan pengulangan (iterasi) agar mendapatkan hasil yang terbaik. Metode *ellipticity curve* diawali dengan mengetahui nilai dari parameter-parameter seperti kecepatan gelombang P (v_p), *poisson ratio* (σ), kerapatan batuan (ρ), dan kecepatan gelombang geser (v_s).

Poisson ratio merupakan ukuran kompresibilitas sebuah benda yang tegak lurus dengan stress atau perbandingan strain longitudinal dengan strain axial. Secara matematis, *Poisson ratio* dapat dikatakan sebagai elastisitas batuan yang mengidentifikasikan tingkat rekahan pada batuan tersebut yang nilainya akan lebih tinggi dari kondisi normal pada batuan yang terisi cairan (Manzella, 1990). Secara matematis, dapat dituliskan sebagai:

$$\sigma = -\frac{E_h}{E_v} \quad (8)$$

dengan σ merupakan *poisson ratio*, E_h adalah strain longitudinal, dan E_v adalah strain axial. Konstanta ini ditemukan oleh matematikawan berkebangsaan Prancis bernama Simeon Poisson (1781 – 1840).

Poisson ratio dapat dituliskan juga sebagai fungsi dari kecepatan gelombang kompresi dan geser:

$$\sigma = \frac{(v_p/v_s)^2 - 2}{2[(v_p/v_s)^2 - 1]} \quad (9)$$

Nilai *poisson ratio* dapat ditentukan berdasarkan jenis tanah seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai Perkiraan Angka *poisson ratio* (Bowles, 1997)

No	Jenis Tanah	<i>poisson ratio</i>
1.	Lempung Jenuh	0,40 – 0,50
2.	Lempung tak jenuh	0,10 – 0,30
3.	Lempung berpasir	0,20 – 0,30
4.	Lanau	0,30 – 0,35
5.	Pasir padat	0,20 – 0,40
6.	Pasir kasar	0,15

7.	Pasir halus	0,25
8.	Batu	0,10 – 0,40
9.	Loess	0,10 – 0,30

Densitas merupakan salah satu parameter fisis untuk menentukan model bawah permukaan. Densitas batuan berkaitan dengan cepat rambat gelombang P dan gelombang S. Jadi, dengan mengetahui nilai kecepatan gelombang P dan gelombang S maka dapat diketahui nilai dari densitas batuan. Hubungan empiris antara kecepatan gelombang P, gelombang S, dan densitas batuan ditemukan oleh Gardner (1974) yang ditunjukkan sebagai berikut:

$$\rho = \alpha v^{\frac{1}{4}} \quad (10)$$

dengan ρ adalah densitas batuan (kg/m^3), α adalah konstanta yang nilainya 0,31, dan v adalah kecepatan gelombang (m/s).

Besarnya nilai densitas dipengaruhi oleh kedalaman. Semakin dalam batuan maka semakin besar pula densitasnya. Hal ini dikarenakan adanya gaya kompaksi yang bekerja, tekanan, dan juga suhu. Selain itu, densitas juga memiliki sifat dan karakteristik massa jenis tertentu. Semakin besar massa jenis maka semakin besar pula massa setiap volumenya. Sehingga kemampuan untuk menampung dan mengalirkan fluida kecil. Nilai variasi densitas tiap batuan ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai Variasi Densitas Batuan (Telford, 2004)

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>Alluvium</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				

6. Litologi

Litologi adalah deskripsi batuan pada singkapan berdasarkan karakteristiknya seperti: warna, komposisi mineral, dan ukuran sinonim dengan petragrafi (Bates & Jackson, 1987). Setiap batuan memiliki karakteristik yang berbeda, sehingga nilai kecepatannya memiliki *range* yang beda pula. Batuan atau mineral yang bersifat lunak akan mempunyai nilai v_s yang lebih kecil dibandingkan dengan batuan keras. Hal ini dikarenakan kecepatan gelombang berbanding lurus dengan densitas batuan (lihat persamaan 10). Hubungan antara

klasifikasi site dengan kecepatan gelombang-S maupun gelombang-P dapat dilihat pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 4. Klasifikasi Site Berdasarkan Nilai v_s SNI 176 (BSN, 2010)

Klasifikasi Site	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 5. Nilai gelombang P pada beberapa medium (Burger, 1992)

Batuan	Nilai v_p (m/s)
Tanah	250 – 600
Pasir	200 – 1.000
Pasir tersaturasi	800 – 2.200
Pasir dan kerikil	4.921 – 6.561
Lempung	1.000 – 2.500
Endapan Lempung	3.281 – 8.202

7. Transformasi Fourier

Transformasi Fourier merupakan suatu model transformasi yang dapat mengubah sinyal domain spasial atau sinyal domain waktu menjadi sinyal domain frekuensi. Tranformasi Fourier sifatnya reversibel, artinya suatu model dapat ditransformasikan ke dalam bentuk domain frekuensi, kemudian diinversikan lagi ke dalam domain waktu. Sifat ini tidak dapat dilakukan secara bersamaan, model dalam domain frekuensi tidak dapat menginformasikan domain waktu dan sebaliknya domain waktu juga tidak dapat menginformasikan domain frekuensi.

Discrete Fourier Transform (DFT) merupakan bentuk kompleks dari transformasi Fourier pada fungsi diskrit dan sinyal yang dihasilkan diskrit pula. Bentuk yang kompleks dapat menghasilkan nilai real maupun imajiner. Pengolahan sinyal digital ini perlu karena berkaitan dengan sinyal waktu diskrit yang di peroleh dari *sampling* sinyal waktu kontinyu.

Fast Fourier Transform (FFT) merupakan algortima pengolahan sinyal yang lebih cepat daripada DFT. Dalam FFT terdapat 2 algoritma yaitu *decimation in frequency algorithm* (DIF) dan *decimation in time algorithm* (DIT). Kedua algoritma tersebut merujuk pada FFT radix, yang mana merupakan FFT yang digunakan untuk pengolahan sinyal sehingga lebih efisien dan cepat (Tan, 2008).

8. Kondisi Geologi Kecamatan Bayat

a. Kecamatan Bayat

Kecamatan Bayat merupakan salah satu kecamatan yang terletak di Kabupaten Klaten, Provinsi Jawa Tengah, Indonesia. Batas wilayah Kecamatan Bayat antara lain:

- Sebelah Utara : Kecamatan Trucuk dan Kecamatan Kalikotes
- Sebelah Selatan : Gunung Kidul, DIY.
- Sebelah Barat : Kecamatan Wedi
- Sebelah Timur : Kecamatan Cawas

Jumlah penduduk Kecamatan Bayat sebanyak 53.434 jiwa yang terbagi dalam 20.344 kepala keluarga (BPS Kabupaten Klaten, 2015).

Berdasarkan satuan formasi, litologi daerah penelitian (Kecamatan Bayat) tersusun atas Formasi Merapi Muda, Wonosari-Punung, Aluvium Tua, Diorit Pendul, Batuan Malihan, dan Gamping-Wungkal.

b. Formasi Geologi

1) Formasi Merapi Muda

Formasi ini terdiri dari tanah, breksi, leleran lava, abu, tuff, dan aglomerat.

2) Formasi Batuan Malihan.

Formasi ini terdiri dari sekis, pualam, batuan gunung api malih, batu sabak.

3) Formasi Wonosari-Punung

Formasi ini terdiri dari batu gamping, batu gamping terumbu dan batu lanau.

4) Formasi Aluvium Tua

Formasi ini terdiri dari konglomerat, batu pasir, lanau, dan lempung.

5) Formasi Gamping-Wungkal

Formasi ini terdiri dari batu pasir, batu lempung, dan batu gamping.

6) Diorit Pendul

Formasi ini terdiri dari batuan diorit.

9. Kerangka Berfikir

Daerah penelitian merupakan daerah potensi kerusakan cukup parah akibat gempa bumi 2006 di Yogyakarta, seperti data yang ditunjukkan oleh BAPPEDA (2017) cukup banyak rumah yang rusak, baik rusak berat, total, maupun ringan. Dengan demikian, perlu dikaji lebih lanjut terkait dengan litologi daerah tersebut.

Data yang diperoleh dari pengukuran merupakan data mikrotremor di daerah Kecamatan Bayat. Data ini selanjutnya diolah dengan *software geopsy* untuk mendapatkan hasil *windowing* dan *cutting*, kemudian faktor amplifikasi dan faktor predominan diperoleh dengan *software Matlab2015b* dan nilai kecepatan gesernya (v_s) didapatkan dari pemodelan *ground profile*, sebelum memperoleh nilai v_s , parameter input seperti gelombang P (v_p), kecepatan gelombang S (v_s), *poisson ratio*, dan massa jenis batuan diinput melalui metode *ellipticity curve*. Selanjutnya kecepatan geser diinterpretasikan dengan menggunakan *Rockwork 16* untuk dapat memvisualkan litologi bawah permukaan di daerah penelitian.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Pengukuran sinyal mikrotremor dilaksanakan pada 13-17 November 2017.

Sebelum dilakukan pengambilan data, telah dilakukan studi literatur, diskusi, dan survei lokasi penelitian yang dimulai pada September 2017. Pengambilan data dilakukan di Kecamatan Bayat, Kabupaten Klaten sebanyak 29 titik penelitian dengan jarak antar titik 1 km.

B. Instrumen Penelitian

Instrumen yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari perangkat keras dan perangkat lunak.

1. Perangkat Keras (*Hardware*)

Perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. *Global Positioning System* (GPS) merk Garmin digunakan untuk menentukan posisi pada setiap titik penelitian.
- b. Digitizer tipe TDL-303S untuk merekam getaran tanah yang diperoleh dari seismometer.
- c. Seismometer tipe TDV-23S untuk mengukur getaran tanah pada setiap titik penelitian.
- d. Kompas digunakan untuk menentukan arah utara saat pemasangan seismometer.
- e. Laptop digunakan untuk akuisisi dan analisis data.

- f. Antena GPS terhubung dengan *digitizer* berfungsi untuk menentukan posisi pada setiap titik penelitian.
- g. Kabel penghubung antara sensor dan seismograf.

2. Perangkat Lunak (*Software*)

Perangkat lunak merupakan perangkat yang berhubungan dengan analisis data. Perangkat lunak yang digunakan sebagai berikut:

- a. *Global mapper 13* untuk memasukkan titik koordinat penelitian ke GPS.
- b. *Surfer 12* berfungsi untuk membuat desain penelitian dan membuat peta mikrozonasi.
- c. *MATLAB R2015* berfungsi untuk menganalisis data mikrotremor dengan menggunakan *Fast Fourier Transform* (FFT).
- d. *Geopsy* untuk melakukan *Time Frequency Analysis* (TFA) terhadap sinyal mikrotremor.
- e. *Rockwork 16* untuk *modelling* dan visualisasi litologi bawah permukaan pada titik penelitian secara 2D dan 3D.
- f. *Google Earth* untuk memperkirakan kondisi lokasi penelitian dan menentukan titik pengambilan data sekaligus membuat desain survey.

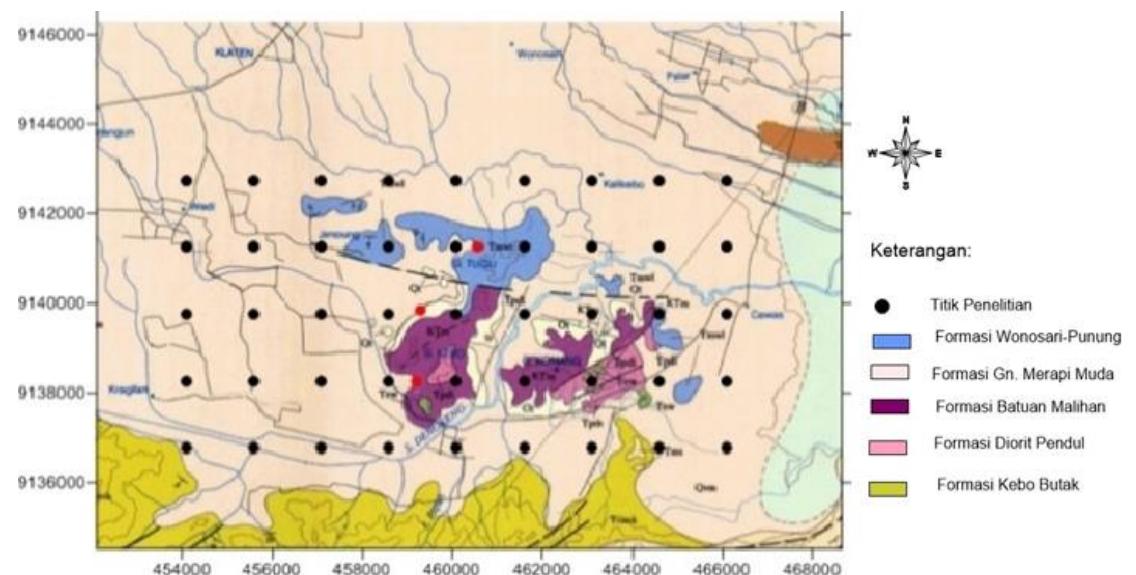
C. Teknik Pengambilan Data

1. Tahap Desain Survei

Tahapan yang dilakukan sebelum proses penentuan lokasi pengambilan data adalah pembuatan desain survei yang bertujuan untuk menentukan titik-titik pengambilan data mikrotremor. Titik pengambilan data ini mencakup dan

mewakili kawasan Kecamatan Bayat yang terdiri dari berbagai formasi. Dalam penelitian ditetapkan 29 titik pengukuran dengan jarak antar titik 1 km.

Pembuatan desain survei diawali dengan menentukan batas koordinat titik pengukuran menggunakan *Surfer 12* dengan format DAT Data (*dat). Selanjutnya file dibuka dengan *Global Mapper 13* agar dapat diplot dan disimpan kembali dalam bentuk KMZ/KML. Titik-titik pengukurannya dapat diproses pada *software Google Earth*. Selanjutnya diinput ke dalam GPS yang berfungsi sebagai navigator untuk menentukan titik pengukuran yang dituju. Kemudian desain survey yang telah dibuat ditunjukkan pada Gambar 9.

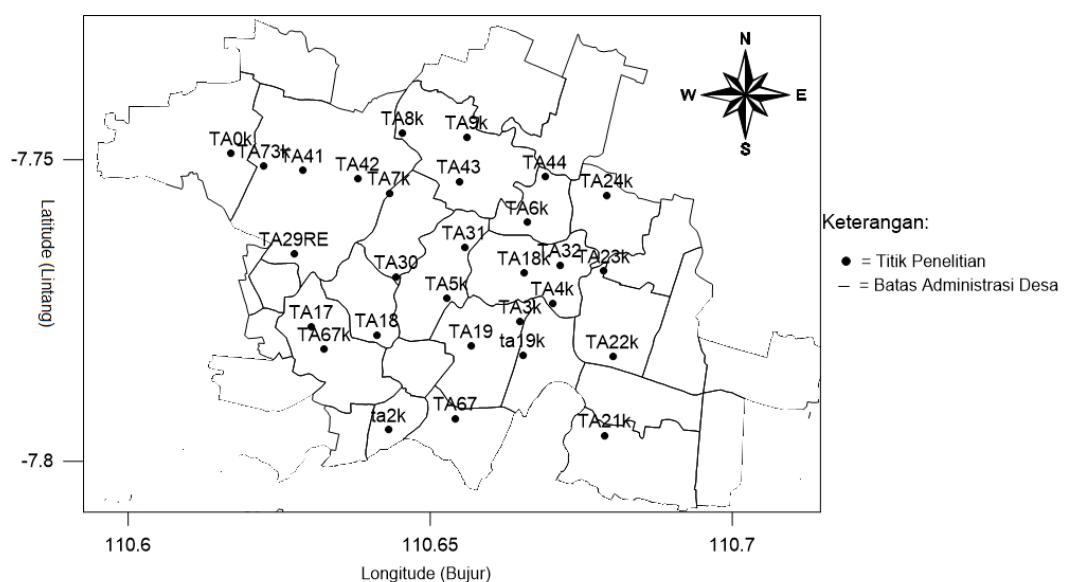


Gambar 9. Desain Awal Titik Pengukuran

2. Tahap Survei Lokasi

Survei lokasi dilakukan untuk mengetahui keadaan lokasi dan medan secara langsung yang akan dijadikan titik pengukuran sinyal mikrotremor. Survei lokasi dibutuhkan agar saat pengambilan data lebih efisien. Berdasarkan hasil survei titik

lokasi secara langsung didapatkan 29 titik yang dapat dijadikan lokasi penelitian. Lokasi titik penelitian mengalami pergeseran beberapa meter karena lokasi awal berada di tengah sawah, perbukitan yang susah dijangkau, rumah warga, dan jalan raya. Peta lokasi untuk pengambilan data hasil survey lapangan ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Peta Titik Pengukuran Mikrotremor di Kecamatan Bayat

3. Tahap Pengambilan Data

Pengukuran sinyal mikrotremor dilakukan dengan frekuensi *sampling* 100 Hz selama ± 30 menit dengan mengacu pada durasi pengukuran yang disarankan oleh SESAME (2004). Hasil dari pengukuran tersebut berupa data mentah sinyal getaran mikrotremor dalam fungsi waktu. Sinyal getaran ini terdiri dari 2 komponen, yaitu komponen horizontal dan komponen vertikal. Komponen horizontal terdiri dari sinyal *North-South* dan sinyal *East-West*, sedangkan

komponen vertikal merupakan sinyal getaran *Up and Down*. Data-data yang diperoleh tersimpan secara otomatis didalam *datalogger (digitizer)*, data tersebut dapat secara langsung ditampilkan pada laptop dengan menggunakan *Monost*. Pengambilan data dilakukan sesuai dengan syarat yang ditetapkan oleh *SESAME European Research* pada Tabel 6.

Tabel 6. Persyaratan Teknis Survei Mikrotremor di Lapangan (SESAME, 2004).

Jenis Parameter	Saran yang dianjurkan	
Durasi Pencatatan	<i>fg</i> minimum yang diharapkan (Hz)	Durasi pencatatan minimum yang disarankan (menit)
	0,2	30
	0,5	20
	1	10
	2	5
	5	3
	10	2
<i>Coupling soil-sensor</i> alami (insitu)	1. Tempatkan sensor langsung pada permukaan tanah 2. Hindari menempatkan sensor seismograf pada permukaan tanah lunak (lumpur, semak-semak) atau tanah lunak setelah hujan.	
<i>Coupling soil-sensor</i> buatan atau artifisial	1. Hindari lempengan yang terbuat dari material lunak seperti karet atau busa. 2. Pada kemiringan yang curam di mana sulit mendapatkan kedataran sensor yang baik, pasang sensor dalam timbunan pasir atau wadah yang diisi pasir.	
Keberadaan bangunan atau pohon	1. Hindari pengukuran dekat dengan bangunan, gedung bertingkat, dan pohon yang tinggi, jika tiupan angin di atas ± 5 m/detik. Kondisi ini sangat mempengaruhi hasil analisa HVSR yang ditunjukkan dengan kemunculan	

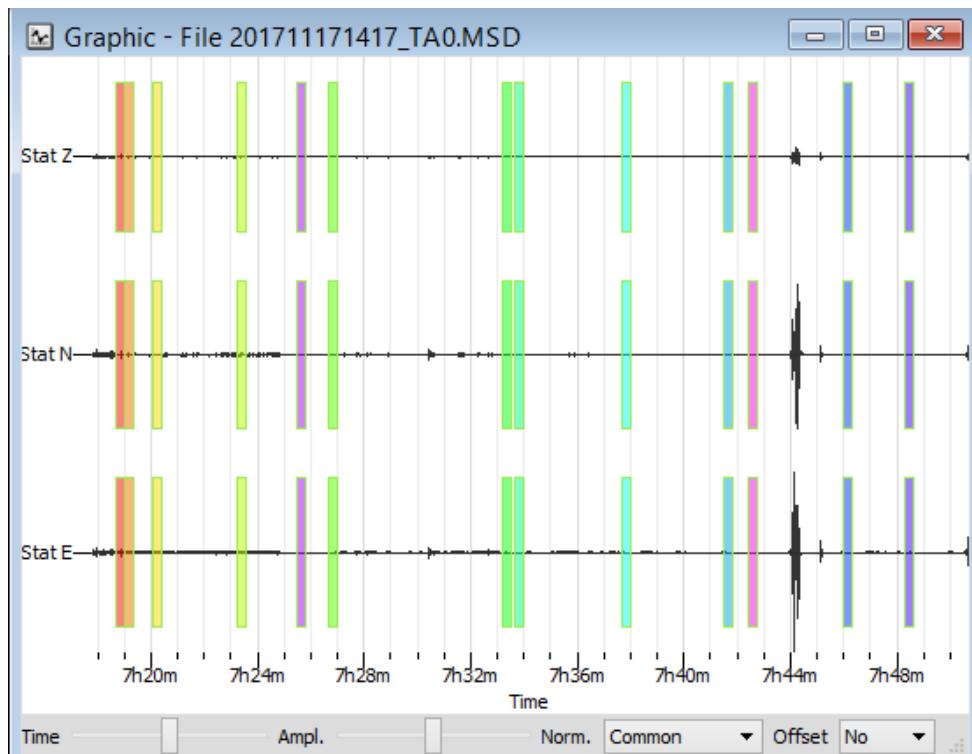
	frekuensi rendah pada kurva. 2. Hindari pengukuran di lokasi tempat parkiran, pipa air dan gorong-gorong.
Kondisi Cuaca	1. Angin: Lindungi sensor dari angin (lebih cepat dari 5 m/s). 2. Hujan: Hindari pengukuran pada saat hujan lebat. Hujan ringan tidak memberikan gangguan berarti. 3. Suhu: Mengecek kondisi sensor dan mengikuti instruksi pabrik.
Gangguan	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.

D. Teknik Analisis Data

1. Filter Gelombang Menggunakan *Software Geopsy*

Data hasil pengukuran berupa sinyal getaran tanah sebagai fungsi waktu.

Selanjutnya dilakukan proses *cutting* gelombang (*windowing*). Proses *cutting* merupakan pemilihan sinyal tanpa *noise* menggunakan program *Sesarray-Geopsy*. Prosesnya dilakukan secara manual dengan waktu 20 detik setiap windownya dengan mengacu standar SESAME *European Research Project*. Pemilihan sinyal pada titik TA 0K ditunjukkan pada Gambar 11. Data hasil *cutting* setiap titik digabungkan kembali menjadi satu sinyal dalam satu buah file data. File ini akan menjadi sumber data bagi program FFT dan HVSR pada MATLAB.



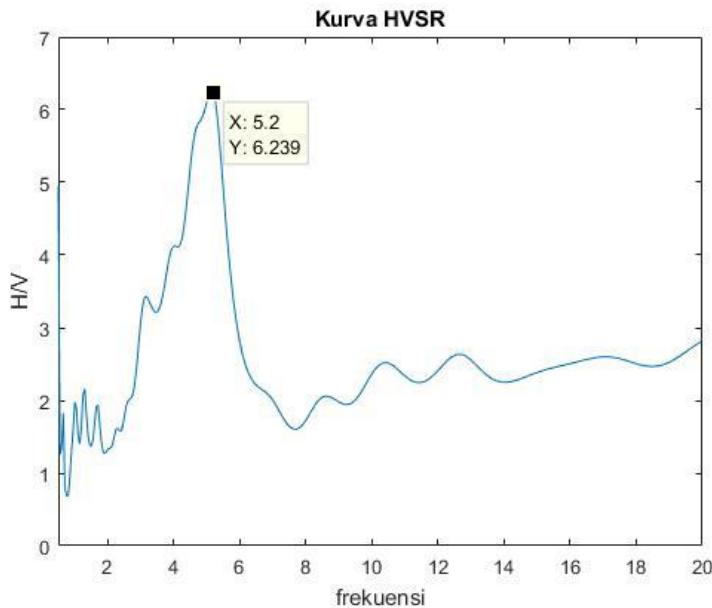
Gambar 11. Contoh Pemilihan Sinyal pada Titik TA 0k.

Setelah proses pemilihan sinyal mikrotremor pada setiap titik pengamatan diperoleh, jumlah *window* di setiap titik pengamatan telah memenuhi syarat yang ditetapkan oleh SESAME *European Research Project* (2004) yaitu jumlah *window* minimum yang diperbolehkan sebanyak 10 *window*.

E. Menganalisis Sinyal dengan Fast Fourier Transform (FFT)

Setiap komponen horizontal dan vertikal dianalisis menggunakan algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT) yang dibuat pada program MATLAB R2015a. Hasil analisis algoritma FFT berupa spektrum dari tiap-tiap komponen data mikrotremor. Selanjutnya dilakukan proses *smoothing* dengan metode *Konno-Ohmachi*. Semua data yang telah di *smoothing* diolah menggunakan teknik HVSR

sehingga dihasilkan kurva H/V yang memberikan informasi nilai frekuensi predominan dan faktor amplifikasi seperti ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Kurva HVSR pada Titik TA 9K.

Kurva HVSR harus memiliki kriteria reliabilitas yang mengacu pada standar yang dibuat oleh SESAME *European Research Project*. Ada tiga kriteria reliabilitas kurva HVSR.

- Jika *peak* dari kurva H/V terlihat jelas, nilai frekuensi predominan (f_0) harus lebih dari $10/l_w$, dengan l_w adalah panjang *window* yaitu sebesar 20 detik.
- Nilai dari *number of cycles* (n_c) harus lebih besar dari 200, dimana $n_c = l_w n_w f_0$, dengan n_w adalah jumlah *window*.
- Nilai standar deviasi yang tinggi dari *peak* kurva H/V biasanya diakibatkan oleh adanya gangguan pada saat pengukuran. Oleh sebab itu, dipastikan

nilai standar deviasi σ_A harus lebih kecil dari 2 (untuk $2f_0 > 0,5$ Hz) dan 3 (untuk $2f_0 < 0,5$ Hz) dalam batas frekuensi $0,5f_0$ sampai $2f_0$.

Untuk kriteria *clear peak* terdiri dari enam kriteria yaitu:

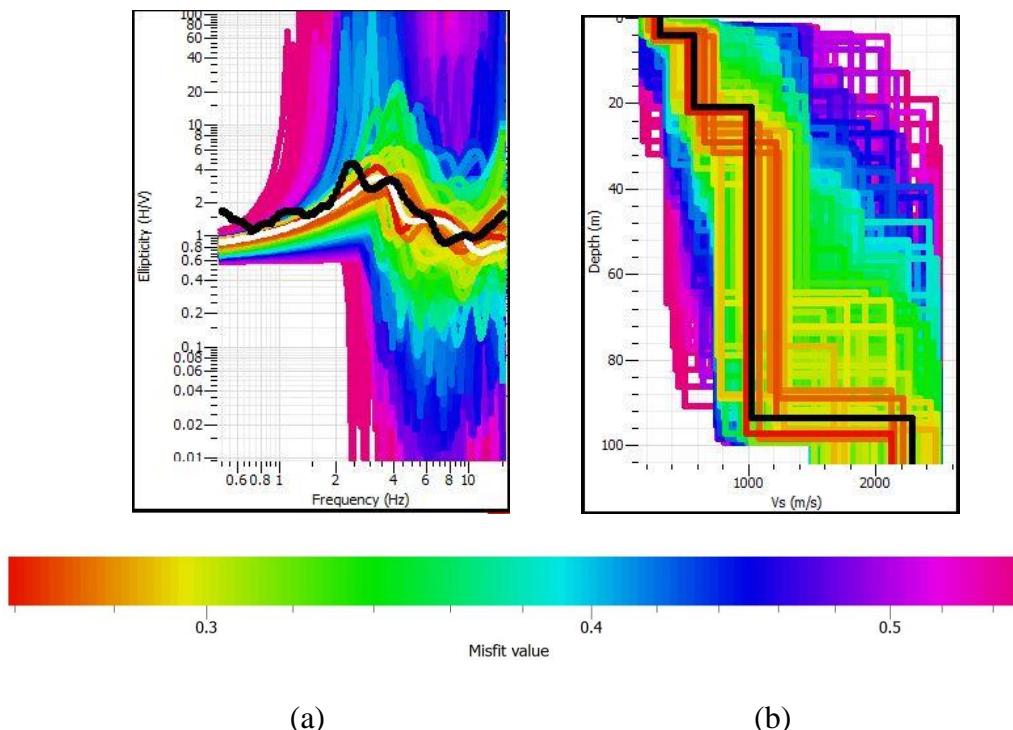
- a. Terdapat satu frekuensi (f^-) dengan nilai antara $\frac{f_0}{4} - f_0$ yang memiliki nilai $A_{H/V} < \frac{1}{2}A_0$.
- b. Terdapat satu frekuensi (f^+) dengan nilai antara $f_0 - 4f_0$ yang memiliki nilai $A_{H/V} < \frac{1}{2}A_0$.
- c. Nilai faktor amplifikasi lebih besar dari 2 ($A_0 > 2$).
- d. *Peak* dari kurva standar deviasi harus berada pada frekuensi yang sama atau masih dalam batas toleransi 5%.
- e. Nilai standar deviasi (σ_f) harus lebih rendah dari batas ambang nilai *threshold* $\varepsilon(f_0)$. Nilai *threshold* ditunjukkan pada Tabel 7.
- f. Nilai $\sigma_A(f_0)$ harus lebih rendah dari batas ambang nilai $\theta(f_0)$.

Tabel 7. Nilai *threshold* untuk keadaan stabil (SESAME, 2004).

<i>Frequency range</i> (Hz)	< 0,2	0,2 – 0,5	0,5 – 1,0	1,0 – 2,0	> 2
$\varepsilon(f_0)$	$0,25f$	$0,20f$	$0,15f$	$0,10f$	$0,05f$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3,0	2,5	2,0	1,78	1,58
$\log\theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0,48	0,40	0,30	0,25	0,20

F. Menganalisis kurva H/V menggunakan metode ellipticity curve

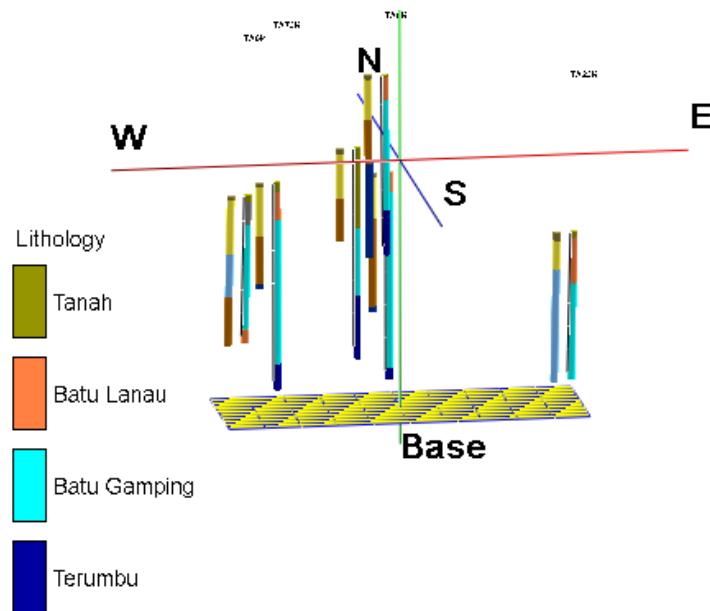
Kurva H/V dianalisis dengan menggunakan program *dinver* untuk memperoleh nilai parameter kecepatan gelombang. Hasil dari metode *ellipticity curve* adalah *ground profile* kecepatan gelombang geser (v_s). Nilai v_s yang diperoleh bergantung pada nilai parameter model awal yang menggambarkan karakteristik site di daerah tersebut seperti nilai kecepatan gelombang P (v_p), kecepatan gelombang S (v_s), *Poisson Ratio*, dan massa jenis (densitas) batuan. Parameter tersebut disesuaikan dengan kondisi litologi bawah permukaan pada setiap formasi geologi yang digunakan sebagai tempat pengukuran sinyal mikrotremor, dengan mengacu pada peta geologi Kabupaten Klaten. Hasill analisis menggunakan software dinver ditunjukkan pada Gambar 15.



Gambar 13. (a) *Ellipticity curve* (b) *ground profiles* dari v_s

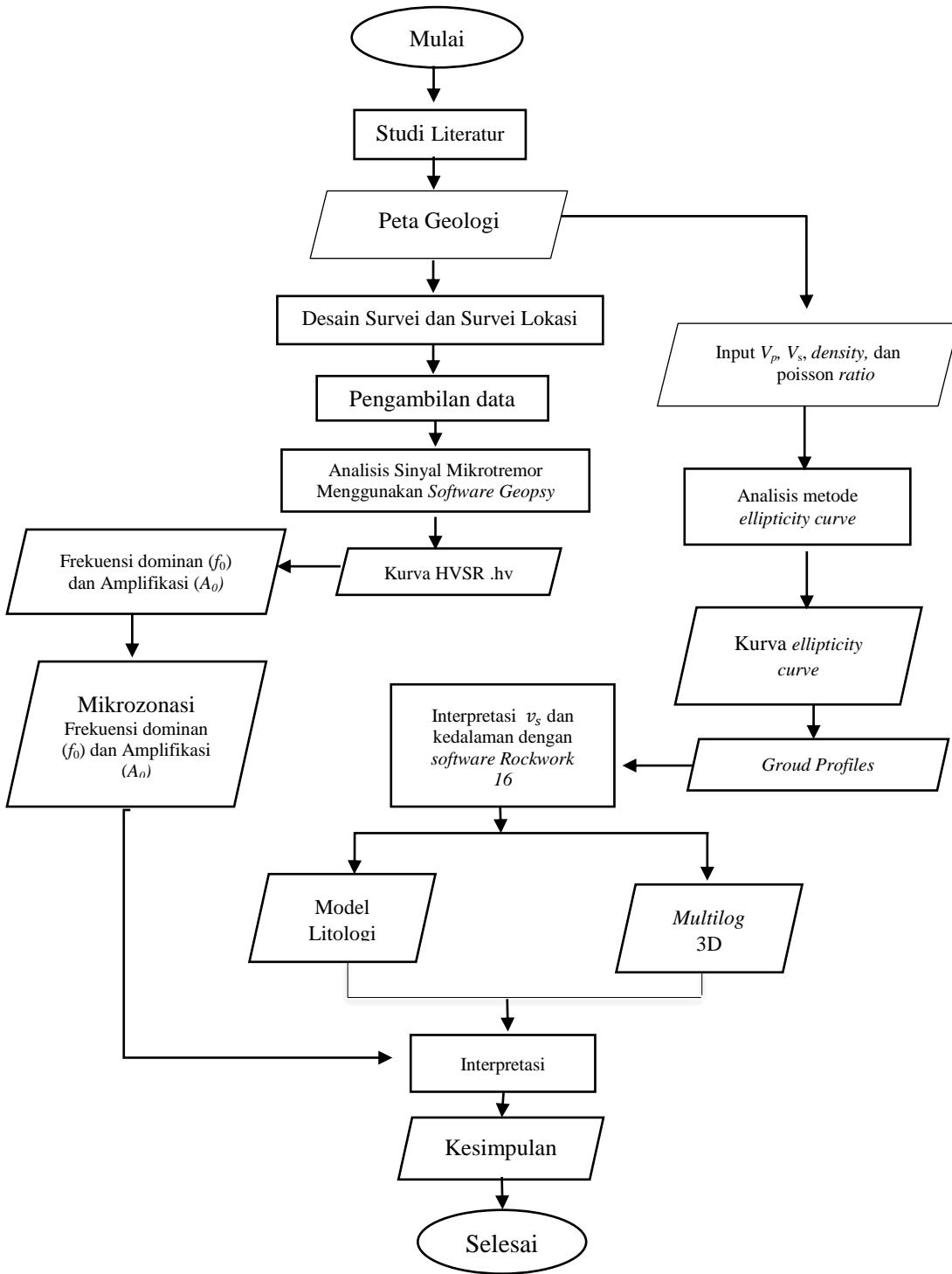
G. Pemodelan Litologi dengan software Rockwork15

Data kecepatan gelombang yang diperoleh dengan metode *ellipticity curve* kemudain digunakan untuk melakukan pemodelan dengan menggunakan software *Rockwork*. Model yang diperolah akan mempermudah visualisasi litologi bawah permukaan pada titik pengkuran. Selain itu, pemodelan litologi juga dapat juga mengklasifikasikan jenis tanah dan batuan dengan kedalaman tertentu seperti ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14. Pemodelan Tampilan *Multilog*

H. Diagram Alir Penelitian



Gambar 15. Diagram Alir Penelitian

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah litologi bawah permukaan tanah di Kecamatan Bayat, Kabupaten Klaten yang diperoleh berdasarkan *ground profiles* dari nilai kecepatan gelombang geser (v_s) dengan menggunakan metode *ellipticity curve*. *Ground profiles* diperoleh dengan membuat 3-5 lapisan material pada kedalaman 100 m di setiap lokasi pengukuran, sehingga nilai v_s setiap titik pengukuran memiliki karakteristik geologi yang tidak sama. Karakteristik geologi lokal di daerah penelitian dapat dilihat dari kurva H/V dalam bentuk parameter frekuensi predominan (f_0) dan faktor amplifikasi (A_0).

A. Mikrozonasi Frekuensi Predominan dan Faktor Amplifikasi

Persebaran frekuensi predominan (f_0) dan faktor amplifikasi (A_0) dihasilkan dari pengolahan sinyal mikrotremor dengan metode HVSR. Informasi yang diperoleh dari kurva H/V dapat meresentasikan geologi setempat. Nilai frekuensi predominan (f_0) dan faktor amplifikasi (A_0) pada setiap titik penelitian dapat dibuat peta mikrozonasi.

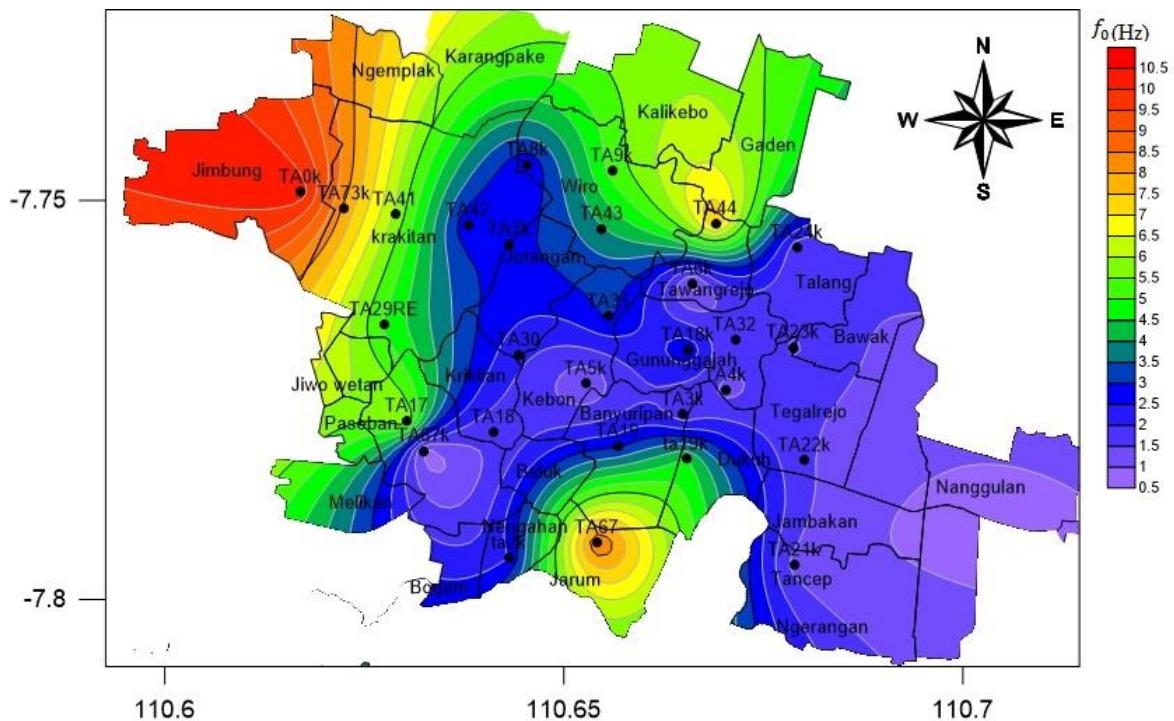
Nilai frekuensi predominan (f_0) di Kecamatan Bayat, Kabupaten Klaten adalah 0,5 Hz – 10,5 Hz. Sebaran nilai frekuensi predominan (f_0) dapat diklasifikasikan berdasarkan metode Kanai (Tabel 8).

Tabel 8. Klasifikasi Nilai frekuensi predominan

Klasifikasi Tanah	Frekuensi Predominan (Hz)	Lokasi
Tipe IV	6,68 - 10,50	73K, 44, 67, 0K
Tipe III	4,10 - 6,67	9K, 19K, 29R, 41
Tipe II	2,51 - 4,00	7K, 8K, 18K, 19, 20, 31, 42, 43
Tipe I	0,55 - 2,50	2K, 3K, 4K, 5K, 6K, 21K, 22K, 23K, 24K, 67K, 32, 30, 18

Nilai f_0 klasifikasi tanah Tipe I dengan rentang nilai 0,55 Hz – 2,50 Hz terletak di Desa Nengahan, Gn. Gajah, Kebon, Tawangrejo, Ngeranggang, Tegalrejo, Talang, Paseban, Jotangan, dan Krikilan. Daerah dengan frekuensi predominan ini diasumsikan memiliki kondisi tanah yang lunak dan sedimen yang sangat tebal. Nilai f_0 klasifikasi tanah Tipe II memiliki rentang nilai sebesar 2,51 Hz – 4,00 Hz terdapat di Desa Krakitan, Gn. Gajah, Banyuripan, Dukuh, dan Kebon. Hal ini menunjukkan daerah tersebut kondisi geologinya memiliki lapisan sedimen yang cenderung tebal. Nilai f_0 klasifikasi tanah Tipe III memiliki rentang nilai sebesar 4,10 Hz – 6,67 Hz tersebar di Desa Krakitan bagian selatan dan Dukuh bagian selatan. Nilai f_0 klasifikasi tanah Tipe IV memiliki rentang nilai 6,68 Hz – 10,50 Hz terdapat di Desa Tawangrejo bagian utara dan Jarum bagian selatan. Kondisi tanah Tipe IV menggambarkan daerah penelitian dengan lapisan sedimen yang tipis. Selain frekuensi predominan (f_0) didapatkan pula nilai faktor amplifikasi (A_0) yang diperoleh dari pengolahan kurva H/V. Berdasarkan nilai

frekuensi predominan (f_0) yang didapatkan di setiap titik pengukuran kemudian dibuat pemodelan (mikrozonasi) seperti pada Gambar 16.



Gambar 16. Mikrozonasi Frekuensi Predominan di Kecamatan Bayat

Faktor amplifikasi berbanding terbalik dengan kecepatan gelombang geser (v_s). Kecepatan gelombang geser (v_s) dipengaruhi oleh densitas (ρ) daerah tersebut. Semakin berkurang densitas (ρ) suatu daerah menyebabkan gelombang yang melewatinya mempunyai kecepatan yang kecil sehingga mempunyai faktor amplifikasi besar sesuai dengan persamaan 10. Dengan kata lain, gelombang seismik akan mengalami perbesaran jika merambat pada suatu medium ke medium lain yang lebih lunak dibanding medium awal yang dilaluinya, semakin besar perbedaan itu maka perbesaran yang dialami gelombang tersebut akan semakin besar.

Faktor amplifikasi Kecamatan Bayat Kabupaten Klaten adalah 2,20 – 27,60.

Klasifikasi sebaran nilai faktor amplifikasi dapat disajikan pada Tabel 9

Tabel 9. Klasifikasi Nilai faktor Amplifikasi (Setiawan, 2009)

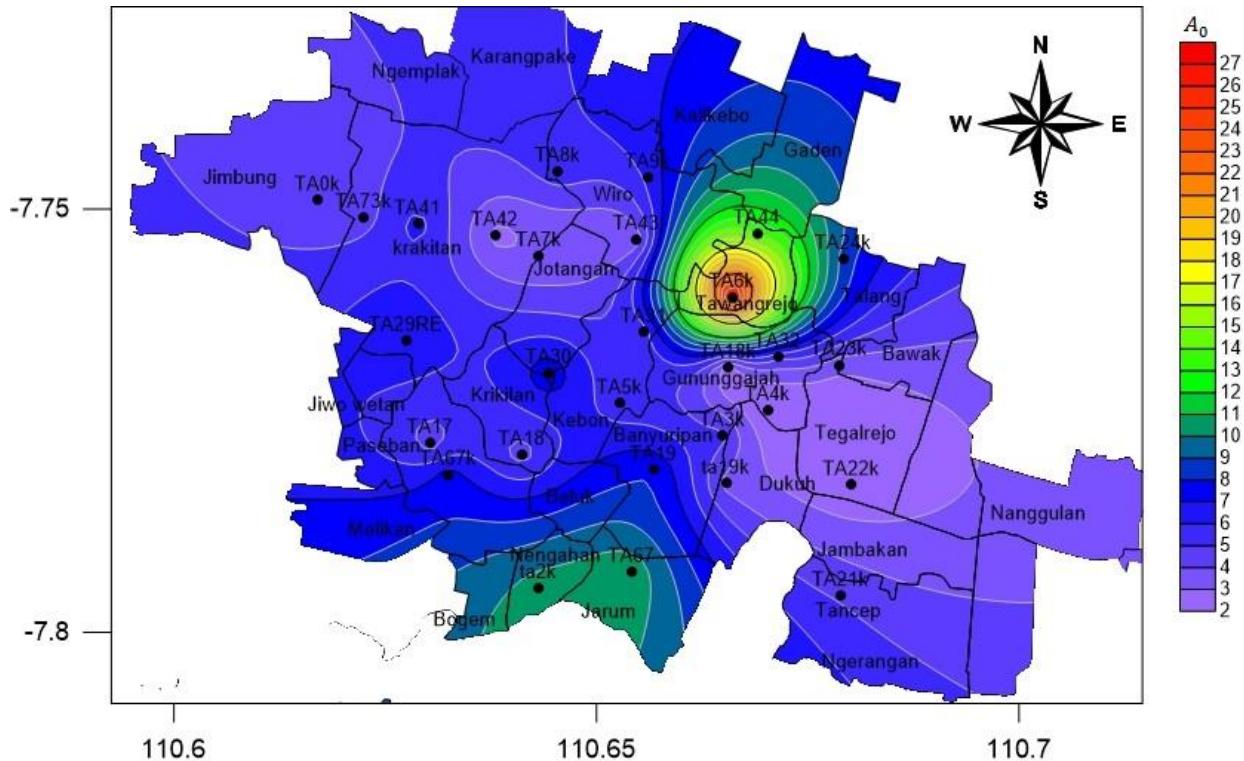
Klasifikasi	Zona	Faktor Amplifikasi	Lokasi
Rendah	I	2,20 - 2,99	4K, 18K, 22K, 42
Sedang	II	3,00 - 5,99	0K, 3K, 5K, 7K, 8K, 19K, 21K, 23K, 73K, 17, 18, 20, 31, 32, 43
Tinggi	III	6,00 - 8,99	9K, 24K, 67K, 19, 29R, 30, 41
	IV	9,00 - 27,00	2K, 6K, 44, 67

Nilai faktor amplifikasi rendah berada pada rentang nilai 2,20 – 2,99 di Desa Gn. Gajah, Tegalrejo, dan Krakitan sisi timur. Hal ini ditandai juga dengan berada di kawasan wisata Watuprahu. Kawasan tersebut diapit oleh geowisata Bukit Cinta di sebelah utara dan Gunung Pendul di sebelah selatan yang banyak dijumpai dengan singkapan batuan beku dan beberapa singkapan batuan gamping yang termasuk dari batuan keras.

Nilai faktor amplifikasi sedang berada pada rentang nilai 3,00 – 5,99 terdapat di Desa Jimbung, Banyuripan sisi timur, Krakitan sisi barat, Paseban, Krikilan sisi selatan, Dukuh, Kebon sisi timur dan utara, Wiro sisi barat, Tancep, Bawak. Sementara itu, nilai faktor amplifikasi tinggi berada pada rentang nilai 6,00 – 27,60 terdapat di Desa Wiro bagian utara, Talang bagian utara, Paseban

bagian selatan, Banyuripan bagian selatan, Krakitan bagian selatan, Jotangan bagian selatan, Karakitan, Tawangrejo dan Nengahan, Jarum. Berdasarkan nilai faktor amplifikasi (A_0) yang didapatkan di setiap titik pengukuran kemudian dibuat pemodelan (mikrozonasi) seperti pada Gambar 17.

Apabila ditinjau dari formasi geologi, wilayah penelitian dengan nilai faktor amplifikasi rendah berada pada formasi wonosari-punung, diorit dan sedikit Alluvium Tua. Sementara itu, lokasi penelitian yang memiliki faktor amplifikasi sedang sampai tinggi mayoritas berada pada formasi Merapi Muda yang sebagian besar merupakan endapan lahar gunung api, dan juga terdapat di sebagian formasi wonosari-punung, dan alluvium tua. Titik 6K yang terdapat di Desa Tawangrejo memiliki nilai amplifikasi yang paling tinggi dibandingkan dengan titik lain wilayah penelitian. Hal ini disebabkan karena terdapat di formasi alluvium tua yang terdiri dari batuan pasir dan batuan lempung, pada kondisi jenis tanah lunak gelombang akan teramplifikasi lebih besar. Hal tersebut karena tanah yang lunak atau kondisi tanah dengan kepadatan batuan rendah memiliki inersia yang kecil, sehingga tanah mudah digerakkan dan mengalami guncangan yang besar pada saat terjadi gempa bumi.

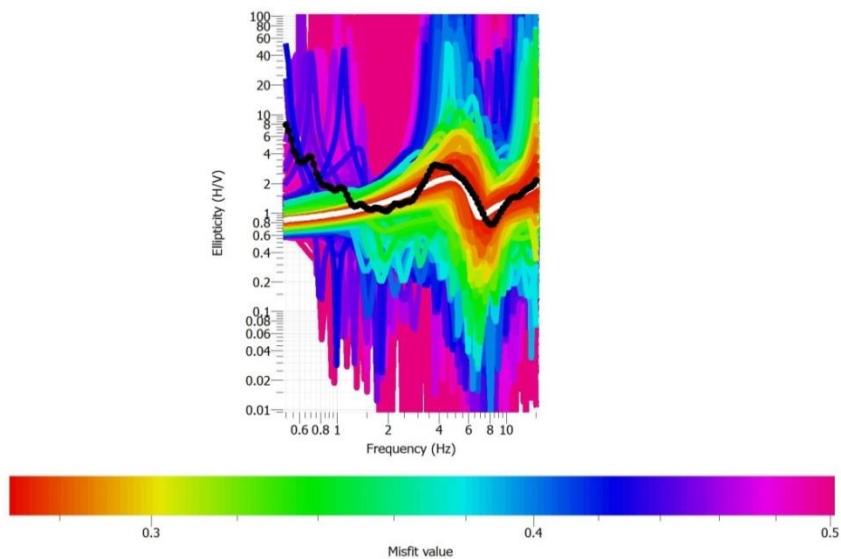


Gambar 17. Mikrozonasi amplifikasi di Kecamatan Bayat

B. Metode Ellipticity Curve

Metode *Ellipticity Curve* dapat digunakan untuk mengetahui struktur bawah permukaan. Metode ini ditentukan dari berbagai parameter sebagai inisialisasi model awal. Parameter yang diperlukan pada metode *ellipticity curve* yaitu v_s (kecepatan gelombang S), v_p (kecepatan gelombang P), massa jenis (densitas) batuan, dan *Poisson ratio*. Nilai parameter disesuaikan dengan formasi geologi daerah penelitian, yaitu: kecepatan gelombang S (v_s) bernilai antara 50 m/s sampai 2.000 m/s, kecepatan gelombang P (v_p) bernilai antara 200 m/s sampai 5.000 m/s, *Poisson ratio* berkisar antara 0,2 sampai 0,5, dan massa jenis (kerapatan) batuan bernilai antara 1.500 kg/m^3 sampai 2.000 kg/m^3 .

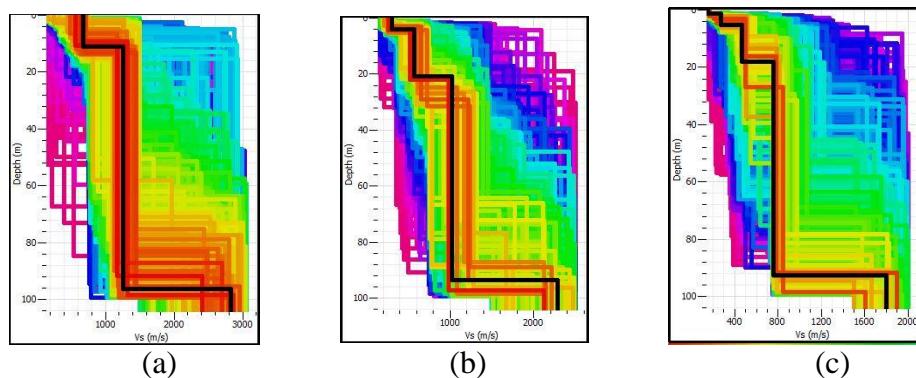
Penelitian ini menggunakan model 3-5 lapisan (*layer*). Hal ini berdasarkan informasi geologi di daerah penelitian yang memiliki litologi relatif beragam. Lapisan material penyusun formasi di Kecamatan Bayat cukup bervariasi, yakni: tanah, batu pasir, leleran lava, aglomerat, konglomerat, batu lanau, breksi, dan gamping terumbu serta diorite. Kurva dari metode *ellipticity curve* ditunjukkan pada Gambar 18. Perbedaan model garis kurva menunjukkan nilai *misfit* yang beragam. Kurva dengan garis hitam menandakan kurva sebagai model referensi untuk metode *ellipticity curve*, sedangkan garis putih menunjukkan kurva hasil metode *ellipticity curve* dengan nilai *misfit* terkecil. Secara umum, kurva *ellipticity curve* merepresentasikan data dari nilai frekuensi dan nilai *ellipticity* yang selanjutnya digunakan analisis *ground profiles* nilai v_s dari titik-titik pengukuran.



Gambar 18. Kurva dari metode *ellipticity curve*

C. Ground Profiles v_s dan Litologi Bawah Permukaan

Nilai v_s pada *ground profiles* bervariasi di setiap lapisannya. Pada lokasi penelitian digunakan 3-5 lapisan material sehingga setiap lapisan menunjukkan nilai kedalaman. Pada lapisan pertama pemodelan *ground profiles* memiliki variasi ke dalam berkisar 1 m – 6 meter dengan nilai v_s sekitar 150 m/s hingga 300 m/s. Nilai v_s yang relatif kecil menunjukkan batuan atau material yang bersifat lunak, karena nilai kecepatan gelombang geser (v_s) berbanding lurus dengan densitas batuan seperti ditunjukkan persamaan 12. Gambar 19 menunjukkan beberapa contoh *ground profiles* dari v_s yang jumlah lapisannya berbeda setiap titik pengukuran.



Gambar 19. *Ground Profile* v_s dengan variasi lapangan (a) *ground profiles* v_s untuk 3 lapisan (b) *ground profiles* v_s untuk 4 lapisan (c) *ground profiles* v_s untuk 5 lapisan.

Titik penelitian terbagi menjadi 6 zona yaitu zona I (Formasi Merapi Muda) yang berjumlah 13 titik pengukuran, zona II (Formasi Batuan Malihan) yang berjumlah 5 titik pengukuran, zona III (Formasi Wonosari-Punung) yang berjumlah 6 titik pengukuran, zona IV (Formasi Alluvium Tua) yang berjumlah 3 titik pengukuran, zona V (Formasi Gamping-Wungkal) yang berjumlah 1 titik

pengukuran, zona VI (Formasi Diorit Pendul) yang berjumlah 1 titik pengukuran seperti ditunjukkan pada Tabel 10, selanjutnya nilai v_s dikelompokkan berdasarkan klasifikasi site Badan Standarisasi Nasional seperti Tabel 11, 12, 13, 14, 15 dan 16.

Tabel 10. Pengelompokan titik pengukuran berdasarkan Formasi Geologi Kecamatan Bayat.

Zona	Jumlah Titik Pengukuran	Titik Pengukuran	Formasi Geologi	Litologi Penyusun Formasi
I	13	18, 30, 41, 43, 44, 67, 2K, 21K, 9K, 19, 19K, 22K, 24K,	Merapi Muda	tanah, tuff, breksi, leleran lava, aglomerat
II	5	17, 29r, 32, 67K, 5K	Batuhan Malihan	batu pualam, sekis
III	6	42, 0K, 7K, 8K, 23K, 73K	Wonosari-Punung	Batu lanau, gamping, gamping terumbu
IV	3	31, 6K, 18K	Alluvium Tua	batu lanau, konglomerat, batu lempung,
V	1	3K	Gamping-Wungkal	batu lempung, gamping
VI	1	4K	Diorit Pendul	Diorit

Tabel 11. Interpretasi nilai v_s Formasi Merapi

Vs (m/s)	Kedalaman (m)	Litologi	Klasifikasi site berdasarkan SNI
< 175	0-50	Tanah	Tanah Lunak
175 – 350	0-50	Abu	Tanah Sedang
350 – 750	0-80	Tuff	Batuhan Lunak
750 – 1500	10-100	Breksi	Batuhan
> 1500	50-100	Leleran Lava	Batuhan Keras

Tabel 12. Interpretasi nilai v_s Formasi Batuan Malihan

Vs (m/s)	Kedalaman (m)	Litologi	Klasifikasi site berdasarkan SNI
<175 – 350	0-50	Tanah	Tanah Sedang
350 – 750	0-80	Batu pasir	Batuhan Lunak
750 – 1500	10-100	Batu Pualam	Batuhan
> 1500	50-100	Sekis	Batuhan Keras

Tabel 13. Interpretasi nilai v_s Formasi Wonosari-Punung

Vs (m/s)	Kedalaman (m)	Litologi	Klasifikasi site berdasarkan SNI
< 175-350	0-50	Tanah	Tanah Sedang
350 – 750	0-80	Batu Lanau	Batuan Lunak
750 – 1500	10-100	Batu Gamping	Batuan
> 1500	50-100	Batu Gamping Terumbu	Batuan Keras

Tabel 14. Interpretasi nilai v_s Formasi Alluvium Tua

Vs (m/s)	Kedalaman (m)	Litologi	Klasifikasi site berdasarkan SNI
< 175	0-50	Tanah	Tanah Lunak
175 – 350	0-50	Batu Pasir	Tanah Sedang
350 – 750	0-80	Batu Lempung	Batuan Lunak
750 – 1500	10-100	Konglomerat	Batuan
> 1500	50-100	Agglomerat	Batuan Keras

Tabel 15. Interpretasi nilai v_s Formasi Gamping-Wungkal

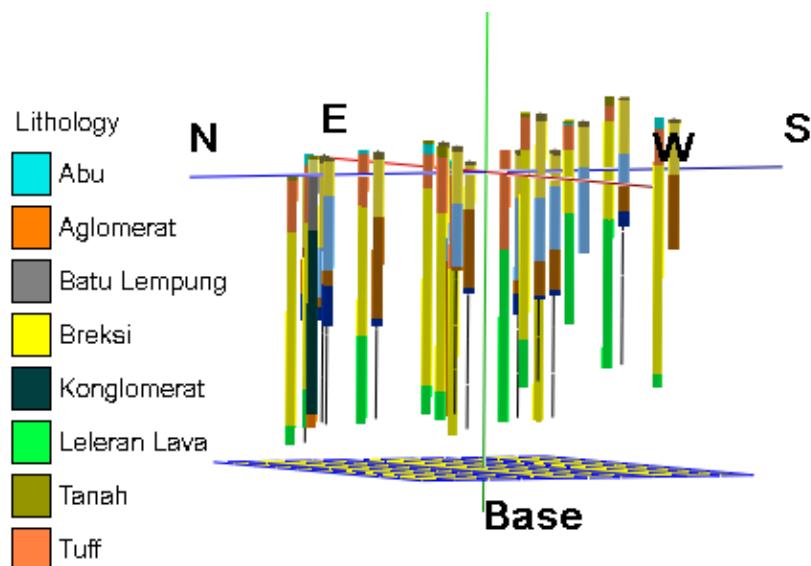
Vs (m/s)	Kedalaman (m)	Litologi	Klasifikasi site berdasarkan SNI
< 175-350	0-50	Tanah	Tanah Lunak
350 – 750	0-80	Batu Lempung	Batuan Lunak
750 – 1500	10-100	Batu lanau	Batuan
> 1500	50-100	Batu Gamping	Batuan Keras

Tabel 16. Interpretasi nilai v_s Formasi Diorit

Vs (m/s)	Kedalaman (m)	Litologi	Klasifikasi site berdasarkan SNI
< 175-350	0-50	Tanah	Tanah Sedang
350 – 750	0-80	Diorit	Batuan Lunak
750 - >1500	10-100	Diorit	Batuan Keras

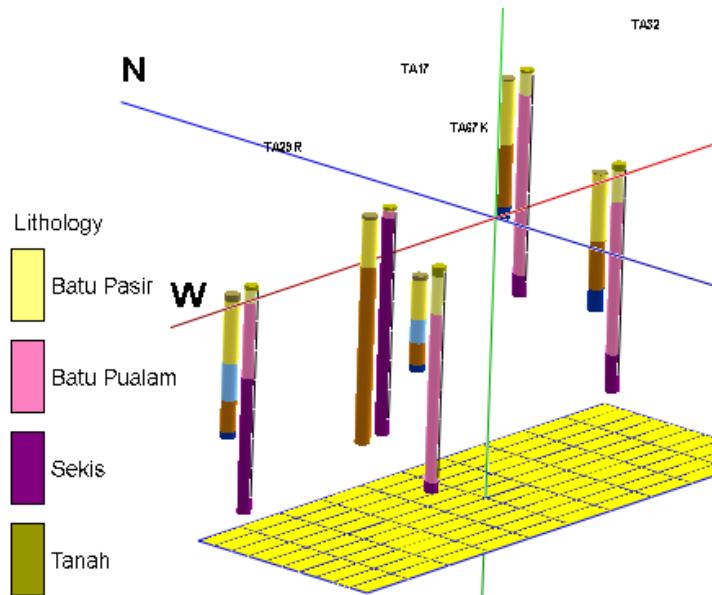
Pemodelan tiga dimensi litologi bawah permukaan dapat dilihat dari *Multiple log*. Zona I mencakup Formasi Merapi Muda di Kecamatan Bayat (Gambar 20). Zona ini secara keseluruhan tertutup oleh tanah dan abu pada kedalaman 0 – 2 meter. Lapisan di bawahnya didominasi oleh batuan breksi pada

kedalaman sekitar 30 meter – 80 meter. Lapisan paling bawah terdapat leleran lava dengan kedalaman 90 meter – 100 meter.



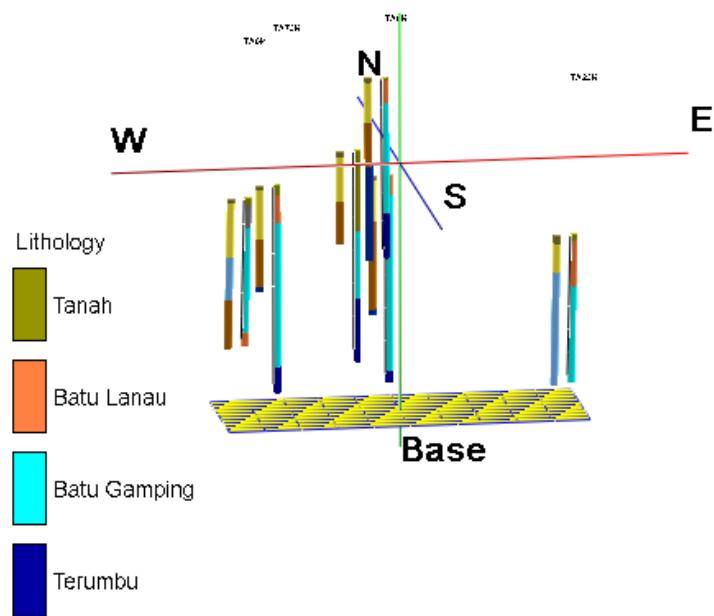
Gambar 20. Tampilan *Multilog* 3D Zona I Formasi Merapi Muda

Zona II mencakup wilayah yang berada pada Formasi Batuan Malihan Kecamatan Bayat. Zona II secara keseluruhan tertutupi oleh tanah dengan kedalaman 0 – 1 meter. Lapisan dibawahnya didominasi oleh batu pasir dengan kedalaman sekitar 10 – 50 meter dan lapisan ketiga yang lapisannya cukup dalam didominasi oleh batu pualam dengan kedalaman 30 – 90 meter.



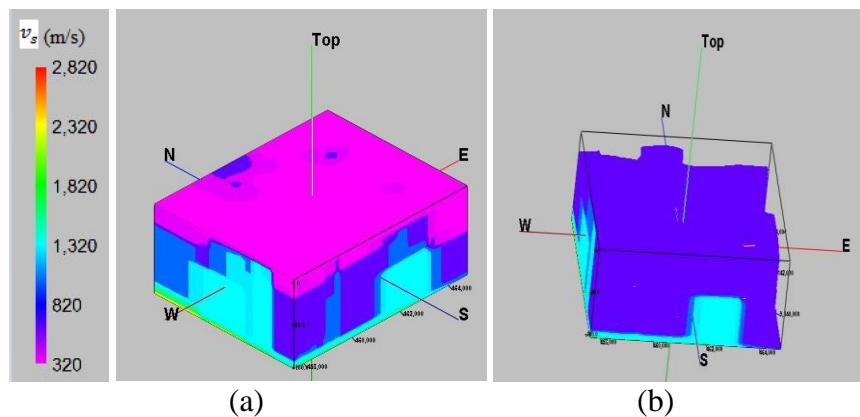
Gambar 21. Tampilan *Multilog* 3D Zona II Formasi Batuan Malihan

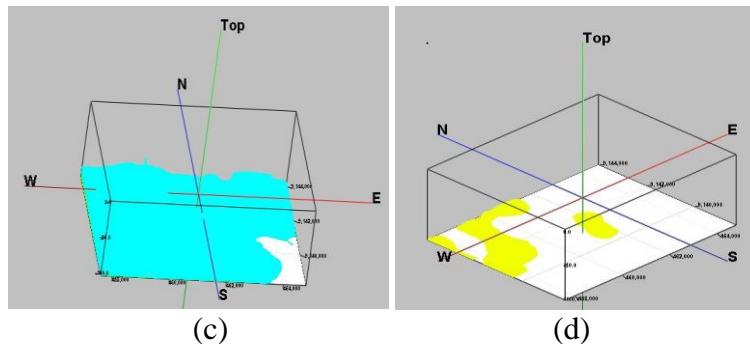
Zona III mencakup wilayah yang berada pada Formasi Wonosari-Punung di Kecamatan Bayat Kabupaten Klaten. Zona III menunjukkan bahwa secara keseluruhan lapisan ini tertutupi oleh tanah dengan kedalaman 0 – 5 meter. Lapisan di bawahnya didominasi oleh batu lanau dengan kedalaman sekitar 5 meter – 30 meter. Berdasarkan model, sebagian besar Zona III didominasi oleh batuan gamping dan gamping terumbu yang cukup tebal pada kedalaman sekitar 20 meter – 90 meter.



Gambar 22. Tampilan *Multilog* 3D Zona III Formasi Wonosari-Punung

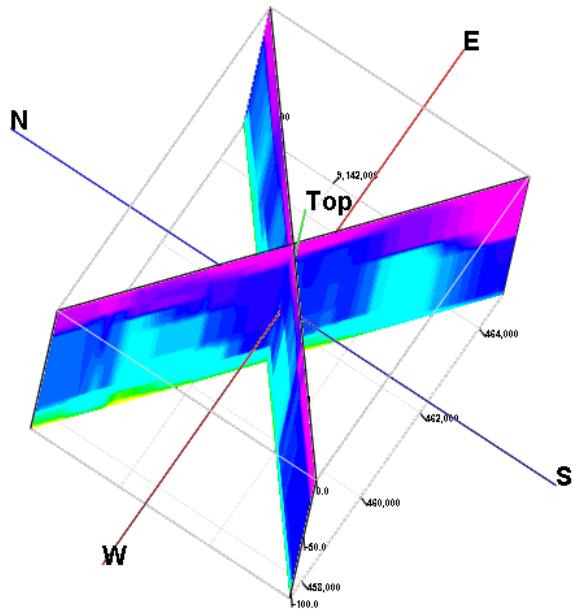
Pemodelan 3D wilayah penelitian bertujuan untuk memudahkan visualisasi dan interpretasi litologi bawah permukaan berdasarkan nilai v_s yang diperoleh dari *ground profiles*.





Gambar 23. Model 3D berdasarkan jenis tanah (a) model *full* litologi (b) model 3D tanpa lapisan tanah (c) model 3D tanpa tanah dan batuan lunak (d) model 3D batuan keras.

Gambar 23 (a) merupakan pemodelan 3D (tiga dimensi) di daerah penelitian yang menunjukkan interpretasi litologi berdasarkan nilai v_s . Gambar 23(b) menunjukkan jika material tanah dihilangkan dari model maka akan terlihat persebaran batuan lunak menyebar dengan ketebalan yang berbeda. Gambar 23(c) menunjukkan persebaran breksi, aglomerat, dan gamping cukup tebal yaitu pada sisi bagian selatan dan barat, pada bagian timur terlihat material lapisan lebih tipis. Gambar 23(d) menunjukkan batuan dibagian dasar penelitian yang terdiri atas, gamping terumbu, leleran lava dan sekis. Pada sisi Barat batuan merupakan gamping terumbu yang menjadi penyusun litologi pada titik 0K dan 73K berada di daerah perbatasan Desa Jimbung dan Desa Krakitan, kemudian untuk sisi selatan batuan merupakan leleran lava yang menjadi penyusun pada titik 67 berada di Desa Jarum dan sisi Barat Daya batuan merupakan sekis yang berada pada titik 29R.



Gambar 24. Sayatan persebaran kecepatan gelombang geser

Sayatan (Gambar 24) menunjukkan bahwa daerah Kecamatan Bayat didominasi batuan lunak hingga batuan ditandai dengan spektrum warna biru tua dan hijau tosca. Batuan keras terlihat di wilayah Barat Laut yang ditandai spektrum kuning-merah.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil mikrozonasi nilai frekuensi predominan berada pada kisaran 0,55 Hz – 10,5 Hz dan faktor amplifikasi berada pada kisaran 2,20 – 27,60. Nilai faktor amplifikasi rendah berada pada rentang nilai 2,20 – 2,99 di Desa Gn. Gajah, Tegalrejo, dan Krakitan sisi timur. Nilai faktor amplifikasi tinggi berada pada rentang nilai 6,00 – 27,60 terdapat di Desa Wiro bagian utara, Talang bagian utara, Paseban bagian selatan, Banyuripan bagian selatan, Krakitan bagian selatan, Jotangan bagian selatan, Karakitan, Tawangrejo dan Nengahan, Jarum.
2. Nilai kecepatan gelombang (v_s) pada titik pengukuran di Kecamatan Bayat dapat dilihat dari formasinya. Untuk zona I (Formasi Merapi Muda) dari 13 titik pengukuran persebaran nilai v_s memiliki rentang nilai 142,3 m/s – 2.450,8 m/s. Zona II (Formasi Batuan Malihan) dari 5 titik pengukuran persebaran nilai v_s memiliki rentang nilai 180,7 m/s – 2.190,9 m/s. Zona III (Formasi Wonosari-Punung) dari 6 titik pengukuran persebaran nilai v_s memiliki rentang nilai 225,1 m/s – 2.841,3 m/s. Zona IV (Formasi Alluvium Tua) dari 3 titik pengukuran persebaran nilai v_s memiliki rentang nilai 152,8 m/s – 2.203,4 m/s. Zona V (Formasi Gunung Wungkal) memiliki 1 titik

- pengukuran 277,9 m/s – 1.543,4 m/s. Zona VI (Formasi Diorit Pindul) memiliki 1 titik pengukuran 276,1 m/s – 765,2 m/s.
3. Kecamatan Bayat memiliki litologi penyusun struktur bawah permukaan di dominasi *tuff* dan breksi pada Formasi Merapi Muda, pualam dan sekis pada Formasi Batuan Malihan, batu lanau dan gamping pada Formasi Wonosari-Punung, batu lempung pada Formasi Alluvium Tua, konglomerat pada Formasi Gamping-Wungkal, dan batuan diorite pada Formasi Diorit Pendul.

B. Saran

Untuk penelitian selanjutnya disarankan titik yang diambil lebih banyak agar dapat mencakup semua formasi di Kecamatan Bayat dan perlunya data bor agar hasilnya lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Arnold, E.P. (1986). Southeast Asia Association on Seismology and Earthquake Engineering. Indonesia: *Series on Seismology Volume V*.
- Anang Pamungkas dkk, Endhiq. (2006). *Gempa Bumi, Ciri dan Cara Menaggulanginya*. Yogyakarta: Gitanagari.
- Alonso, M. dan Finn. (1994). *Dasar-dasar Fisika Universitas: Medan dan Gelombang*. Jakarta: Erlangga.
- Arai, H., & Tokimatsu, K., (2004). S-wave velocity profiling by inversion of microtremor H/V spectrum, Bulletin of the Seismological Society of America, 94(1),R. L. dan Jackson, J. A., (1987). *Glossary of Geology*. American Geological Institute.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB). (2018). Grafik Bencana Alam Tahun 2007 s/d 2017. Diakses dari <https://bnpb.cloud/dibi/> pada 9 April 2018, jam 22.29 WIB.
- Badan Standarisasi Nasional (SNI) 1726. (2010). Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa dan Struktur Bangunan Gedung dan non Gedung. Jakarta
- BAPPEDA. (2006). *Data Bencana Kabupaten Klaten 2009-2013*. Klaten.
- BAPPEDA. (2017). *Peta Geologi Kabupaten Klaten*. Klaten.
- BAPPENAS. (2009). *Bab IV Hasil Analisa Sistem Penanggulangan Bencana*. Jakarta.
- Bates, R.L., and Jackson, J.A. (1987). *Glossary of geology (3rd ed.)*. Amerika. American Geological Institute.
- Bowles, J.E. (1997). *Foundation Analysis and Design, Fifth Edition*. Washinton D.C.
- BPS Kab Klaten. 2015. *Kepala Keluarga, Penduduk akhir Tahun dan Rata-rata Anggota Kepala Keluarga Menurut Kecamatan di Kabupaten Klaten Tahun 2015*. Klaten.
- Burger, H.R. (1992). *Exploration Geophysics of the Shallow Subsurface*. Englewood Cliffs. NJ.

- Daryono, Sutikno, Prayitni, dan Setio. (2009). *Data Mikrotremor dan pemanfaatannya untuk Pengkajian Bahaya Gempabumi*. Yogyakarta: BMKG.
- Energi dan Sumber Daya Manusia (ESDM). (2017). *Pengenalan gempa bumi*.
 - Diakses <https://www.esdm.go.id/assets/media/content/>. Pada 28 Mei 2018, jam 20.13 WIB.
- Elnashai, S.A. dan Sarno, D.L.,(2008), *Fundamental of Earthquake Engineering*.
- Halliday, D. (1978). *Physics, 3rd Edition*. New York: Jhon Wiley & Sons, Inc.
- Howell, B. JR. (1969). *Introduction to Geophysics*. New York: McGraw-Hill.
- Kanai, K., (1983). *Engineering Seismology*. Japan: University of Tokyo Press.
- Khayati, Novia Nurul. *Analisis Zona Gerakan Tanah Berdasarkan Pengukutan Mikrotremor Di Dusun Ngroto Desa Purwosari Kecamatan Girimulyo Kabupaten Kulon Progo*. Skripsi. Prodi Fisika: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Kholis, N. (2015). *Karakteristik Mikrotremor di Permukaan Sungai Bawah Tanah Bribin, Kawasan Karst Gunung Sewu, Berdasarkan Analisis Spektrum, Horizontal to Pertical Spectral Ratio (HVSR), dan Time Frequency Analysis (TFA)*. Skripsi: Prodi Fisika: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Lowrie, William. (2007). *Fundamentals of Geophysics*. New York: Cambridge University Press.
- Manzella, A.,(1990). *Geophysical Methods in Geothermal Exploration*. Pisa, Italy: Italian National Research Council International Institute for Geothermal Research.
- Mirzaoglu, M., and Dykmen, U., (2003). Application of microtremors to seismic microzoning procedure. Balkan: *Journal of the Balkan Geophysical*, Vol. 6, No. 3.
- Nakamura, Y. (1989). A method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface Using Microtremor on The Ground Surface. Japan: *Quarterly Report of Railway Tachnical Research Institute (RTRI)*. Vol.3. No.1.
- Nakamura, Y. (1997). *Seismic Vulnerability Indices for Ground and Structures Using Microtremor*. Florence: World Congres on Research Institute.

- Nakamura, Y. (2000). *Clear identification of fundamental idea of Nakamura's Technique and its application*. Japan: System and data research.
- Nakamura, Y. (2008). *On the H/V Spectrum*. Beijing: The 14th World Conference on Earthquake Engineering.
- Novianita, A. (2009). *Penggunaan Microtremor Ellipticity Curve Untuk Menentukan Struktur Lapisan Bawah Permukaan Di Daerah Yogyakarta*. Skripsi. Jurusan Fisika: Universitas Diponegoro.
- Pemerintah Kabupaten Klaten. (2018). Geografi dan Topografi Kabupaten Klaten. Diakses pada 9 April 2018, jam 23.10 WIB.
- SESAME. (2004). *Guidelines For The Implementation Of The H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations*. Europe: SESAME European Research Project.
- Shearer, M. (2009). *Introduction to seismology, Second edition*. Cambridge University press. New York. USA.
- Siti Patimah. (2017). *Analisis Litologi Bawah Permukaan Berdasarkan Ground Profiles Kecepatan Gelombang Geser Dengan Metode Ellipticity Curve Di Kecamatan Gantiwarno Kabupaten Klaten*. Skripsi. Prodi Fisika: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Surono. (2008). Litostratigrafi dan Sedimentasi Formasi Kebo dan Formasi Butak di Pegunungan Baturagung, Jawa Tengah Bagian Selatan, *Jurnal Geologi Indonesia*, Vol. 3 No. 4, h.183-193.
- Susilawati. (2008). *Penerapan Penjalaran Gelombang Seismik Gempa pada Penelaahan Struktur Bagian dalam Bumi*. Skripsi. Prodi Fisika: Universitas Sumatera Utara.
- Tan, Li. (2008). *Digital Signal Processing Fundamentals and Applications*. San Francisco: Elsevier.
- Telford, W. M. Geldart, L. P. Sheriff, R. E. (2004). *Applied geophysics Second Edition*. New York: Cambridge University Press.
- Thomson. (2006). *Geology of the Oceans*. Utah: Brooks/Cole Publishing Company.

Tipler, Paul A. (Alih bahasa Dra. Lea Prasetio, M.Sc, Rohmad, W Adi, P.Hd). (1998). *Fisika Untuk Sains dan Teknik, Edisi Ketiga, Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.

Young, Hugh D & Freedman, Roger A. (2006). *Fisika Universitas Edisi 10 Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.

LAMPIRAN 1.

Tabel nilai Vs dan Litologi berdasarkan *Ground Profiles*

Titik	Misfit	Depth (m)	Vs	Litologi berdasarkan nilai Vs	Formasi
18	0.072	1.02	165.7	Tanah	Merapi Muda
		2.03	421.3	Abu	
		15.1	621.3	Tuff	
		47.4	1100.4	Breksi	
		104.2	1980.5	Leleran Lava	
30	0.153	1.3	152.4	Tanah	
		5.1	272.5	Abu	
		17.9	482.9	Tuff	
		92.6	748.7	Breksi	
		104.2	1799.9	Leleran Lava	
41	0.081	4.2	327.2	Tanah	
		25.6	665.7	Tuff	
		93.4	1383.4	Breksi	
		104.7	2450.8	Leleran Lava	
43	0.132	1.5	337.4	Abu	
		21.2	399.8	Tuff	
		70.1	860.9	Breksi	
		104.8	1558.3	Leleran Lava	
44	0.189	4.5	191.8	Abu	
		25.8	667.1	Tuff	
		89.3	1185.8	Breksi	
		100	1863.9	Leleran Lava	
67	0.159	3.3	152.9	Tanah	

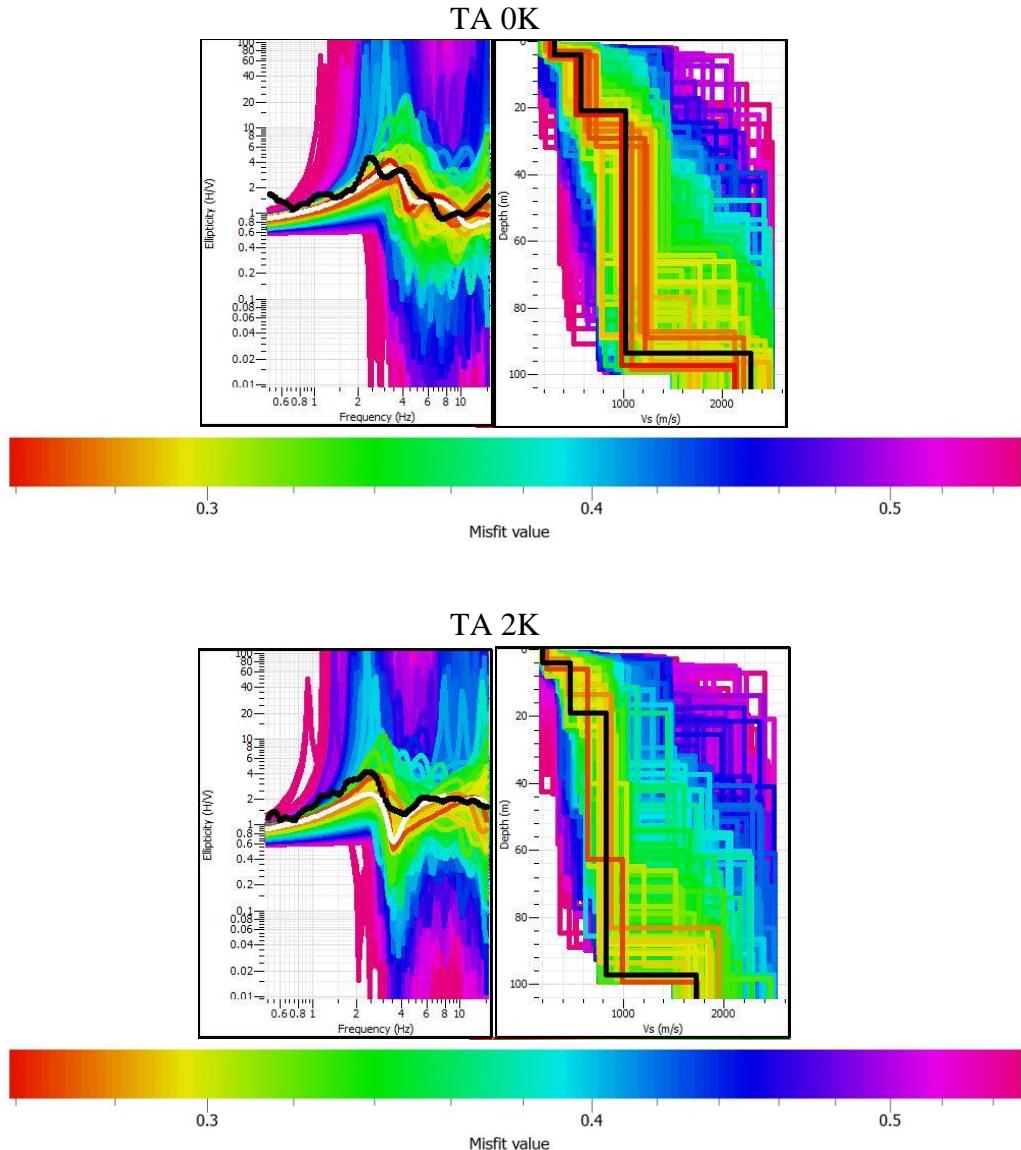
		9.2	440.1	Tuff	
		46.8	1106.7	Breksi	
		103.2	1742.8	Leleran Lava	
2K	0.157	4.2	207.4	Abu	
		18.1	471.9	Tuff	
		97.1	847.2	Breksi	
		102.3	1720.4	Leleran Lava	
21K	0.214	3.8	169.8	Tanah	
		51.6	366.1	Tuff	
		103.2	929.8	Breksi	
9K	0.134	6.1	275.8	Abu	
		32.8	573.9	Tuff	
		101.6	1243.8	Breksi	
19K	0.124	4.1	382.1	Tuff	
		38.3	593.1	Tuff	
		103.2	1582.3	Leleran Lava	
19	0.129	1.51	172.3	Tanah	
		2	283.2	Abu	
		13.8	518.3	Tuff	
		86.3	846.3	Breksi	
		104.1	1973.3	Leleran Lava	
22K	0.157	4.3	176.9	Abu	
		40.9	433.2	Tuff	
		104.2	901.3	Breksi	
24K	0.209	2.3	142.3	Tanah	
		22.1	470.3	Tuff	
		95.2	798.5	Breksi	

		102.7	1761.9	Leleran Lava	
29R	0.165	1.81	195.3	Tanah	
		7.78	522.4	Batu Pasir	
		42.2	789.1	Batu Pualam	
		104.2	2190.9	Sekis	
32	0.083	2.8	186.2	Tanah	
		17.1	498.7	Batu Pasir	
		86.7	892.6	Batu Pualam	
		104.1	1754.3	Sekis	
67K	0.103	4.2	199.8	Tanah	
		21.5	457.2	Batu Pasir	
		98	861.1	Batu Pualam	
		103	1750.2	Sekis	
5K	0.131	1	180.7	Tanah	
		11.2	445.9	Batu Pasir	
		93.2	938.4	Batu Pualam	
		103.1	2188.9	Sekis	
42	0.053	39.7	306.7	Tanah	Wonosari Punung
		19.8	563.1	Batu lanau	
		73.1	819.6	Batu Gamping	
		104.1	1619.4	Gamping Terumbu	
0K	0.146	4.5	306.7	Tanah	
		20.2	563.9	Batu lanau	
		93.2	1024.4	Batu Gamping	
		103.4	2265.3	Gamping Terumbu	
7K	0.058	1.2	278.1	Tanah	

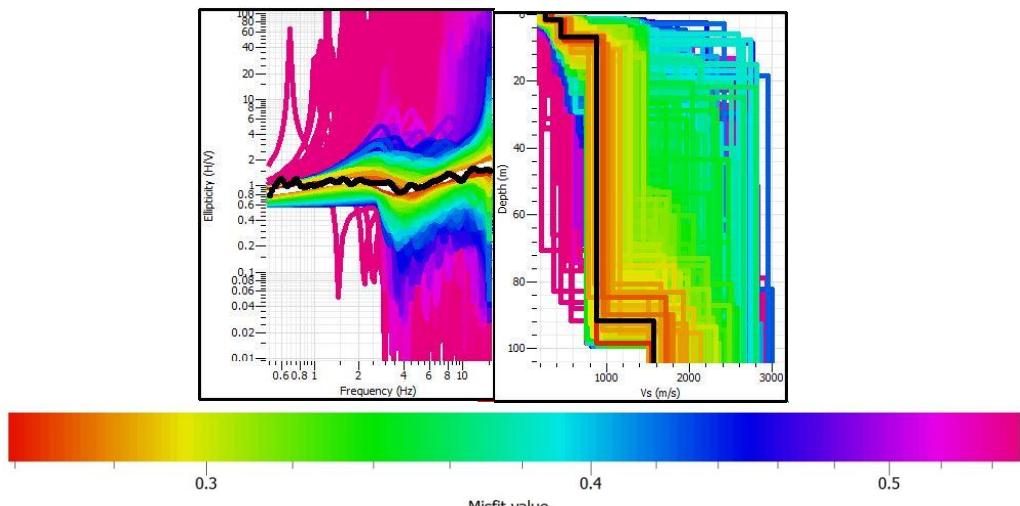
		14.2	455.8	Batu lanau	
		77.4	857.2	Batu Gamping	
		103.1	1622.4	Gamping Terumbu	
8K	0.132	10.1	687.1	Batu lanau	
		96.2	1283.3	Batu Gamping	
		102.1	2841.3	Gamping Terumbu	
23K	0.076	4	234.5	Tanah	
		36	571.4	Batu lanau	
		102.9	1153.2	Batu Gamping	
73K	0.154	4.9	225.1	Tanah	
		18.3	528.3	Batu lanau	
		89.2	974.1	Batu Gamping	
		102.3	1656.3	Gamping Terumbu	
31	0.139	1.2	152.9	Tanah	Alluvium Tua
		1.7	217.5	Batu Pasir	
		19.2	589.9	Batu Lempung	
		71.4	1108.1	Konglomerat	
		104.2	2203.4	Agglomerat	
6K	0.212	5.2	596.2	Batu Pasir	
		86.1	668.3	Batu Lempung	
		103.1	1929.3	Agglomerat	
18K	0.081	1	152.8	Tanah	
		7.4	347.3	Batu Pasir	
		28.1	655.3	Batu Lempung	
		98.1	1105.5	Konglomerat	
		103.1	1638.4	Agglomerat	
3K	0.047	1.2	277.9	Tanah	Gamping

		6.2	449.8	Batu Pasir	Wungkal
		90	891.2	Batu Lempung	
		102.9	1543.4	Konglomerat	
4K	0.08	2.4	276.1	Agglomerat	Diorit Pendul
		43.3	416.3	Tanah	
		103.2	765.2	Diorit	

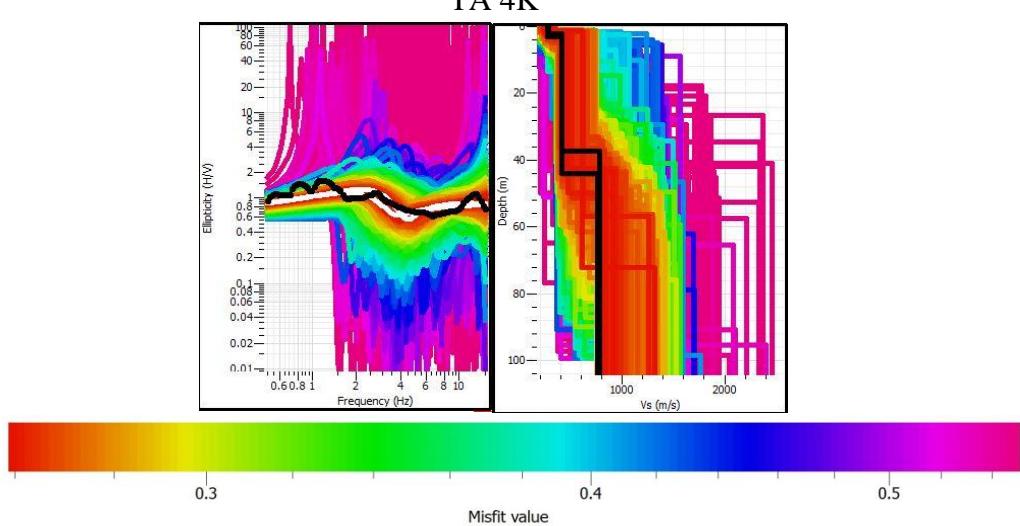
LAMPIRAN 2
KURVA ELLIPTICITY CURVE DAN GROUND PROFILES v_s



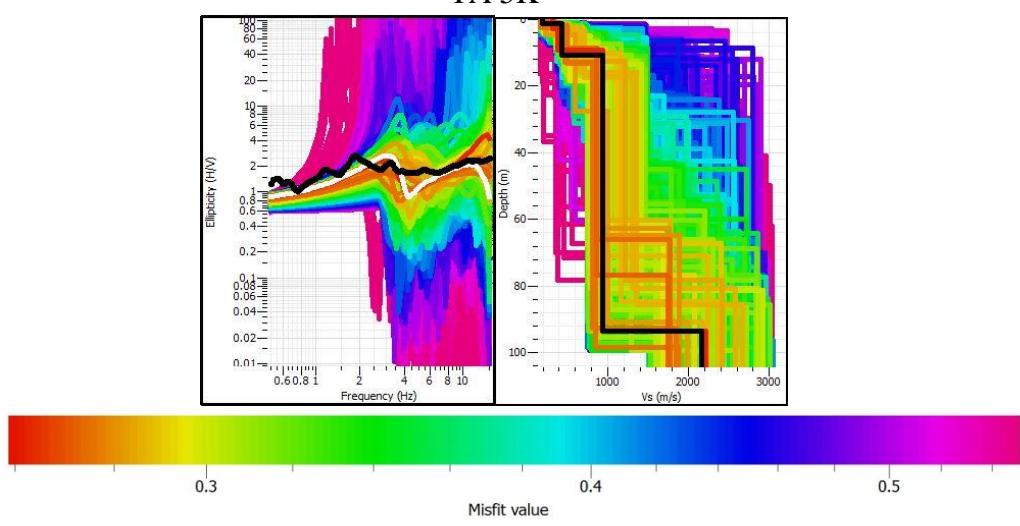
TA 3K



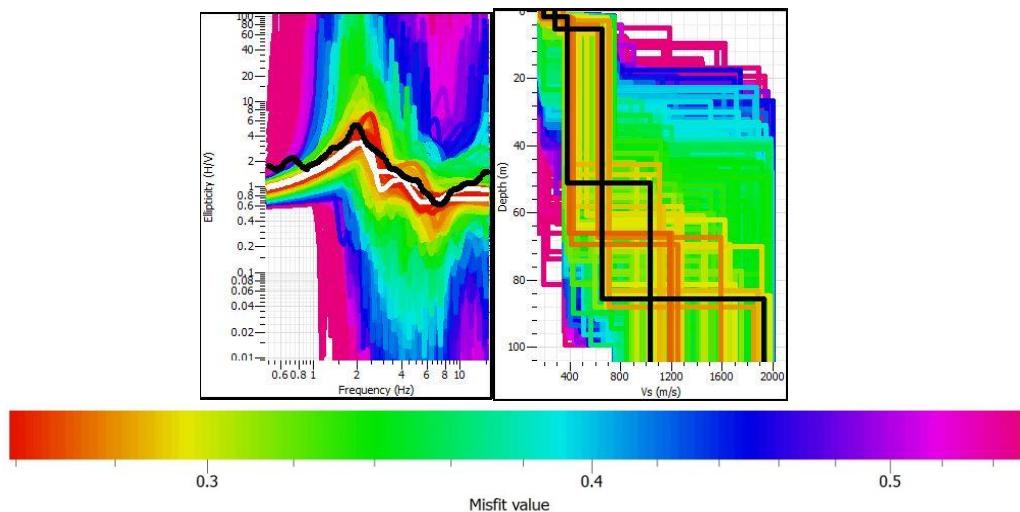
TA 4K



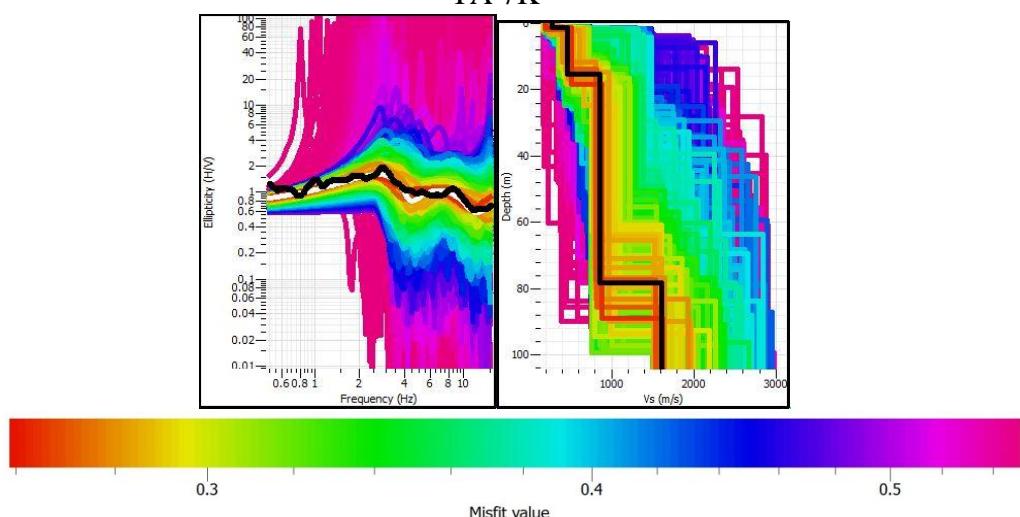
TA 5K



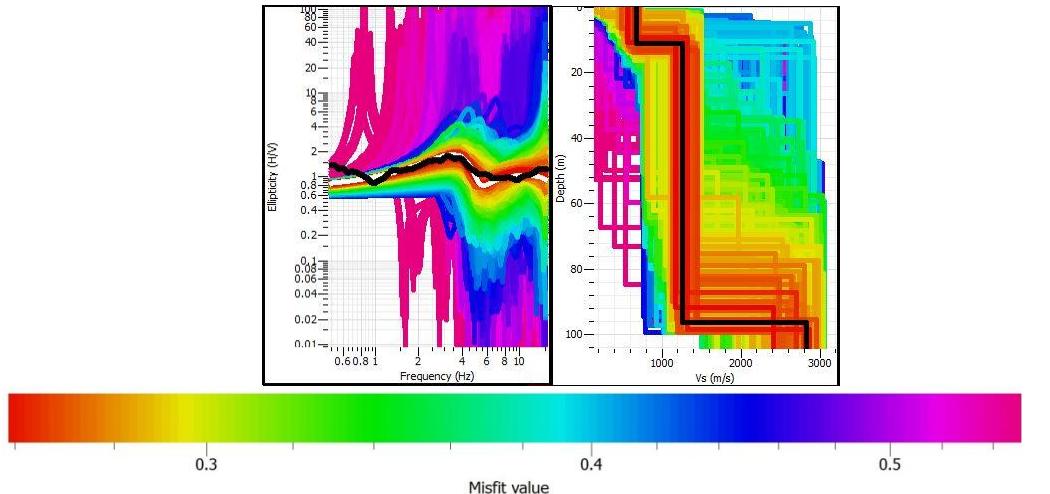
TA 6K



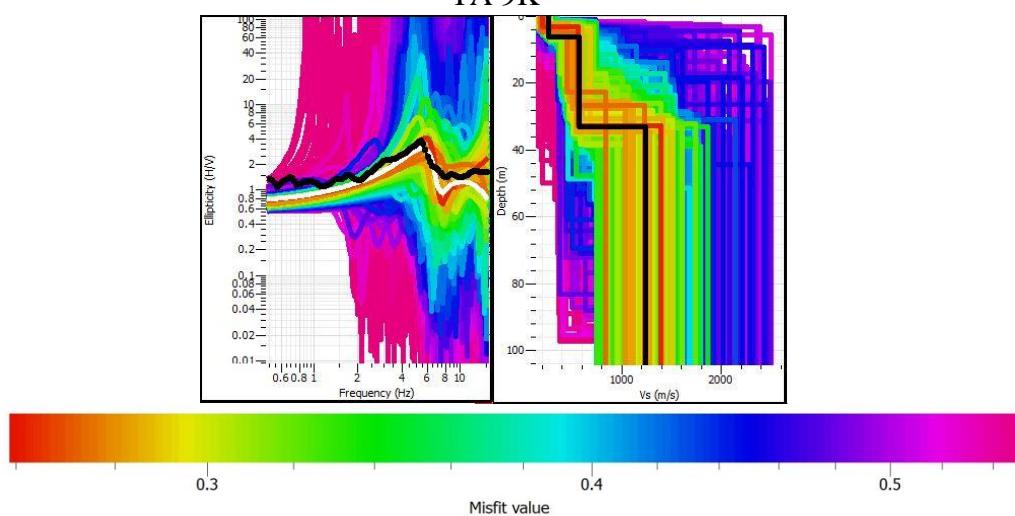
TA 7K



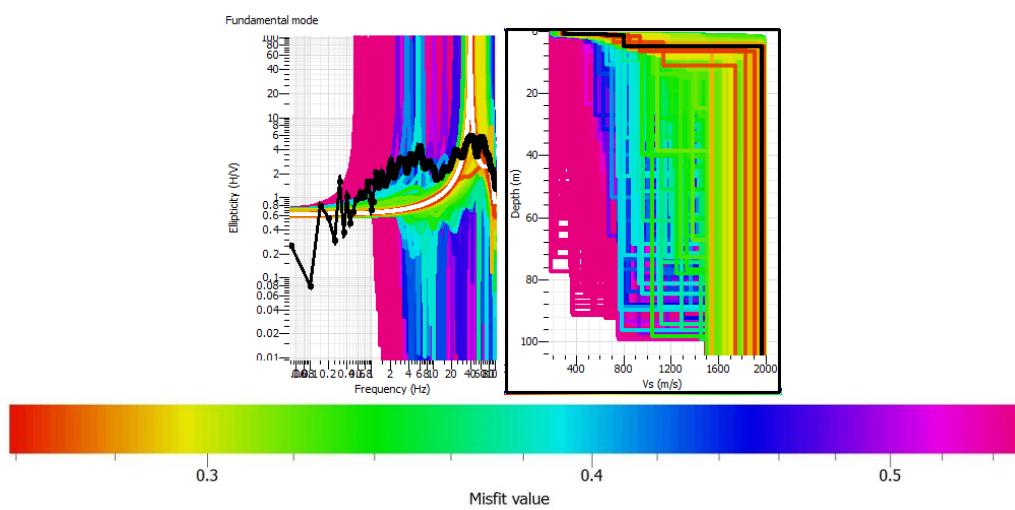
TA 8K



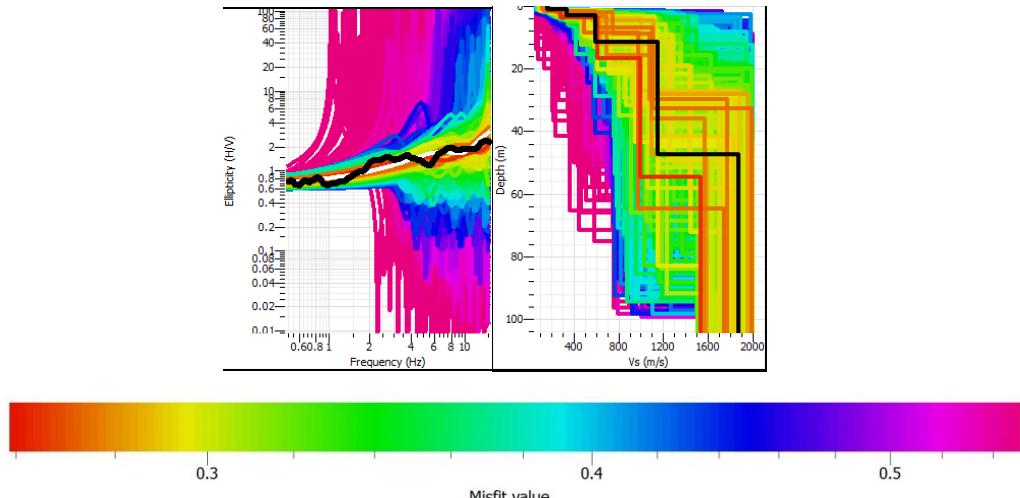
TA 9K



TA 17



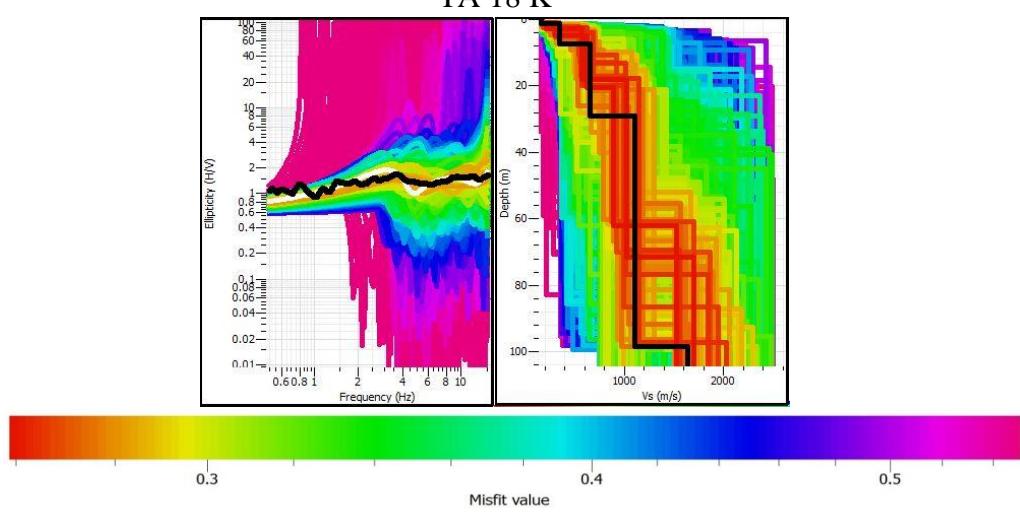
TA 18



Misfit value

0.3 0.4 0.5

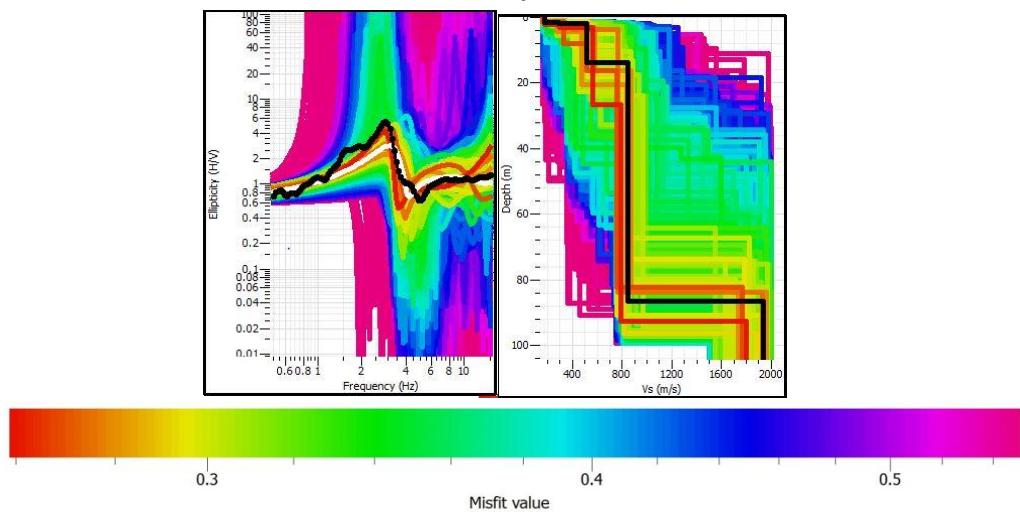
TA 18 K



Misfit value

0.3 0.4 0.5

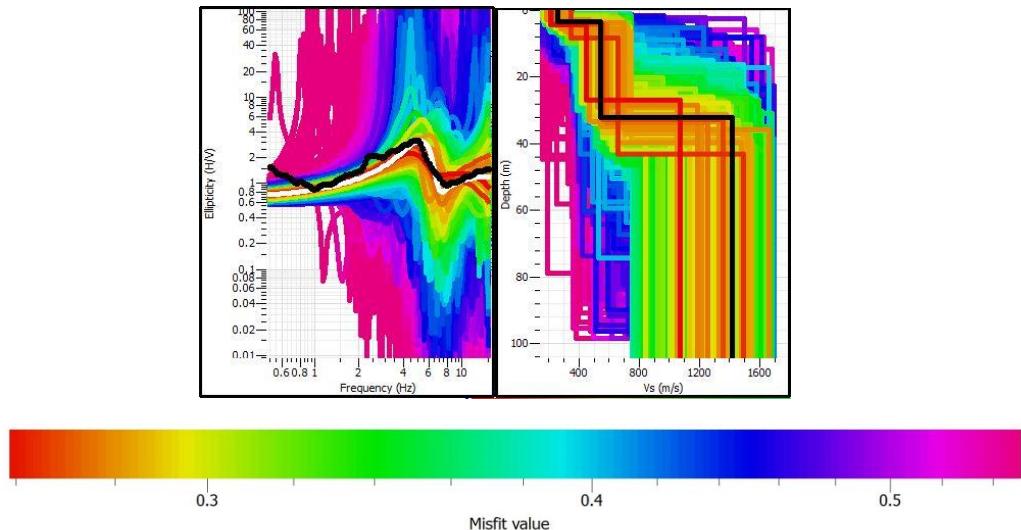
TA 19



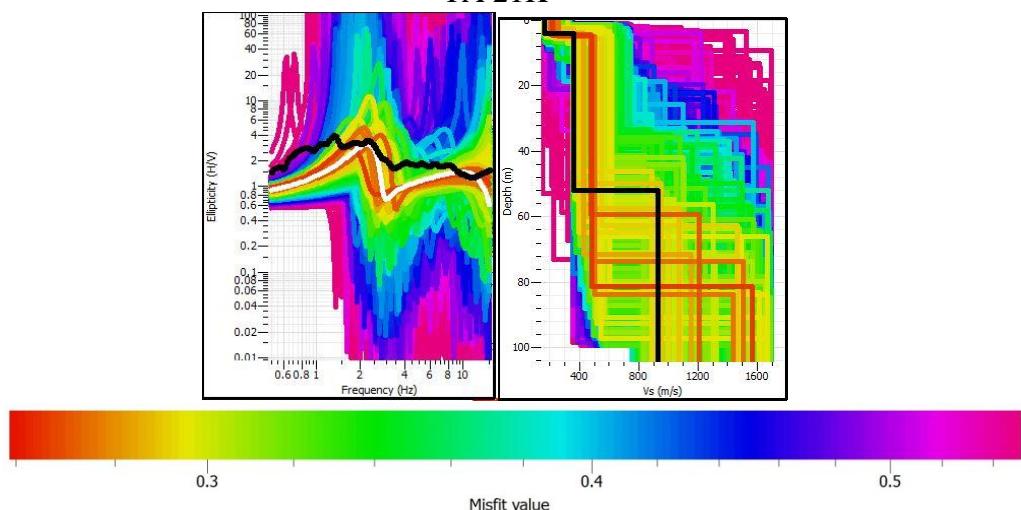
Misfit value

0.3 0.4 0.5

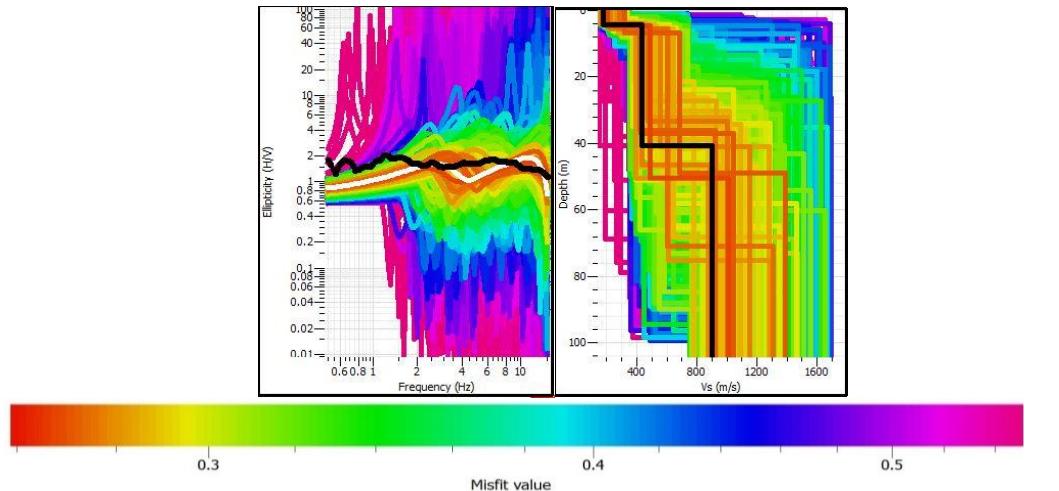
TA 19K



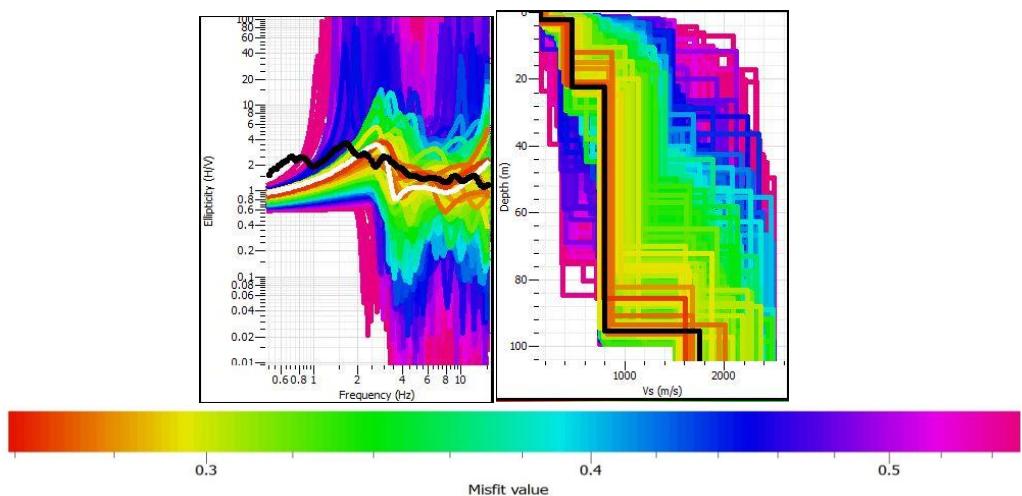
TA 21K



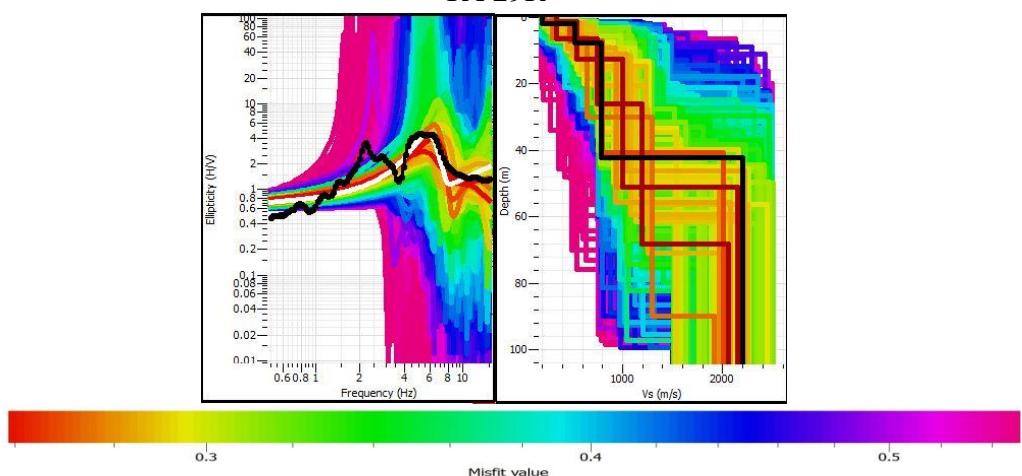
TA 22K



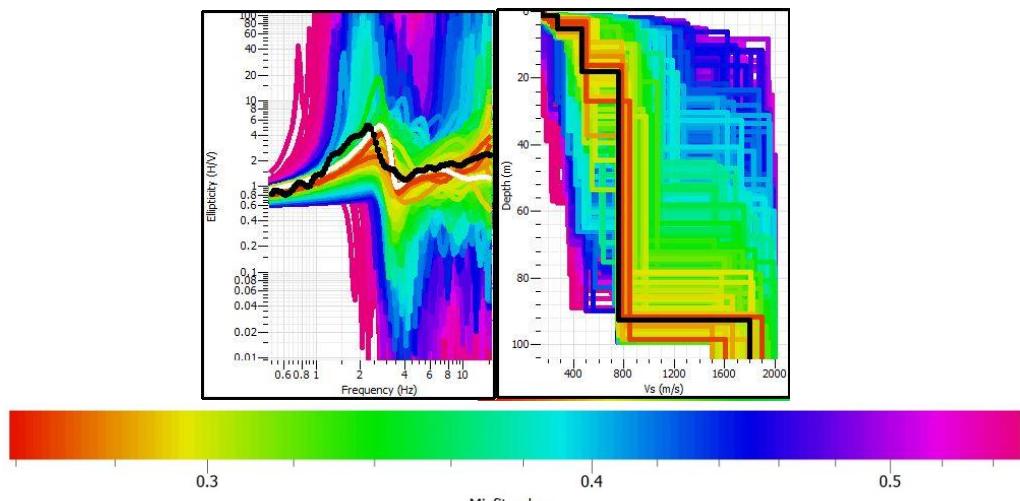
TA 24K



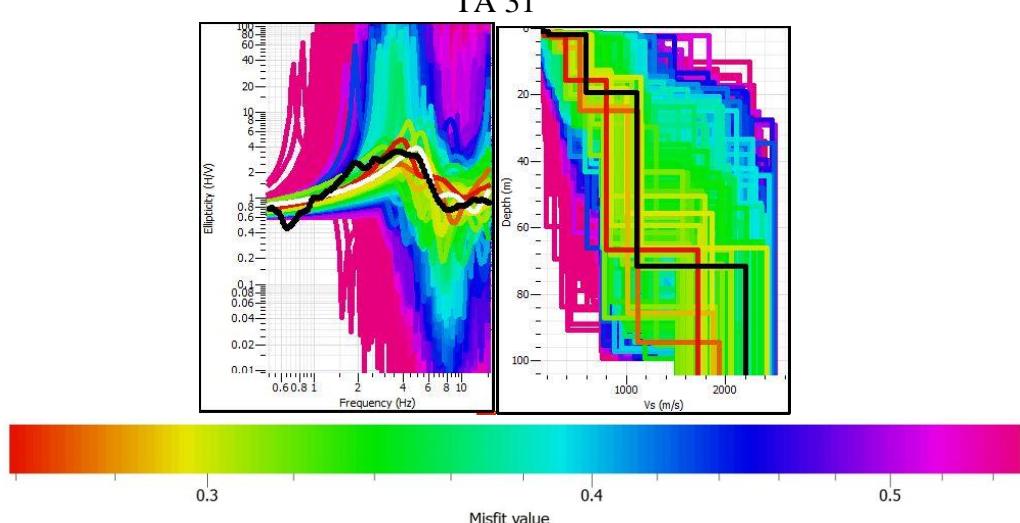
TA 29R



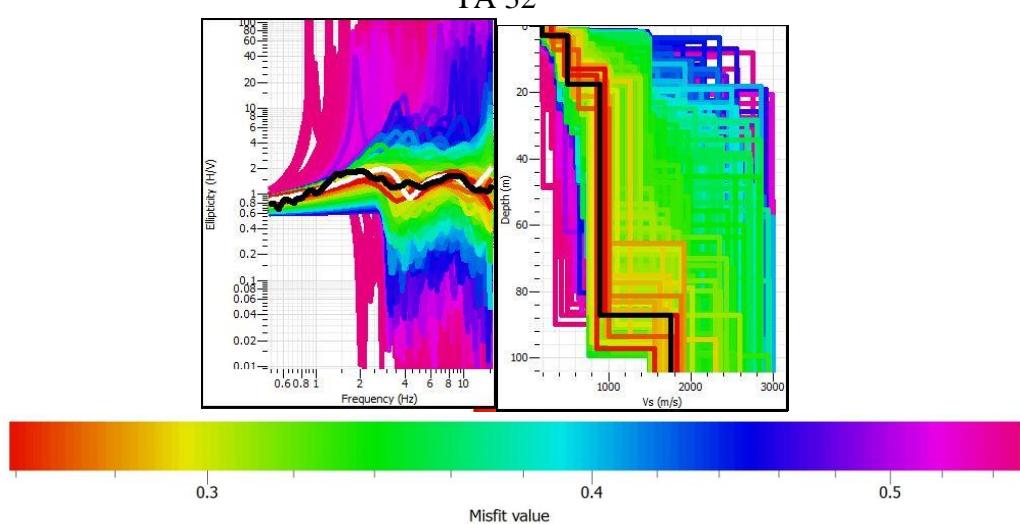
TA 30



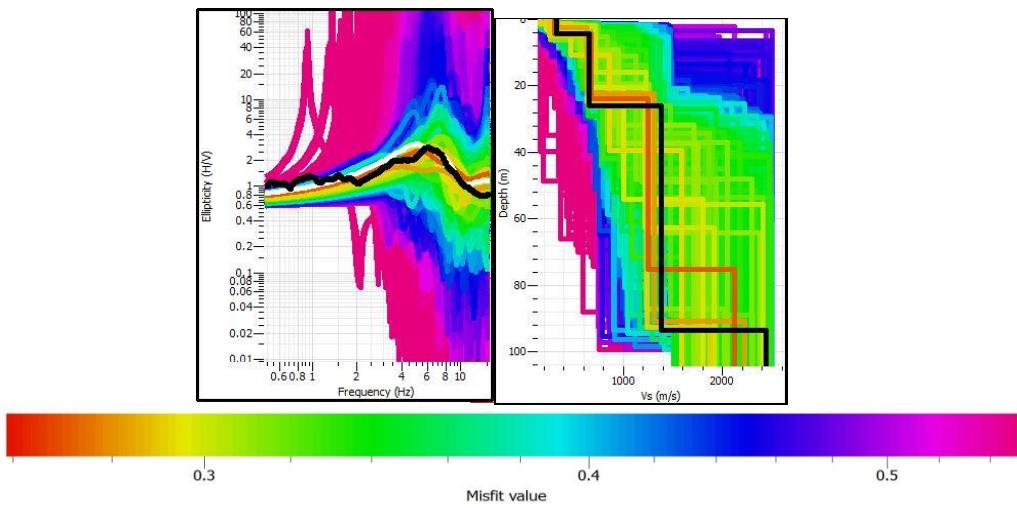
TA 31



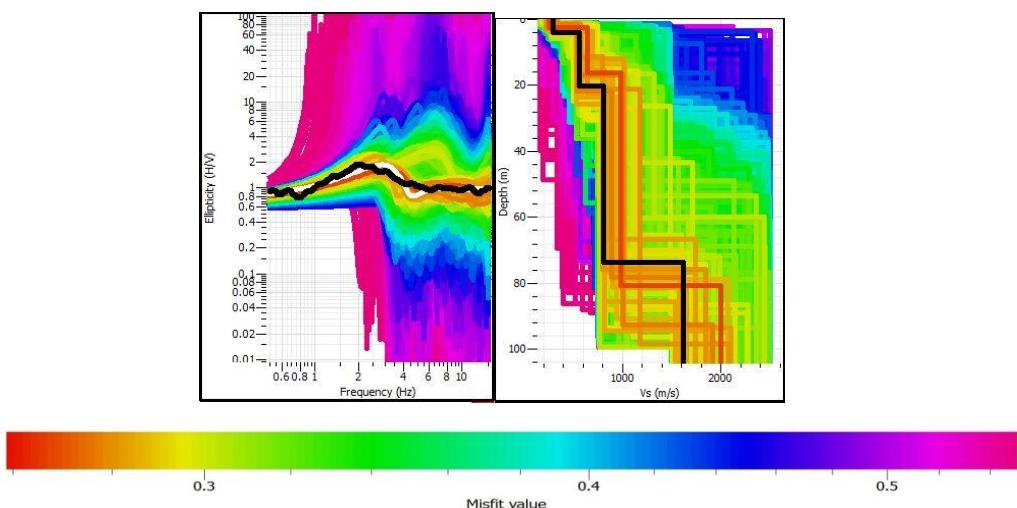
TA 32



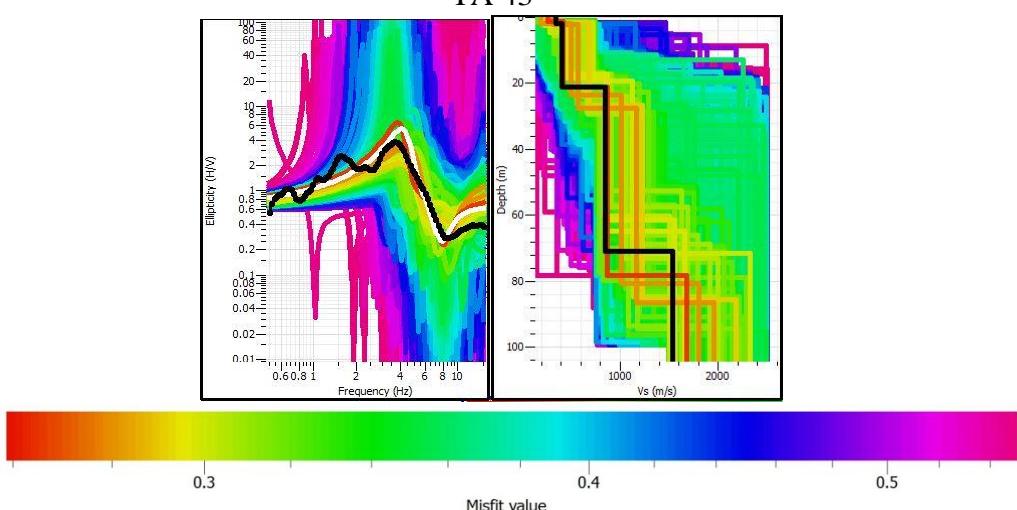
TA 41



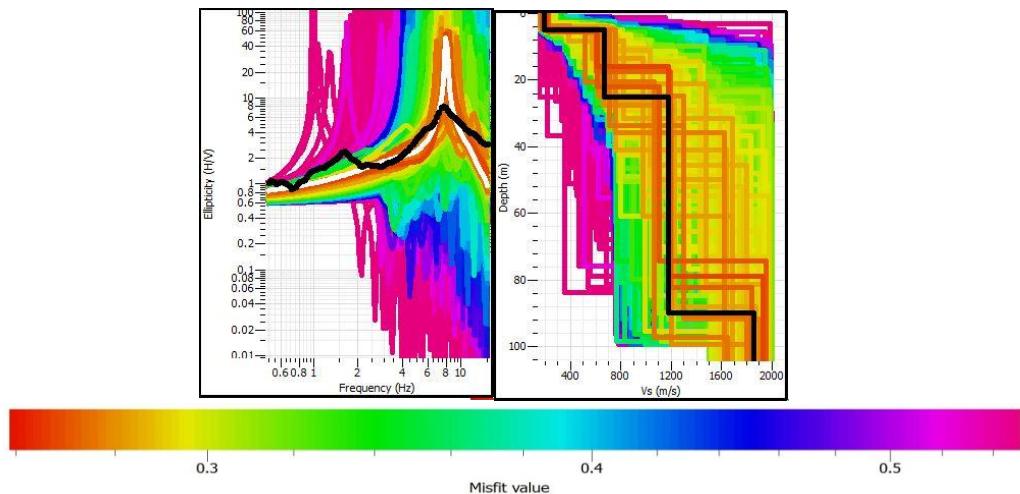
TA 42



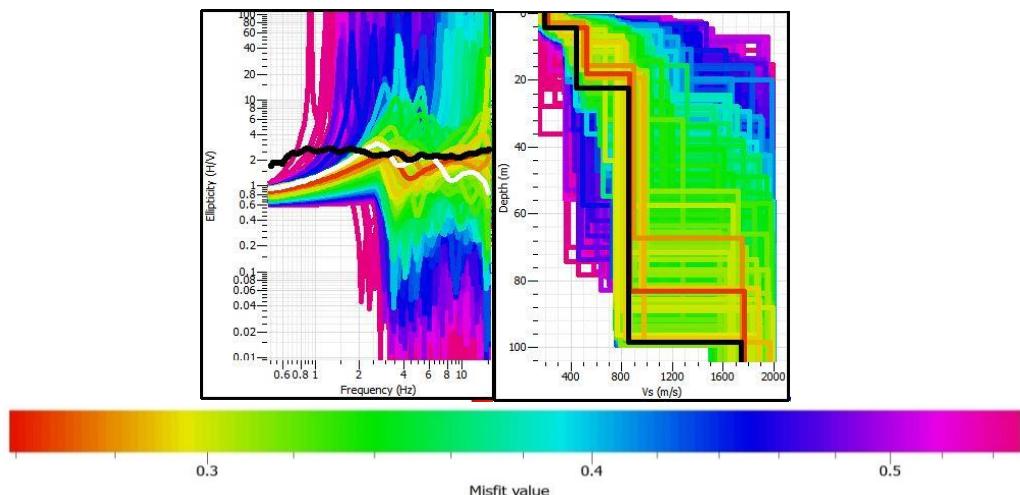
TA 43



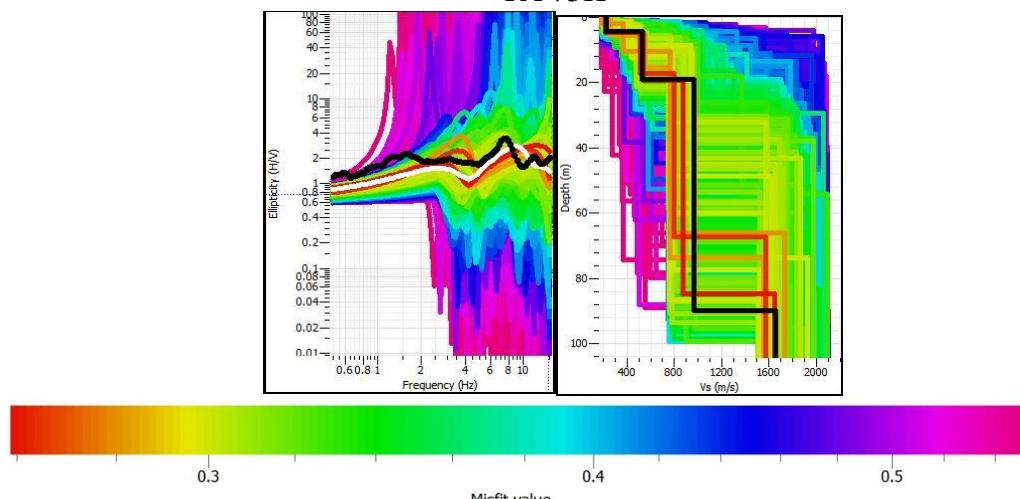
TA 44



TA 67K

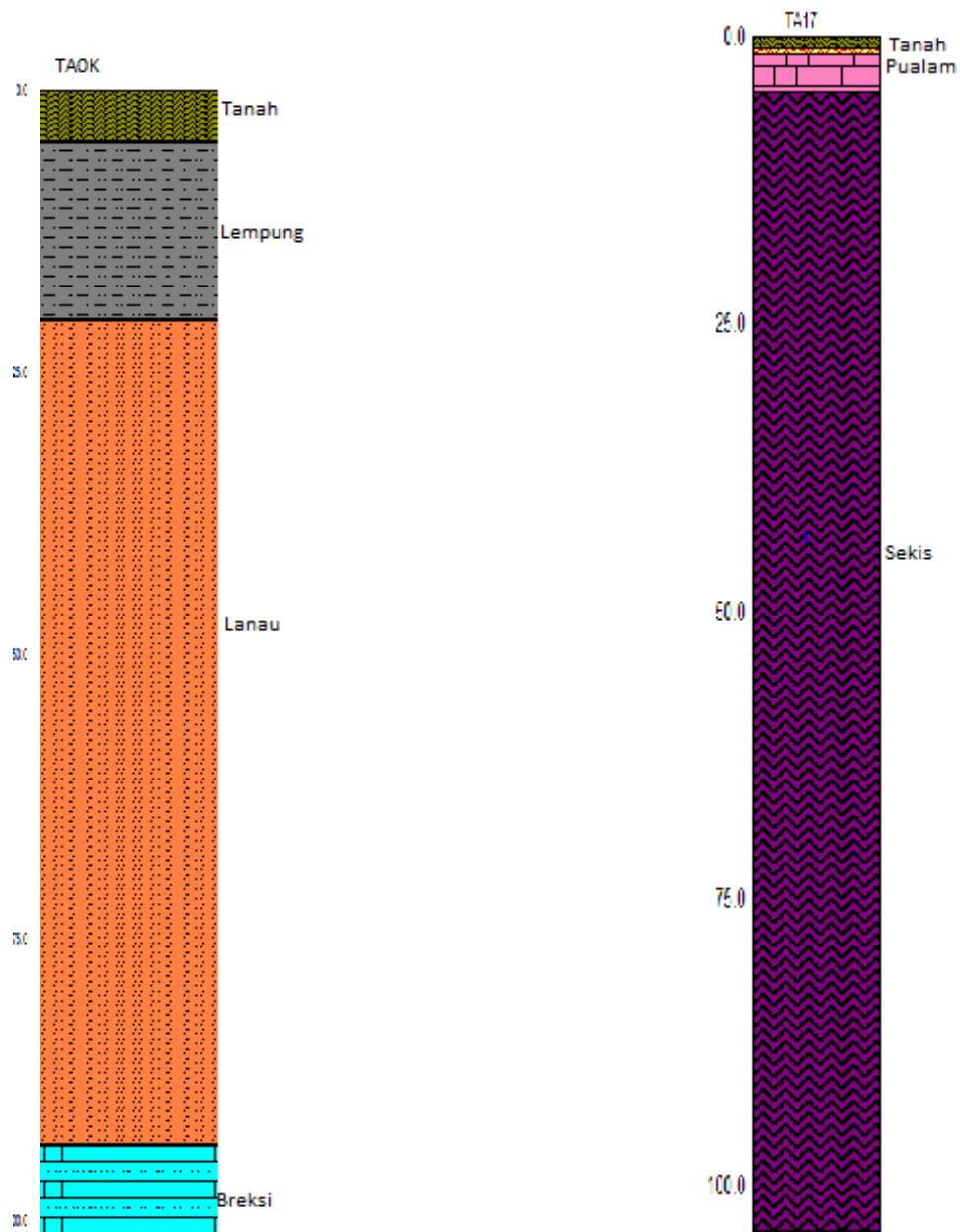


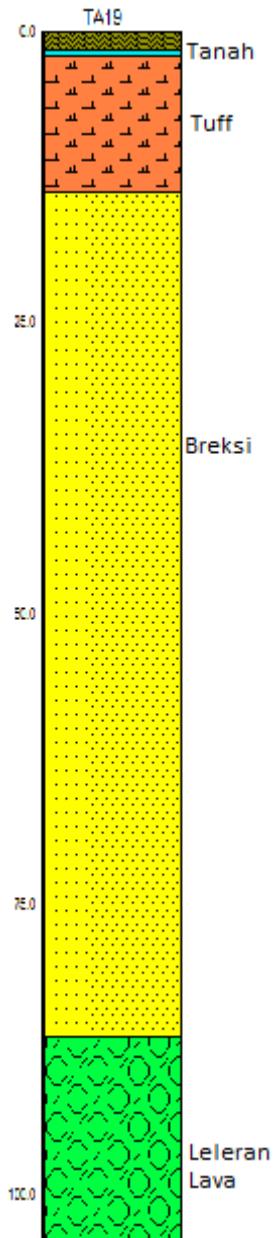
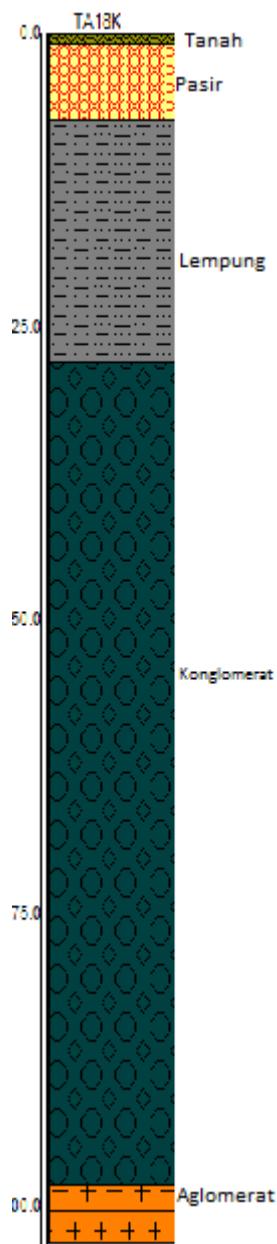
TA 73K

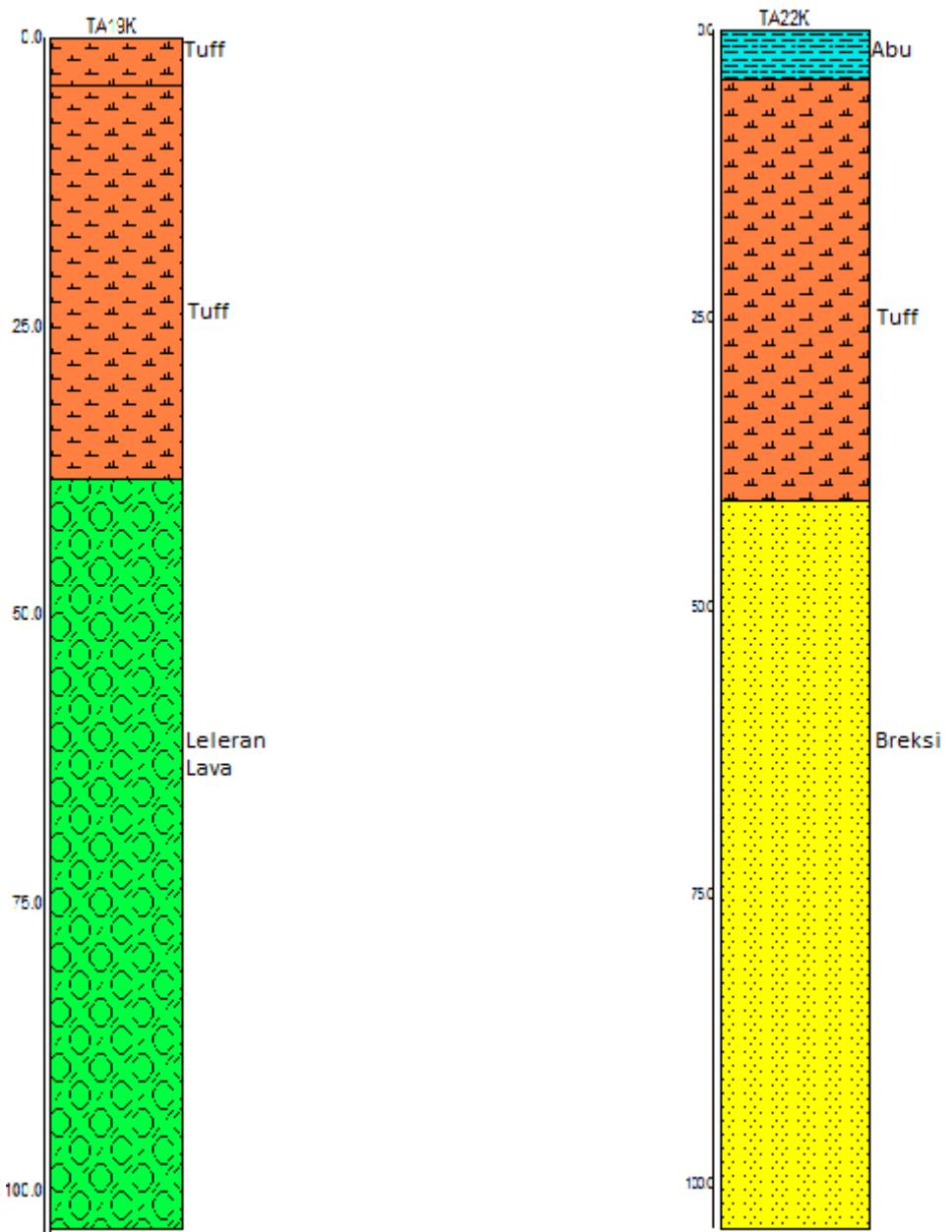


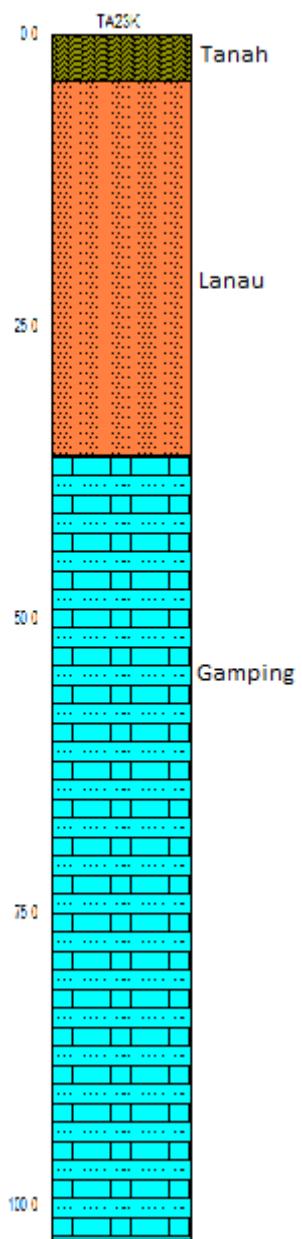
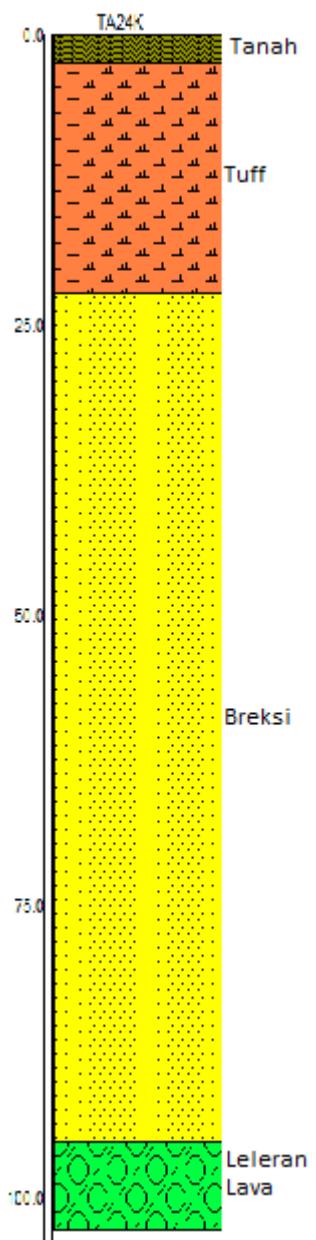
LAMPIRAN 3

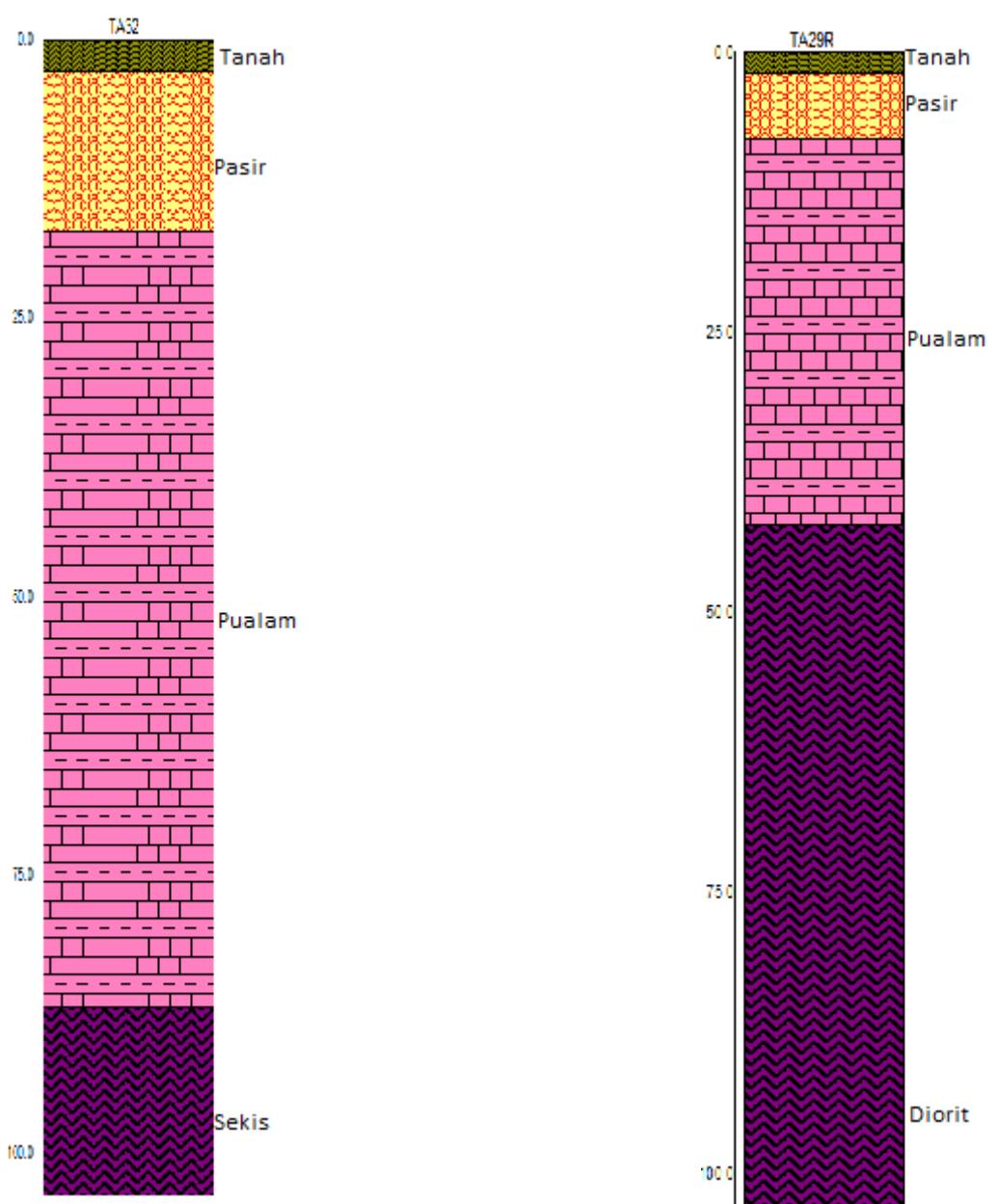
PEMODELAN DATA LOG

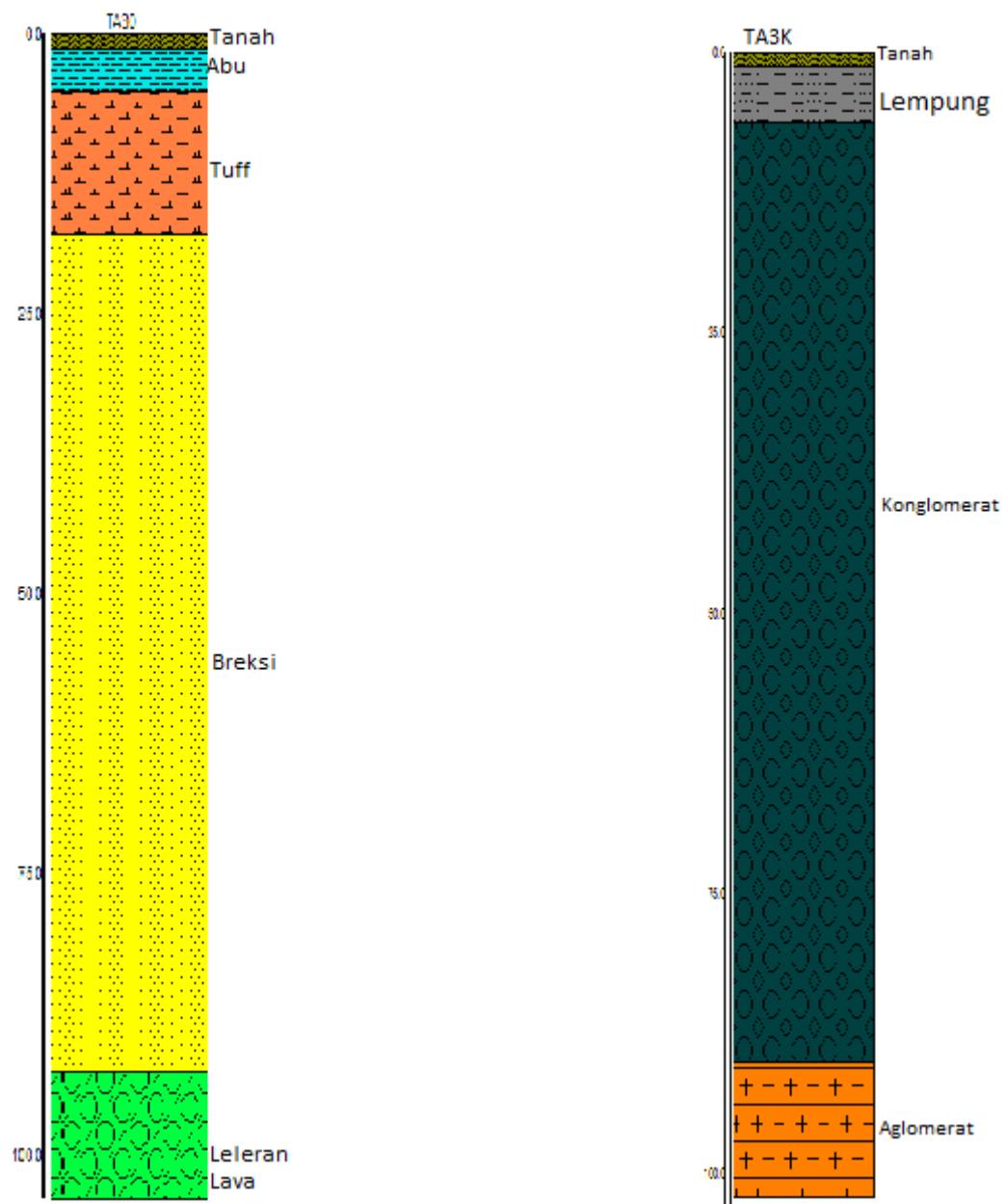


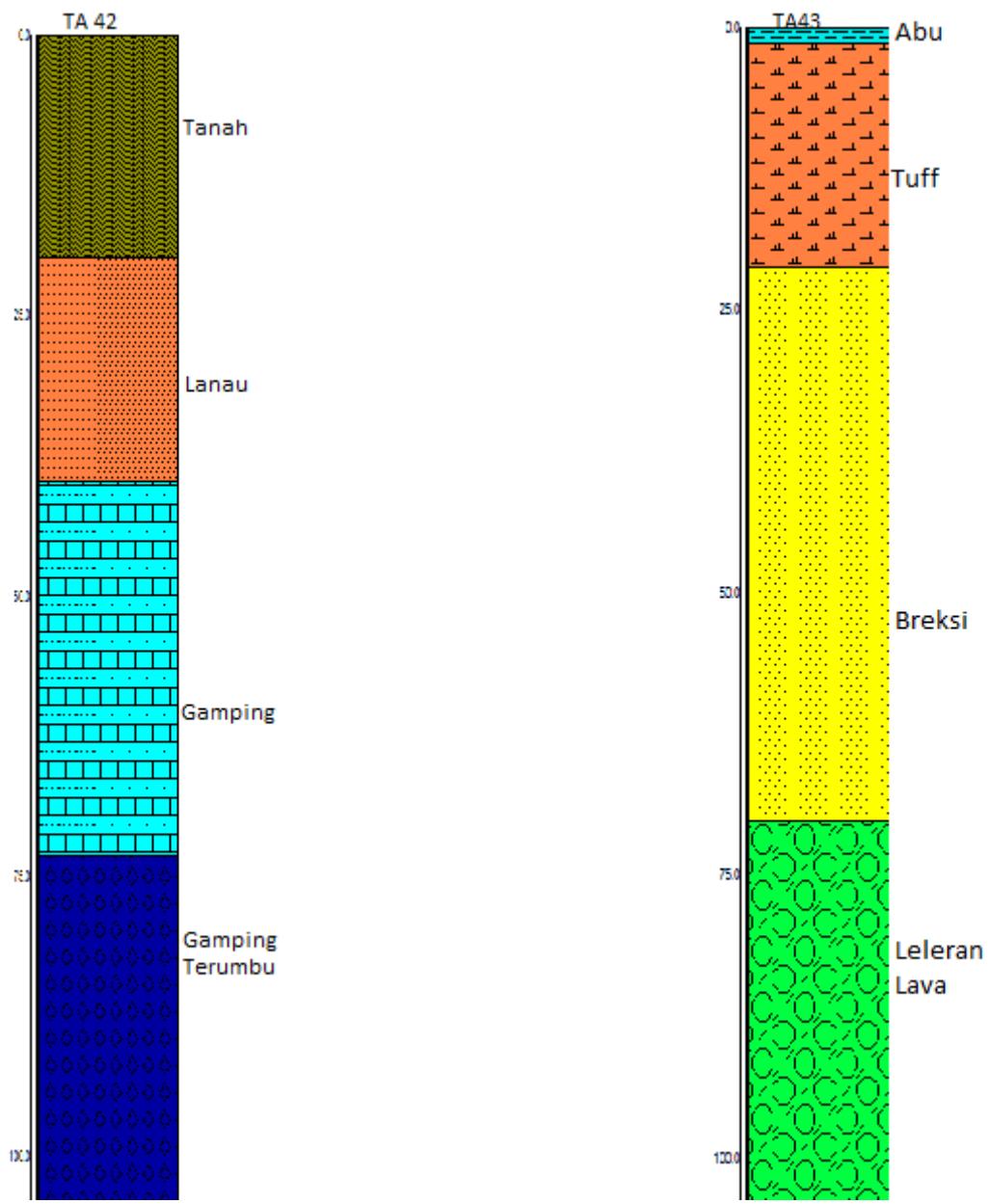


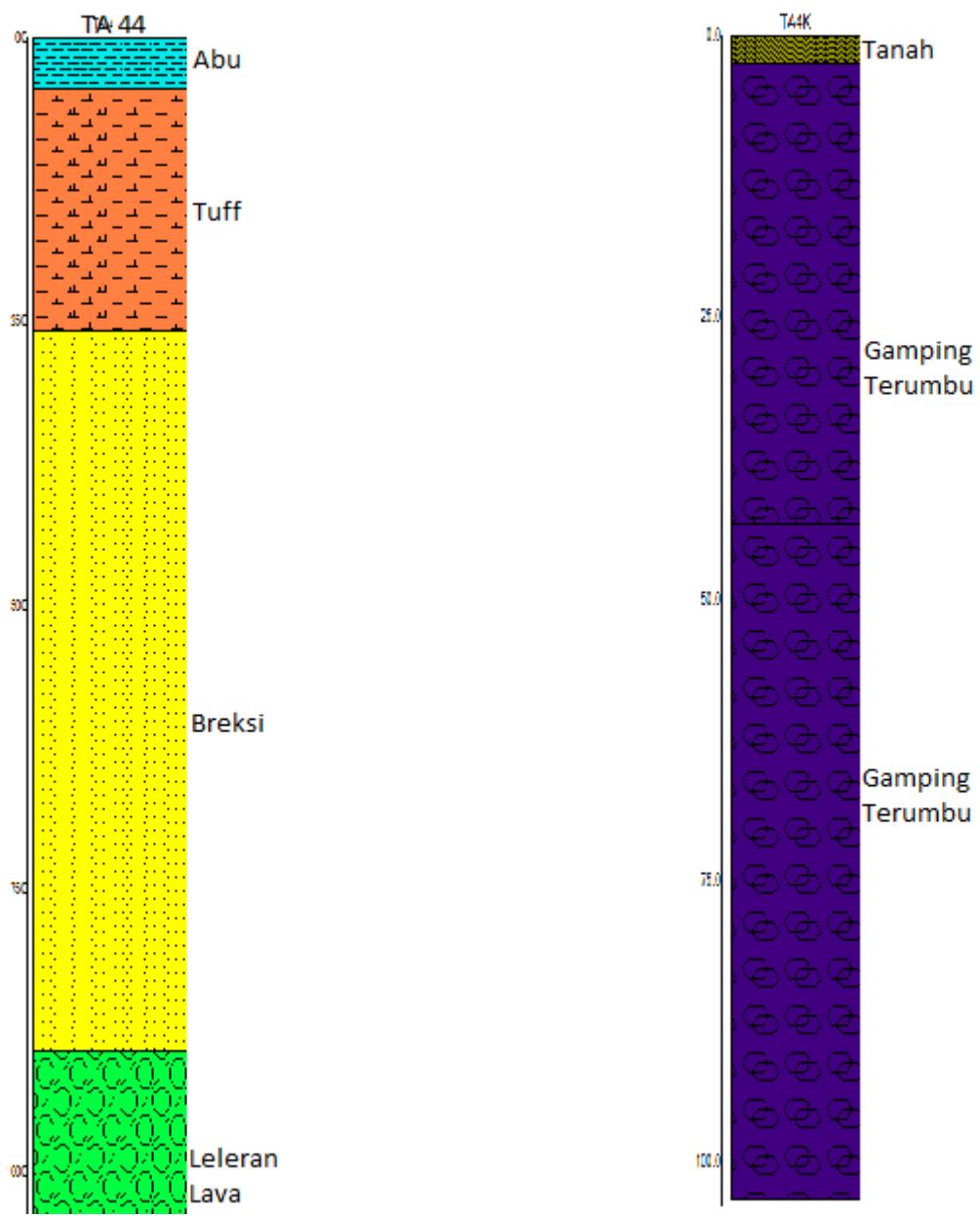










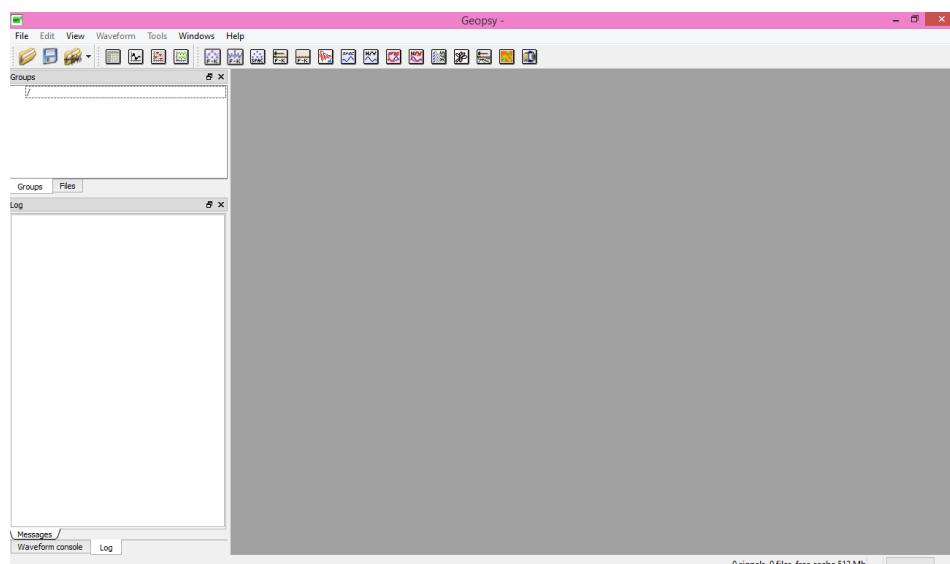


LAMPIRAN 4

TAHAP-TAHAP PENGOLAHAN DATA

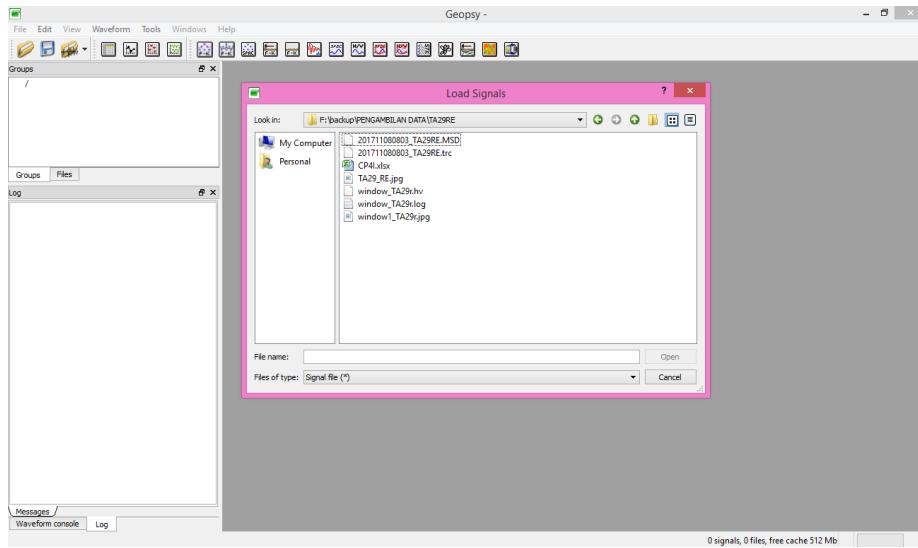
A. Menganalisis Data Mikrotremor Menggunakan *software Geopsy*

1. Membuka aplikasi *software Geopsy*, maka akan muncul:



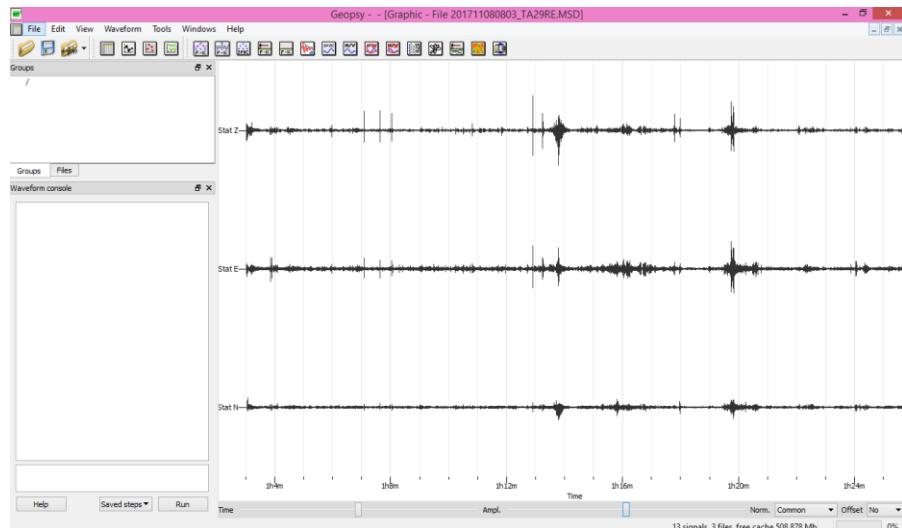
Gambar L1. Tampilan awal *software Geopsy*

2. Klik *Import Signals*, kemudian mencari file penyimpanan data titik pengukuran, dipilih bentuk MSD kemudian klik *Open*.



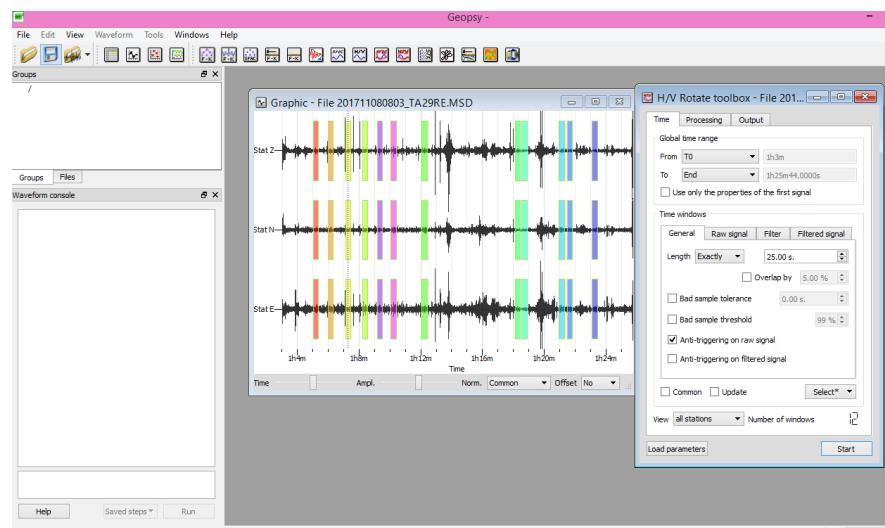
Gambar L2. Proses memilih data untuk analisis HVSR

3. Maka akan muncul gambar sebagai berikut:



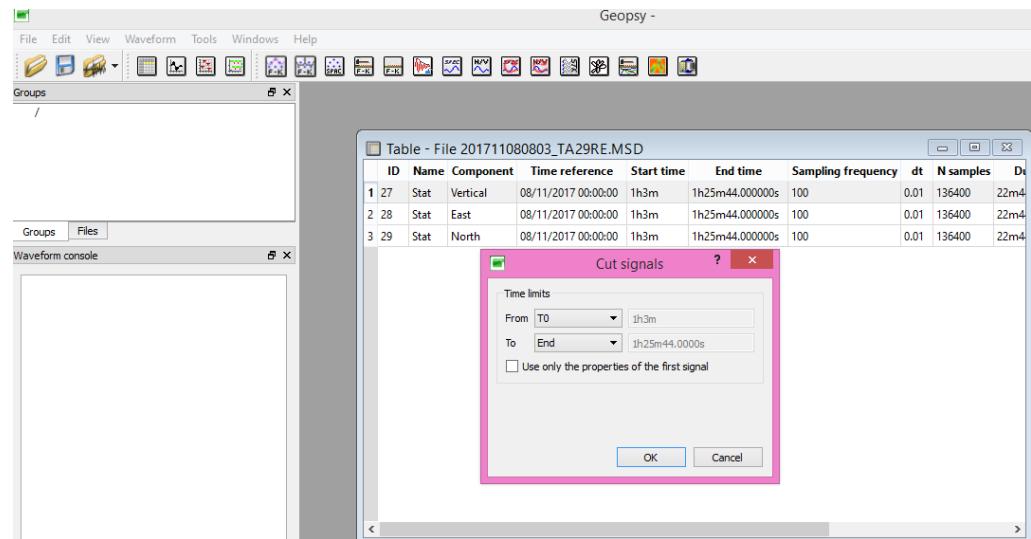
Gambar L3. Tampilan data gelombang saat analisis HVSR

4. Klik kotak H/V pada *toolbar*, kemudia setting nilai *Time*, *Processing* dan *Output*
dengan :
- Pada pengaturan procesing, setting smoothing type dengan Konno & Omachi
 - Pada pengaturan Output, setting nilai Frequency sampling 0.50 Hz sampai 20 Hz dengan number of samples 100.
 - Pada pengaturan Time, setting nilai length window dengan 20,00 s, selanjutnya klik start



Gambar L4. Pemilihan sinyal tanpa noise

5. Mencatat waktu setiap window pada sinyal yang dipilih untuk proses cutting.
6. Untuk proses cutting, klik waveform pada toolbar. Kemudian pilih cut dan masukkan waktu window yang akan di cutting.

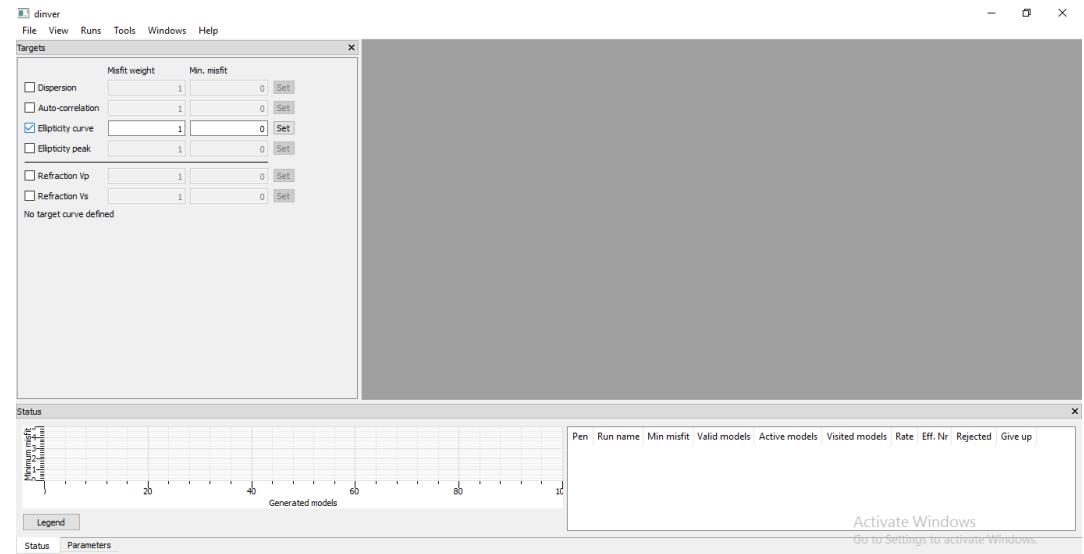


Gambar L5. Tampilan proses cutting

7. Proses ini dilakukan untuk semua hasil pengukuran yang dilakukan di setiap titik lokasi penelitian.

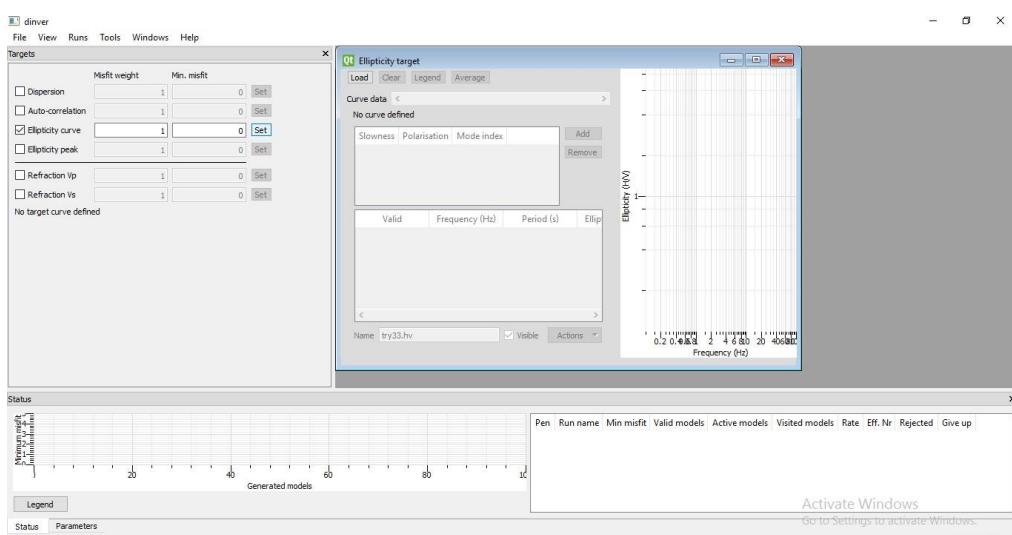
B. Menganalisis Kurva H/V dengan Metode *Ellipticity Curve* menggunakan Dinver

1. Membuka aplikasi *Dinver* maka akan muncul:



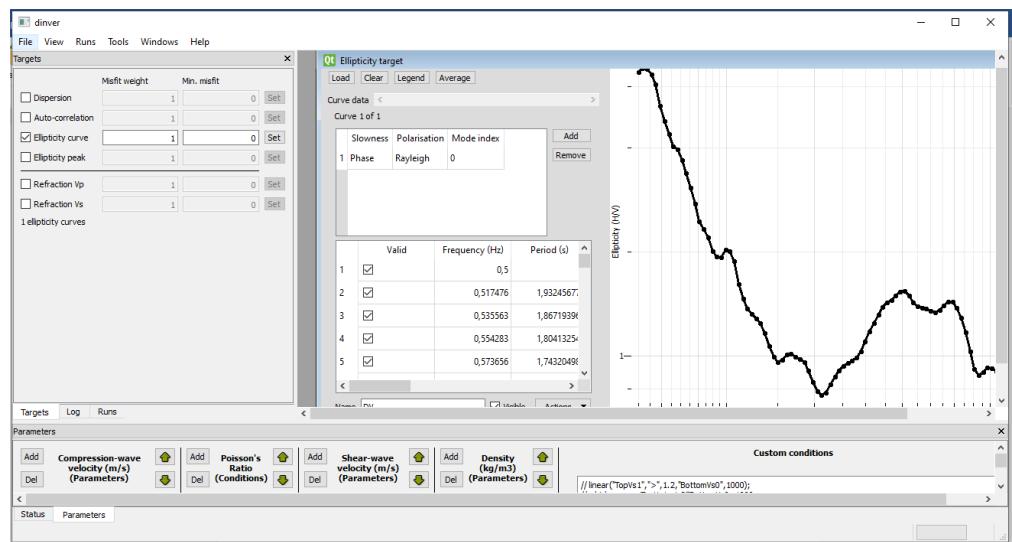
Gambar L6. Tampilan awal *Dinver*

2. Klik (*checkbox*) kotak yang ada di sebelah kiri *ellipcity curve* lalu klik *set* maka akan muncul tampilan seperti berikut:



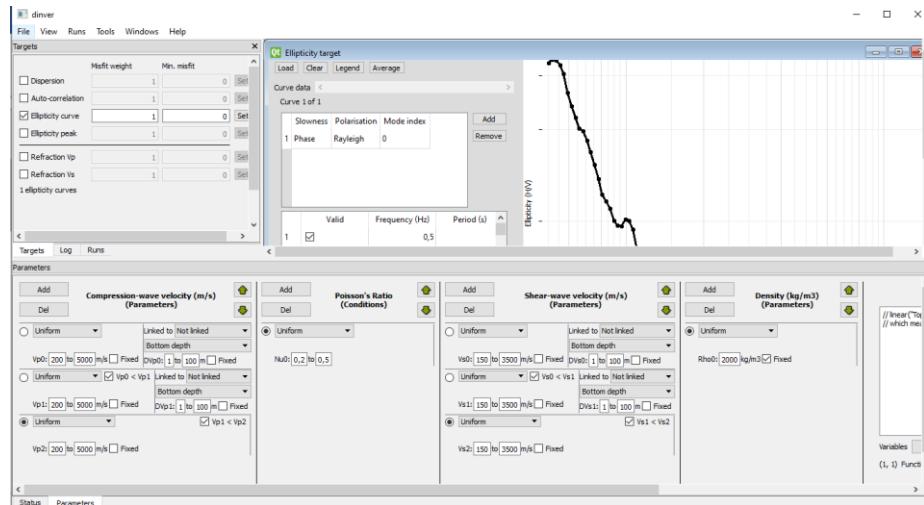
Gambar L7. Tampilan setelah klik kolom set pada baris *ellipticity curve*

3. Klik *load* pada bagian atas untuk memasukkan *input* berupa kurva H/V dalam format .hv, lalu klik *Open*, maka akan muncul tampilan sebagai berikut:



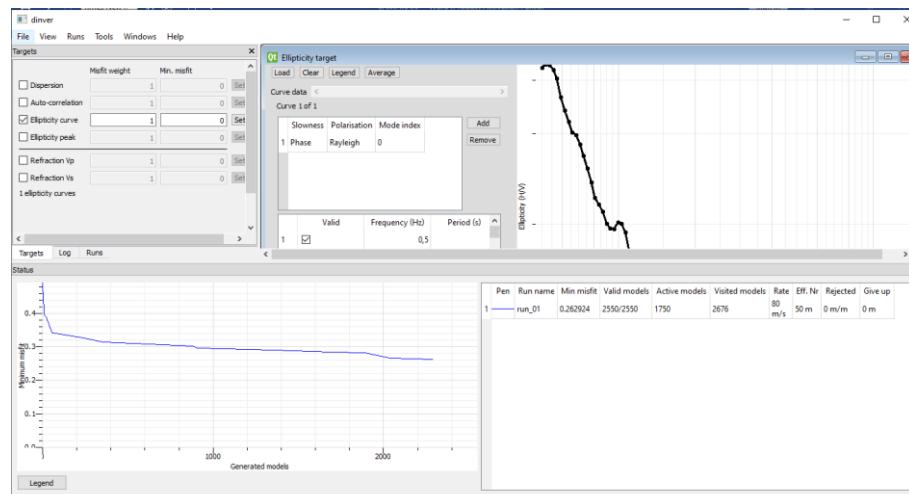
Gambar L8. Tampilan setelah klik kolom set pada baris *ellipticity curve*

4. Setelah muncul kurva H/V sebagai *input* lalu klik *parameters* pada bagian pojok kiri bawah tampilan, setiap jenis parameter disesuaikan dengan banyaknya *layer* yang dibutuhkan pada interpretasi *ground profile*, untuk menambah isian parameter pada setiap parameter yaitu dengan cara mengklik *Add* pada bagian atas kolom parameter. Parameter nilai yang dimasukkan disesuaikan dengan kondisi litologi daerah penelitian, setelah semua parameter diisi maka akan muncul tampilan sebagai berikut:



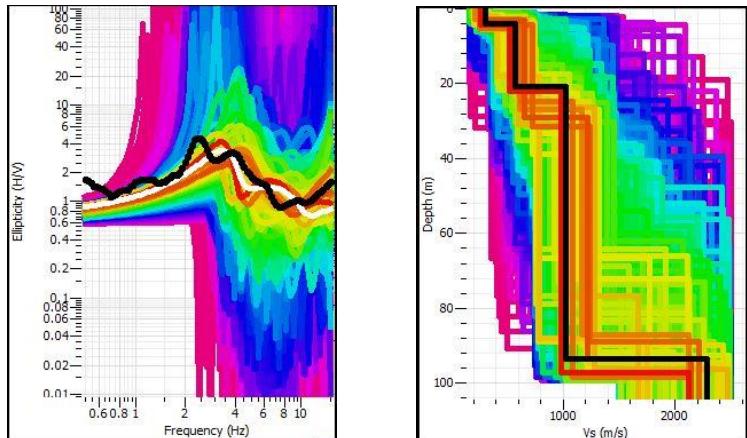
Gambar L9. Tampilan setelah semua parameter terinput

5. Klik *Runs – Start* lalu akan muncul tampilan sebagai berikut:



Gambar L10. Tampilan status kurva yang telah di *Runs*

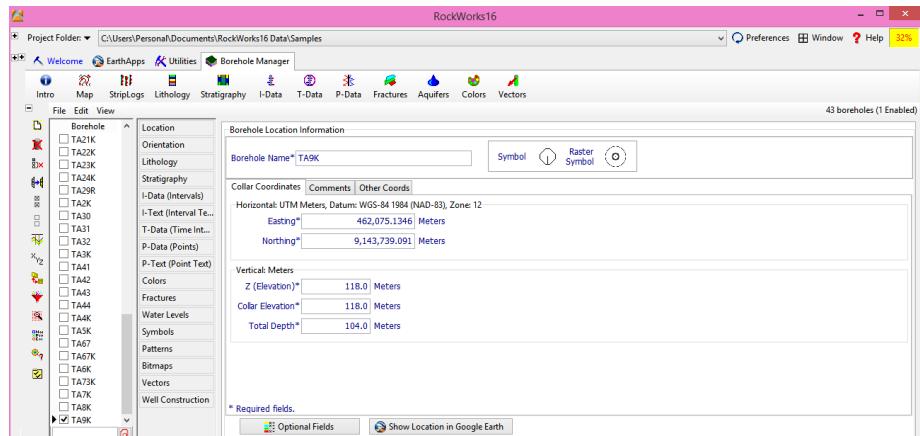
6. Setelah proses berhenti, klik *View – Ellipticity* dan klik *View – Ground Profiles* maka akan muncul tampilan sebagai berikut:



Gambar L11. Tampilan hasil *ground profiles* dan *ellipticity curve* yang telah dijalankan.

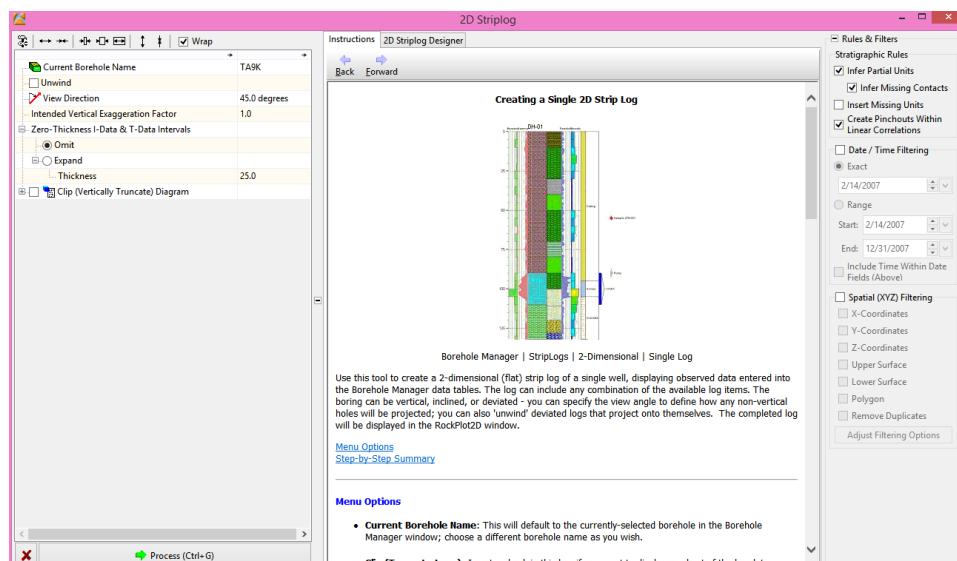
C. Membuat data bor menggunakan software Rockwork 16

1. Membuka software Rockwork 16 lalu mengisi kolom *borehole* sesuai dengan data yang diperlukan seperti *location* dan *Lithology* maka akan muncul:



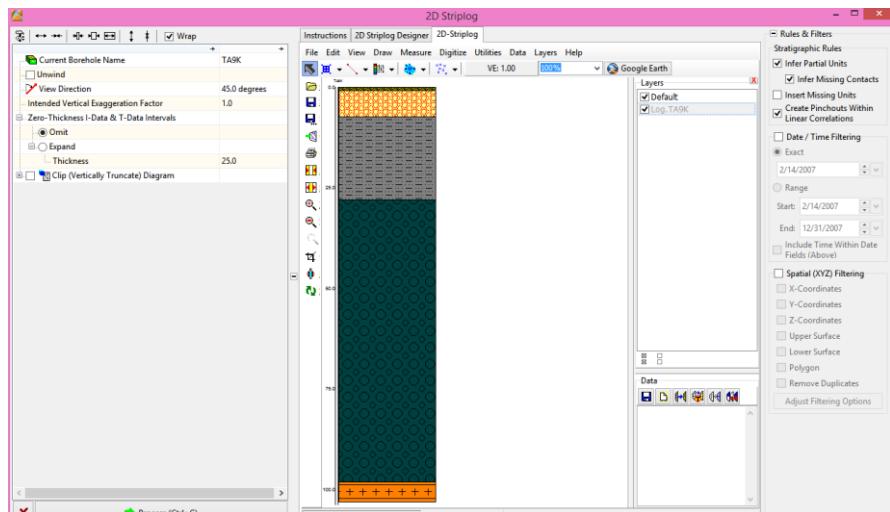
Gambar L12 Tampilan awal software Rockwork 15

2. Memilih *borehole* (misal titik 9k) yang akan dibuat pemodelan data bornya, pilih *Striplog* lalu klik *Single Log (2D)*, maka akan muncul:



Gambar L13. Tampilan proses 2d striplog

3. Pilih *Process*, akan muncul pemodelan data bor yang diinginkan.

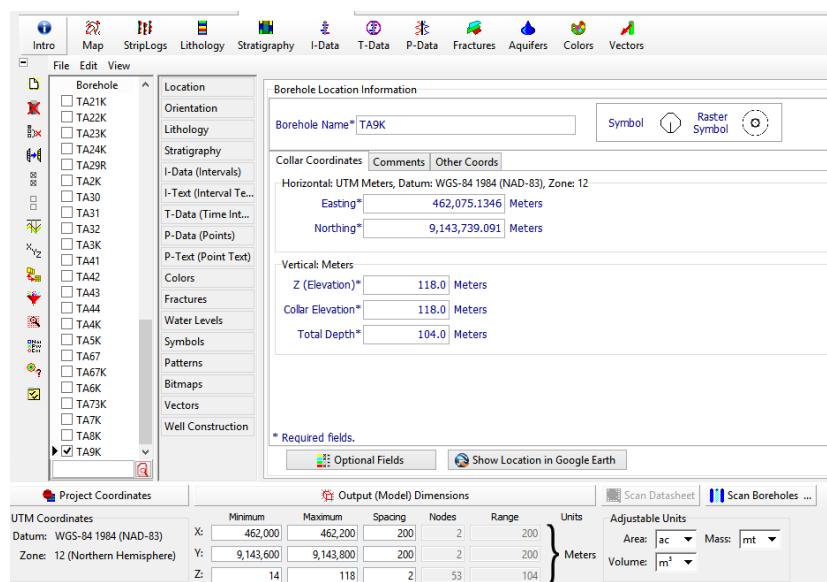


Gambar L14. Tampilan hasil pemodelan *striplog*

4. Simpan file dalam format png.

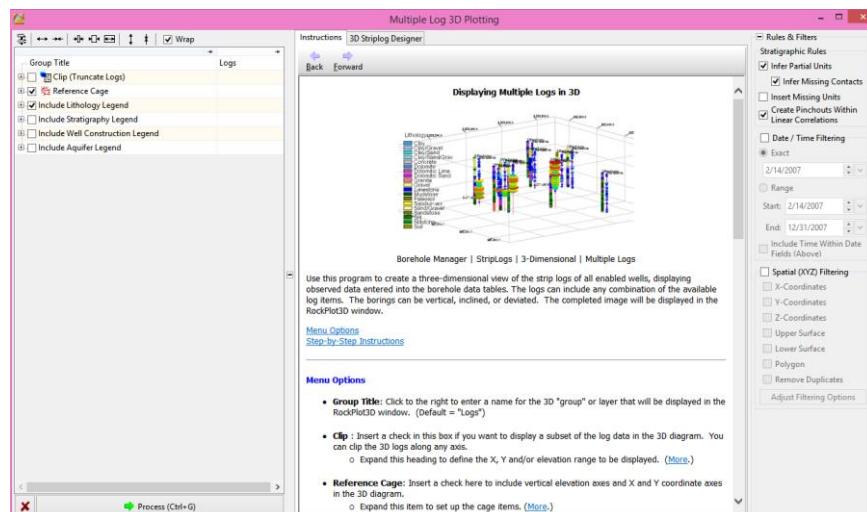
D. Membuat pemodelan tiga dimensi litologi bawah permukaan

- Setelah pembuatan data bor menggunakan *software Rockwork 15*, pilih data yang akan dibuat pemodelan litologi secara 3D, kemudian klik *scan boreholes*



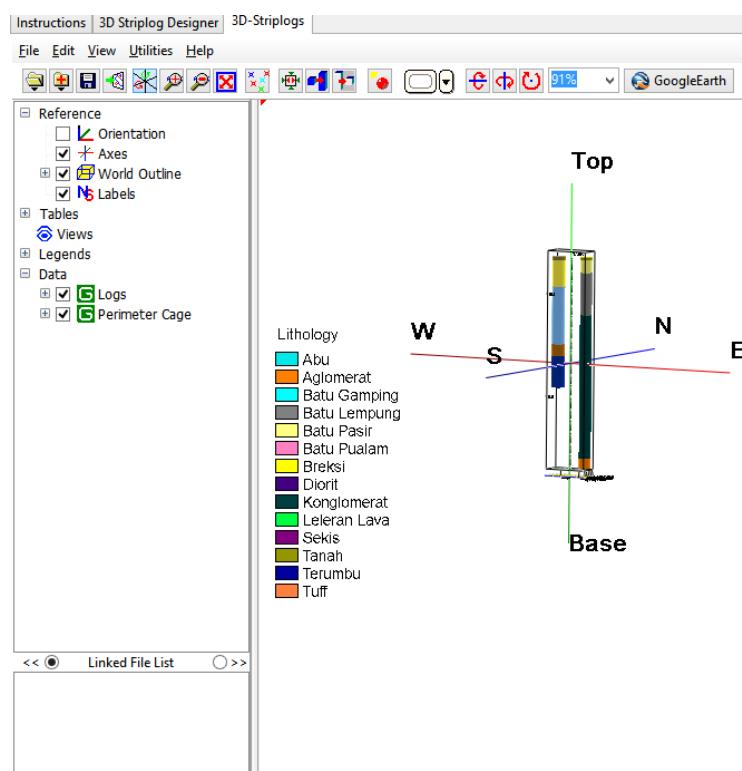
Gambar L15. Tampilan tahap pemilihan data bor yang akan digunakan

2. Klik *Process*



Gambar L16. Tampilan tahap pemodelan *multilog* 3D

3. Maka akan muncul pemodelan tiga dimensi litologi bawah permukaan.



Gambar L17. Hasil Pemodelan *multilog*