

**IDENTIFIKASI LAPISAN SEDIMENT DAN LAPISAN *BEDROCK*
MENGGUNAKAN METODE MIKROTREMOR DI KECAMATAN
PRAMBANAN DAN KECAMATAN GANTIWARNO KABUPATEN
KLATEN**

SKRIPSI

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



**Oleh :
KHARIZA NURUL MASLIKHAH
NIM. 13306141035**

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

LEMBAR PERSETUJUAN

Tugas Akhir Skripsi dengan Judul

IDENTIFIKASI LAPISAN SEDIMENT DAN LAPISAN *BEDROCK* MENGGUNAKAN METODE MIKROTREMOR DI KECAMATAN PRAMBANAN DAN KECAMATAN GANTIWARNO KABUPATEN KLATEN

Disusun oleh:

Khariza Nurul Maslikhah

NIM 13306141035

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

Yogyakarta, 15 November 2019

Menyetujui,

Pembimbing I

Pembimbing II

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

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

Mengetahui,

Ketua Program Studi Fisika



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

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir Skripsi

IDENTIFIKASI LAPISAN SEDIMENT DAN LAPISAN *BEDROCK* MENGGUNAKAN METODE MIKROTREMOR DI KECAMATAN PRAMBANAN DAN KECAMATAN GANTIWARNO KABUPATEN KLATEN

Disusun oleh:

Khariza Nurul Maslikhah
NIM 13306141035

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji Tugas Akhir Skripsi Program Studi
Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri
Yogyakarta pada tanggal 29 November 2019

TIM PENGUJI

Nama/Jabatan	Tanda Tangan	Tanggal
Laila Katriani, M.Si Ketua Penguji/Pembimbing I		31 Januari 2020
Nugroho Budi Wibowo, M.Si Sekretaris/Pembimbing II		31 Januari 2020
Denny Darmawan, M.Sc Penguji Utama		31 Januari 2020

Yogyakarta, 03 Februari 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 di bawah ini:

Nama : Khariza Nurul Maslikhah

NIM : 13306141035

Program Studi : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Judul Skripsi : Identifikasi Lapisan Sedimen dan Lapisan *Bedrock*
Menggunakan Metode Mikrotremor di Kecamatan Prambanan
dan Kecamatan Gantiwarno Kabupaten Klaten

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

Yogyakarta, 31 Januari 2020
Yang menyatakan,

Khariza Nurul Maslikhah
NIM 13306141035

HALAMAN PERSEMBAHAN

*Hanya akan menjadi kekecewaan jika asa yang
kita bangun adalah harapan mendapatkan.
Kebahagiaan dimulai dari tekad untuk
mempersempahkan.*

Karya ini saya persembahkan untuk kedua
orang tua saya yang tercinta, seluruh keluarga,
sahabat, kerabat, dan guru-guru saya
dimanapun berada.

MOTTO

“Segala sesuatu yang dilakukan tidak untuk mencari keridhaan Allah,
pasti akan pupus sirna.”
(diriwayatkan dari Mundzir, dari ar-Rabi' bin Khutsaim)

“Kesempatan akan datang ketika do'a, usaha, dan harapan selalu ada.
Nothing is impossible within Allah.”
(Author)

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Bismillahirrahmanirrahiim...

Segala puji syukur tak terhingga penulis panjatkan kehadirat Allah Subhanahuwata'ala atas seluruh limpahan kasih sayang dan pertolongan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi dengan judul "Identifikasi Lapisan Sedimen dan Lapisan *Bedrock* Menggunakan Metode Mikrotremor di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno Kabupaten Klaten". Shalawat dan salam semoga Allah selalu limpahkan kepada Rasulullah shallallahu 'alaihi wa sallam, keluarga dan sahabatnya serta ummatnya yang senantiasa mengikutinya.

Skripsi ini disusun untuk memenuhi persyaratan guna memperoleh gelar sarjana sains dalam Program Studi Fisika Jurusan Pendidikan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta. Penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini dan juga sekaligus menuntaskan studinya di Universitas Negeri Yogyakarta tidak terlepas dari banyaknya kebaikan hati, dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Dengan setulus hati penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Kedua orang tua yang selalu memberikan do'a, ridhonya, nasihat kehidupan, dan motivasi semangatnya yang tidak pernah berakhir.
2. Bapak Prof. Dr. Ariswan, M.Si. selaku Dekan FMIPA UNY yang telah mengesahkan skripsi ini dan juga sebagai salah satu dosen yang telah banyak membantu penulis dalam menuntaskan studi di UNY.

3. Bapak Dr. Warsono, M.Si. selaku Ketua Program Studi Fisika yang telah banyak membantu dalam hal administrasi skripsi ini.
4. Bapak Nur Kadarisman, M.Si. selaku dosen pembimbing akademik sekaligus salah satu dosen pengajar penulis yang telah memberikan arahan, bimbingan, dan bantuannya selama mengikuti studi di UNY.
5. Bapak Nugroho Budi Wibowo, M.Si. selaku pembimbing skripsi yang luar biasa untuk tetap sabar danikhlas karena telah meluangkan banyak waktunya di tengah padatnya pekerjaan, dalam membimbing, memberikan arahan dan motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
6. Bapak Denny Darmawan, M.Sc. dan Ibu Laila Katriani, M.Si. selaku pembimbing skripsi yang juga luar biasa untuk terus membimbing penulis dengan segala curahan motivasi, saran, nasihat, arahannya, dan juga sebagai dosen pengajar yang telah memberikan ilmu dan bantuannya sehingga penulis dapat menyelesaikan studinya di UNY.
7. Seluruh Dosen, Laboran, dan Staff Jurusan Pendidikan Fisika yang telah banyak memberikan ilmu dan bantuannya selama proses perkuliahan di UNY.
8. Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika Yogyakarta yang telah memberikan izin dan bantuannya selama proses penelitian.
9. Teman satu tim perjuangan geofisika 2013 (Yulistiani, Siti Patimah, Zahroh Utami, Gina Adilla, dan Rini Anggita) yang terus memberikan semangat dan sama-sama berjuang tahap demi tahap selama proses penyusunan skripsi ini.
10. Teman-teman fisika B 2013 yang telah membersamai selama kuliah di UNY dan menjadi salah satu keluarga di perantauan untuk berbagi cerita.

11. Terkhusus Ummi saya yang di Jogja, terimakasih banyak atas seluruh curahan kasih sayang, perhatian, dan pengertiannya kepada saya, yang selalu sabar menghadapi saya ketika kesulitan.
12. Sahabat-sahabatku (Wulan Novitasari, Shinta Hanifati, Enny Dwi Cahyanti, Annisa Suminar, Martyah, Diah Istiani, Dea Sakinah Hulfa, Adetia Lita Agustina, Iin Astari Nugraheni) yang selalu ada.
13. Serta semua pihak yang belum bisa penulis sebutkan satu per satu di sini, terimakasih telah banyak membantu dalam penyelesaian skripsi ini baik secara langsung maupun tidak langsung.

Hanya kata terimakasih yang dapat penulisucapkan. Semoga segala bantuan yang diberikan dapat menjadikan amal perbuatan baik kita semua dan hanya Allah yang dapat membalas seluruh kebaikan kalian semua.

Penulis menyadari bahwa apapun yang manusia kerjakan tidak ada yang sempurna, termasuk dalam penulisan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Saran dan kritik sangat diperlukan untuk memperbaiki kesalahan yang ada dan dapat lebih mendekati dalam kebaikan pengembangan ilmu pengetahuan. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis, pembaca, dan seluruh anggota yang terlibat di dalamnya selama proses pembuatan skripsi. Aamiin.

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Yogyakarta, 31 Januari 2020

Penulis,

Khariza Nurul Maslikhah

**IDENTIFIKASI LAPISAN SEDIMENT DAN LAPISAN *BEDROCK*
MENGGUNAKAN METODE MIKROTREMOR DI KECAMATAN
PRAMBANAN DAN KECAMATAN GANTIWARNO KABUPATEN
KLATEN**

Oleh:

Khariza Nurul Maslikhah

13306141035

ABSTRAK

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan distribusi nilai frekuensi predominan (f_0) dan nilai faktor amplifikasi tanah (Ag), serta untuk mengetahui korelasi antara topografi daerah penelitian dengan ketebalan sedimen (h) berdasarkan model penampang seismik kurva H/V. Selain itu juga untuk mengidentifikasi lapisan sedimen dan lapisan *bedrock* menggunakan parameter f_0 , Ag , dan h di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno Kabupaten Klaten.

Penelitian ini dilakukan dengan pengambilan data mikrotremor di 29 titik pengukuran dengan interval antar titik sebesar 2 km menggunakan *Digital Portable Seismograph* merek Taide tipe TDL-303S. Data berupa sinyal mikrotremor dianalisis menggunakan metode HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) untuk memperoleh kurva H/V yang merepresentasikan nilai parameter f_0 dan Ag . Parameter ini digunakan untuk mikrozonasi menggunakan program *Surfer 10* dan untuk mengidentifikasi ketebalan lapisan sedimen dan lapisan *bedrock* berdasarkan distribusi nilai Ag di daerah penelitian dengan pemodelan 3D menggunakan program *Rockwork 15*. Kurva H/V juga digunakan untuk representasi penampang seismik yang berkorelasi dengan nilai faktor amplifikasi tanah dan profil topografi untuk melihat ketebalan sedimen dari permukaan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai f_0 berkisar antara 0,7 Hz – 9,5 Hz dengan nilai f_0 rendah (< 2,5 Hz) yang tersebar hampir di seluruh daerah penelitian dan nilai Ag memiliki kisaran 1,795 – 9,010 dengan distribusi nilai Ag di daerah penelitian sebagian besar masuk zona sedang dan zona tinggi. Sebagian besar daerah penelitian berupa dataran Aluvial yang berada pada Formasi Merapi Muda dan bagian selatan daerah penelitian berupa dataran tinggi yang berkorelasi dengan daerah perbukitan sesuai dengan profil geologinya yaitu berada di Formasi Kebobutak. Berdasarkan persebaran nilai amplifikasi, lapisan sedimen sisi utara hingga tengah daerah penelitian tergolong sangat tebal karena tersusun atas endapan abu vulkanik Gunung Merapi dan ketebalan sedimen bagian selatan tipis karena didominasi oleh susunan batuan keras.

Kata Kunci: Mikrotremor, HVSR, Kabupaten Klaten.

IDENTIFICATION OF SEDIMENT LAYER AND BEDROCK LAYER USING MICROTREMOR METHOD IN PRAMBANAN SUBDISTRICT AND GANTIWARNO SUBDISTRICT OF KLATEN REGENCY

By:

Khariza Nurul Maslikhah

13306141035

ABSTRACT

This research aimed to determine the distribution of predominant frequency values (f_0) and soil amplification factor values (Ag), and to determine the correlation between the topography of the research area with the sediment thickness (h) based on the seismic cross-section model of the H/V curve. It also aimed to identify the sediment layer and the bedrock layer using parameters of f_0 , Ag , and h in Prambanan Subdistrict and Gantiwano Subdistrict of Klaten Regency.

This research had been done by taking microtremor data in 29 measurement points with intervals of 2 km using Taide TDL-303S Digital Portable Seismograph. The microtremor signals data were analyzed using HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) method to obtain the H/V curve that represents the values of f_0 and Ag . These parameters were used for microzonation using Surfer 10 program and to identify the thickness of the sediment layer and the bedrock layer based on the Ag value using of Rockwork 15 program. The H/V curve were also used to represent the seismic cross-section which were correlated with the value of soil amplification factor and topographic profile to see the thickness of the sediment from the surface.

The results of this research show that the f_0 value has the range from 0.7 Hz – 9.5 Hz with low f_0 value (< 2.5 Hz) spread almost all over the research areas and the Ag value has a range of 1.79 – 9.01 which were related to medium and high zone. Almost all of the research areas are Aluvial plains in the Merapi Muda Formation and the southern part of research area is highlands which correlate with hilly areas by their geological profile which is located in the Kebobutak Formation. Based on the amplification values distribution, the sediment layer on the northern part to the middle part of the research areas are classified as very thick because it is composed of volcanic ash sludges of Mount Merapi and the southern sediment is thin because it is dominated by hard rock structures.

Keywords: Microtremor, HVSR, Klaten Regency.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
SURAT PERNYATAAN.....	iv
HALAMAN MOTTO	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR	vii
ABSTRAK	x
ABSTRACT	xi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang.....	1
B. Identifikasi Masalah	6
C. Batasan Masalah	7
D. Rumusan Masalah.....	7
E. Tujuan Penelitian	8
F. Manfaat Penelitian.....	9

BAB II KAJIAN TEORI

A. Gempa Bumi.....	10
B. Gelombang Seismik	12
C. Seismograf	16
D. Mikrotremor (<i>Ambient Noise</i>)	17
E. Metode <i>Horizontal to Vertical Spectral Ratio</i> (HVSР)	20
F. <i>Fast Fourier Transform</i> (FFT)	22
G. Efek Tapak Lokal (<i>Site Effect</i>)	23
H. Mikrozonasi.....	26
I. Geologi Regional Daerah Penelitian	34
J. Kerangka Berpikir.....	37

BAB III METODE PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian	40
B. Instrumen Penelitian	40
C. Teknik Pengambilan Data	43
D. Teknik Analisis Data	47
E. Diagram Alir Penelitian.....	52

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Mikrozonasi Nilai Faktor Amplifikasi (Ag).....	53
B. Mikrozonasi Nilai Frekuensi Predominan (f_o)	55
C. Penampang Seismik Kurva H/V	57
D. Model 3D Amplifikasi	62
E. Model 3D Lapisan Sedimen- <i>Bedrock</i>	64

BAB V SIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan.....	67
B. Saran.....	67

DAFTAR PUSTAKA	68
-----------------------------	----

LAMPIRAN	73
-----------------------	----

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Nilai Frekuensi Resonansi	28
Tabel 2. Klasifikasi Nilai Faktor Amplifikasi	30
Tabel 3. Klasifikasi <i>Site</i> Berdasarkan Nilai Vs	33
Tabel 4. Sejarah Gempa Merusak di Yogyakarta dan Klaten	38

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Jalur Subduksi Pertemuan 3 Lempeng Tektonik	1
Gambar 2. Peta Intensitas Gempa Bumi Yogyakarta dan Jawa Tengah	3
Gambar 3. Peta Geologi Kabupaten Klaten	5
Gambar 4. Distribusi Tahunan Gempa Bumi Dunia	11
Gambar 5. Jenis Pergerakan Lempeng	12
Gambar 6. Jenis Pergerakan Gelombang Seismik	16
Gambar 7. Seismograf	17
Gambar 8. Sinyal Mikrotremor	19
Gambar 9. Kurva HVSR	21
Gambar 10. Model Cekungan Material Lunak	25
Gambar 11. Penjalaran Gelombang Seismik	29
Gambar 12. Konsep Dasar Amplifikasi Gelombang Seismik	31
Gambar 13. Hubungan Amplitudo dengan Ketebalan Sedimen	32
Gambar 14. Peta Administrasi Kecamatan Prambanan.....	35
Gambar 15. Peta Administrasi Kecamatan Gantiwarno.....	37
Gambar 16. Peralatan Pengukuran Mikrotremor	41
Gambar 17. Persebaran Titik Penelitian pada <i>Google Earth</i>	42
Gambar 18. Persebaran Titik Pengukuran Mikrotremor	43
Gambar 19. <i>Windowing</i> Sinyal Mikrotremor	46
Gambar 20. Kurva H/V Hasil <i>MATLAB</i>	48
Gambar 21. Peta Mikrozonasi	48
Gambar 22. Penampang Seismik Kurva H/V	49

Gambar 23.	Pemodelan 3-Dimensi	50
Gambar 24.	Diagram Alir Penelitian	51
Gambar 25.	Peta Persebaran Faktor Amplifikasi Tanah (Ag)	53
Gambar 26.	Peta Persebaran Frekuensi Predominan (f_0).....	56
Gambar 27.	Lintasan Penampang Seismik	57
Gambar 28.	Model Penampang Seismik Lintasa A-A'	58
Gambar 29.	Model Penampang Seismik Lintasa B-B'	60
Gambar 30.	Model 3D Persebaran Nilai Amplifikasi	62
Gambar 31.	Model 3D Lapisan Sedimen- <i>Bedrock</i>	64

DAFTAR LAMPIRAN

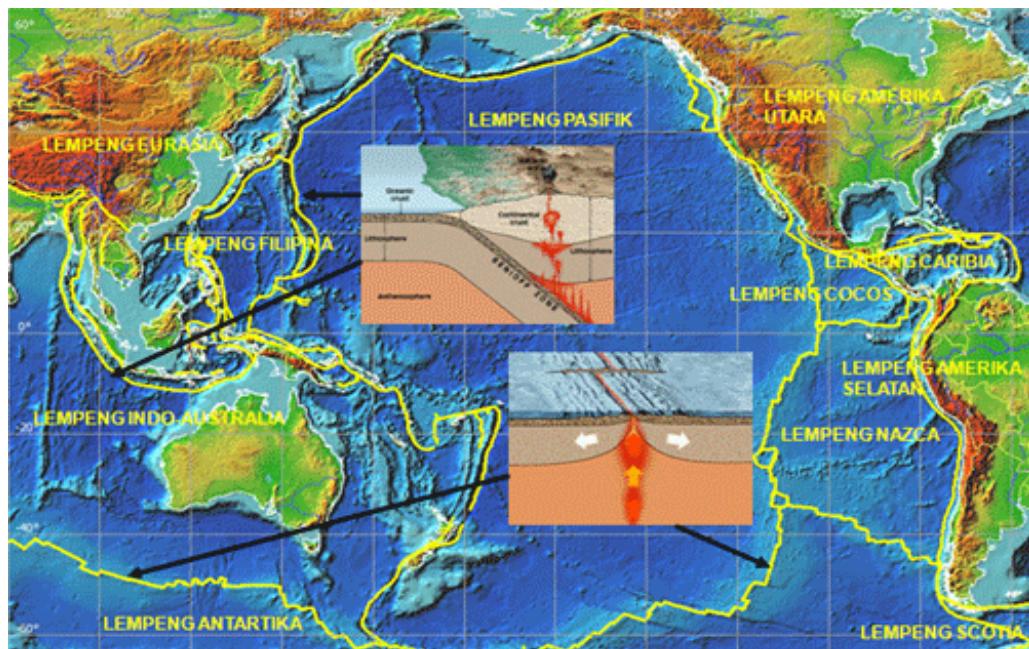
	Halaman
Lampiran 1. Tabel Data Hasil Penelitian	74
Lampiran 2. Pengolahan Data Mikrotremor	76
Lampiran 3. Analisis Mikrotremor dengan <i>MATLAB</i>	81
Lampiran 4. Mikrozonasi Hasil Penelitian	85
Lampiran 5. Penampang Seismik Kurva H/V	88
Lampiran 6. Pemodelan 3D Menggunakan <i>Software Rockwork</i>	93
Lampiran 7. Dokumentasi Pengambilan Data.....	101

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Wilayah Indonesia secara geografis terletak pada pertemuan tiga lempeng aktif dunia yaitu Eurasia, Indo-Australia, dan Pasifik. Ketiga lempeng tersebut mempunyai gerakan yang berbeda, untuk Lempeng Eurasia relatif bergerak ke selatan, Lempeng Indo-Australia relatif bergerak ke utara dan Lempeng Pasifik relatif bergerak ke barat, sehingga perbedaan arah gerakan tersebut mengakibatkan tumbukan antar lempeng yang ditunjukkan oleh Gambar 1. Kondisi ini menempatkan Indonesia sebagai wilayah yang rawan terhadap gempa bumi yang diakibatkan oleh interaksi lempeng tektonik.

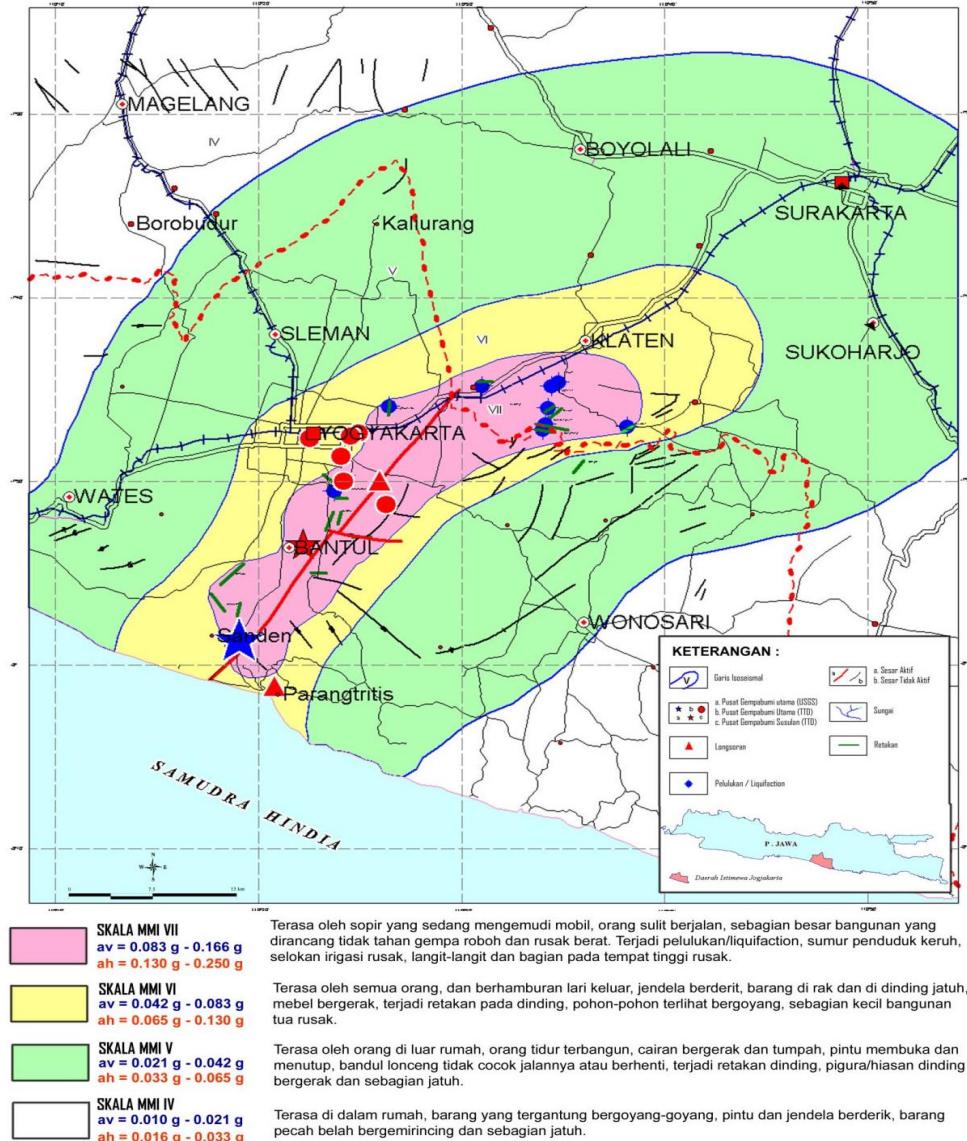


Gambar 1. Jalur subduksi pertemuan 3 lempeng aktif di Indonesia (BMKG, 2015)

Adanya zona subduksi aktif antar lempeng tektonik menyebabkan daerah di sekitarnya mempunyai tingkat kegempaan yang tinggi. Salah satu wilayah di

selatan Jawa, yaitu Yogyakarta, merupakan daerah yang rawan gempa bumi akibat aktivitas pergerakan lempeng yaitu pada zona subduksi Lempeng Indo-Australia terhadap Lempeng Eurasia. Selain rawan gempa bumi akibat aktivitas pergerakan lempeng, Yogyakarta juga rawan gempa bumi akibat aktivitas beberapa sesar lokal di daratan (Daryono dkk, 2009). Salah satu gempa bumi yang mengakibatkan kerusakan parah di Yogyakarta yaitu gempa bumi pada tanggal 27 Mei 2006 pukul 5:54:00.4 WIB dengan kekuatan 5,9 SR atau 6,3 Mw (*Magnitude Moment*). Gempa bumi tersebut terjadi selama 57 detik dengan pusat gempa di $7,961^{\circ}$ LS – $110,446^{\circ}$ BT atau berada di 37 km selatan Yogyakarta dengan kedalaman 33 km di bawah permukaan laut (BAPPENAS, 2006).

Gempa bumi yang melanda Yogyakarta menimbulkan banyak kerusakan bangunan dan korban jiwa. Data korban di Yogyakarta tercatat sebanyak 4.772 orang meninggal dunia, 17.772 orang luka-luka, dan kerusakan bangunan 204.831 rumah. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2, gempa bumi tersebut tidak hanya melanda Yogyakarta saja, namun juga meliputi daerah sekitarnya seperti Surakarta, Boyolali, Klaten, Wonosari, dan daerah lain di Jawa Tengah dengan jumlah korban meninggal dunia sebanyak 1.010 orang, luka-luka 18.527 orang dan rumah rusak 185.246 (BMKG, 2016). Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno termasuk tiga kecamatan teratas dari 26 kecamatan di Kabupaten Klaten yang terkena dampak cukup parah akibat bencana gempa bumi terebut, yaitu sebanyak 7.292 rumah roboh dengan jumlah korban jiwa sebanyak 331 orang di Kecamatan Gantiwarno, dan sebanyak 4.401 rumah roboh dengan jumlah korban jiwa sebanyak 196 orang di Kecamatan Prambanan (BAPPEDA, 2006).



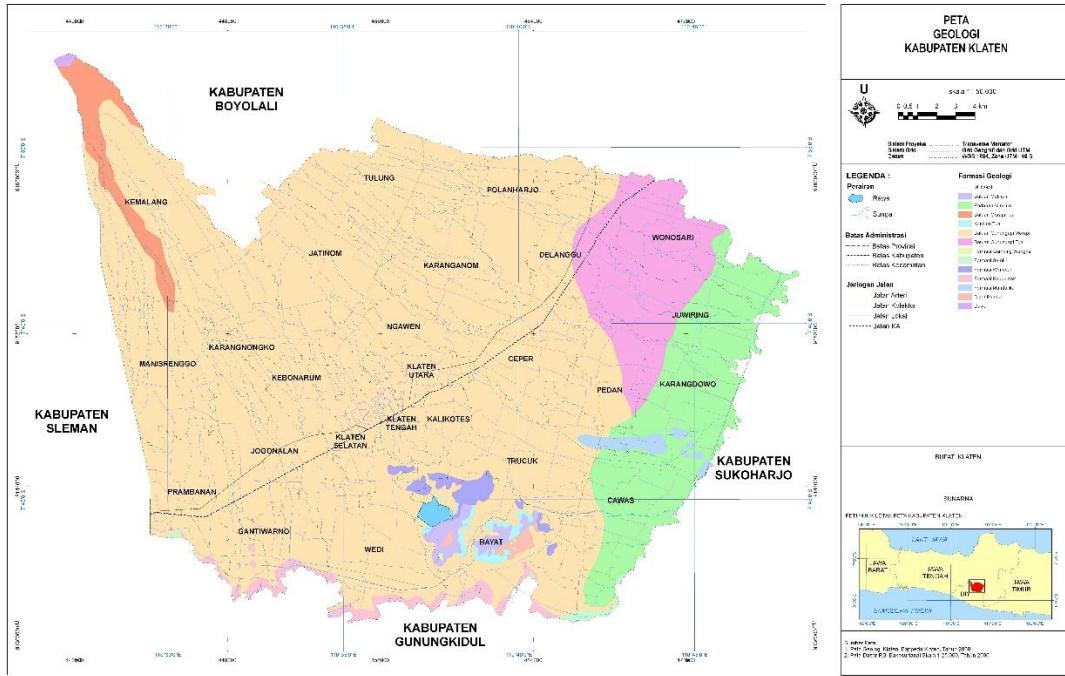
Gempabumi tanggal 27 Mei 2006 bersumber di darat akibat reaktivasi sesar Opak. Wilayah ini rawan gempabumi merusak yang ditandai dengan kejadian pada 10 Juni 1867, 23 Juli 1943 dan 13 Januari 1981.

Gambar 2. Peta Intensitas Gempa Bumi Yogyakarta dan Jawa Tengah (Supartoyo, 2016)

Tingkat kerusakan akibat gempa bumi umumnya dipengaruhi oleh magnitudo dan jarak pusat gempa bumi. Namun pada beberapa kasus gempa bumi yang telah terjadi, ternyata daerah yang dekat dengan sumber gempa tidak semuanya rusak parah, sedangkan yang jauh dari pusat gempa tidak aman secara keseluruhan (Arifudin, 2018). Selain itu kerusakan yang dialami tidak sebanding

dengan besar magnitudo yang tercatat, dimana magnitudo tidak terlalu besar namun angka kerusakan bangunan dan korban jiwa yang ditimbulkan menjadi sangat tinggi. Beberapa kasus gempa bumi yang telah terjadi menunjukkan bahwa kerusakan lebih parah melanda pada dataran Aluvial dibandingkan dengan daerah perbukitan (Nakamura, 2000). Banyak daerah dengan populasi yang besar berada pada *soft sediment* (seperti di daerah lembah dan muara) yang struktur tanahnya cenderung memperkuat gelombang seismik (Bard, 1998). Litologi yang lebih lunak cenderung memberikan respon periode getaran yang panjang (frekuensi rendah) dan mempunyai resiko yang lebih tinggi bila digoncang gelombang gempa bumi karena akan mengalami penguatan yang lebih besar dibandingkan dengan batuan yang lebih kompak. Fenomena ini biasanya disebut *site effect* atau *site amplification* (Novianita, 2009).

Kabupaten Klaten dan sekitarnya secara umum merupakan daerah hamparan endapan aluvial vulkanik Merapi, kecuali sedikit di bagian selatan berupa tinggian yang dikenal dengan Perbukitan Jiwo (Marjiyono dkk, 2014). Secara spesifik, formasi geologi Kabupaten Klaten ditunjukkan oleh Gambar 3 yaitu sebagian besar berupa Formasi Merapi Muda, endapan Aluvial, batuan Merapi Tua, dan sebagian kecil Formasi Wonosari, Formasi Semilir dan Formasi Kebobotak. Formasi Merapi Muda umumnya memiliki litologi penyusun berupa material hasil aktivitas Gunung Merapi yaitu *tuff*, aglomerat, breksi, dan lelehan lava. Suatu wilayah yang memiliki kondisi geologi berupa *tuff* mempunyai potensi bahaya lebih besar terhadap efek getaran tanah akibat amplifikasi dan interaksi getaran tanahnya (Nakamura, 2000).



Gambar 3. Peta Geologi Kabupaten Klaten (Pemkab Klaten, 2011)

Berdasarkan Gambar 3, Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno merupakan daerah dengan Formasi Merapi Muda yang tersusun oleh endapan aluvial dengan material pasir, kerikil, kerakal, lempung lanau, dan lumpur, dimana material – material tersebut merupakan hasil proses sedimentasi. Ketebalan lapisan sedimen merupakan salah satu faktor yang memengaruhi terjadinya *local site effect*, yaitu bahasan tentang pengaruh kondisi geologi lokal daerah sekitar terhadap getaran tanah yang terjadi akibat gempa bumi. Nakamura (2000) menyatakan bahwa nilai faktor penguatan (amplifikasi) tanah berkaitan dengan perbandingan kontras impedansi lapisan permukaan dengan lapisan di bawahnya. Semakin besar perbandingan kontras impedansi kedua lapisan tersebut maka nilai faktor amplifikasinya juga semakin tinggi. Nilai amplifikasi yang tinggi berpotensi menimbulkan kerusakan pada bangunan yang ada di sekitarnya,

sehingga informasi mengenai ketebalan lapisan sedimen pada suatu daerah memiliki peran yang penting dalam mitigasi bencana gempa bumi.

Salah satu kajian yang bisa dilakukan untuk mengetahui distribusi ketebalan lapisan sedimen di suatu daerah yaitu dengan menggunakan metode mikrotremor. Mikrotremor adalah getaran harmonik alami di bawah permukaan tanah yang terjadi secara terus-menerus sehingga terjebak pada lapisan sedimen dan terpantulkan akibat adanya bidang batas lapisan dengan frekuensi tetap yang disebabkan oleh getaran mikro dan kegiatan alam lainnya di bawah permukaan tanah (Kusumawati, 2014). Metode mikrotremor merupakan metode yang digunakan untuk menentukan parameter fisis tanah berdasarkan kurva H/V dari pengukuran mikrotremor. Metode ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi resiko bencana gempa bumi berdasarkan gambaran kondisi geologi di wilayah tersebut melalui analisis parameter ketebalan sedimen (h), frekuensi predominan (f_0), dan faktor amplifikasi (Ag). Ketebalan sedimen memengaruhi amplifikasi (perbesaran gelombang gempa bumi) di daerah tersebut, karena gelombang gempa bumi yang merambat di bawah tanah akan teramplifikasi apabila melewati sedimen yang cukup tebal. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran tingkat kerentanan wilayah Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno Kabupaten Klaten yang dapat dipertimbangkan sebagai referensi penataan bangunan dan pengembangan wilayah.

B. Identifikasi Masalah

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

1. Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno mengalami kerusakan bangunan yang cukup parah dan menimbulkan banyak korban jiwa akibat gempa bumi yang bersumber di Kabupaten Bantul, Yogyakarta pada tanggal 27 Mei 2006 pukul 05:54:00.4 WIB dengan skala 5,9 SR atau 6,3 Mw.
2. Informasi terkait identifikasi lapisan sedimen dan lapisan *bedrock* di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno belum diketahui.

C. Batasan Masalah

Ruang lingkup masalah yang diamati dalam penelitian ini adalah:

1. Data yang digunakan pada penelitian ini berupa data mikrotremor dengan batasan koordinat geografis $7^{\circ}42'43,392''$ LS - $7^{\circ}47'45,519''$ LS dan $110^{\circ}29'21,450''$ BT - $110^{\circ}37'3,214''$ BT atau berada di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno Kabupaten Klaten.
2. Pengambilan data mikrotremor mengacu pada aturan yang ditetapkan oleh SESAME *European Research Project* (SESAME, 2004).
3. Data mikrotremor diukur menggunakan *Digital Portable Seismograph* merek Taide tipe TDL-303S dengan titik penelitian sebanyak 29 data dengan interval antar titik penelitian yaitu 2 km.

D. Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana persebaran nilai frekuensi predominan (f_0) dan nilai faktor amplifikasi (Ag) di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno Kabupaten Klaten?
2. Bagaimana hubungan topografi daerah penelitian dengan ketebalan sedimen (h) berdasarkan model penampang seismik kurva H/V di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno Kabupaten Klaten?
3. Bagaimana identifikasi lapisan sedimen dan lapisan *bedrock* berdasarkan persebaran nilai faktor amplifikasi (Ag) di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno Kabupaten Klaten?

E. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, tujuan penelitian ini adalah:

1. Menentukan distribusi nilai frekuensi predominan (f_0) dan nilai faktor amplifikasi (Ag) di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno Kabupaten Klaten.
2. Mengetahui korelasi antara topografi daerah penelitian dengan ketebalan sedimen (h) berdasarkan model penampang seismik kurva H/V di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno Kabupaten Klaten.
3. Mengidentifikasi lapisan sedimen dan lapisan *bedrock* berdasarkan persebaran nilai faktor amplifikasi (Ag) di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno Kabupaten Klaten.

F. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan informasi dan gambaran terkait identifikasi lapisan sedimen dan lapisan *bedrock* di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno Kabupaten Klaten yang dapat digunakan dalam mitigasi bencana gempa bumi.
2. Menambah literatur pendukung dalam mendesain tata ruang dan dasar pembangunan infrastuktur guna meminimalisir kerusakan akibat gempa bumi di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno Kabupaten Klaten.
3. Sebagai bahan masukan dan referensi bagi penelitian selanjutnya.

BAB II

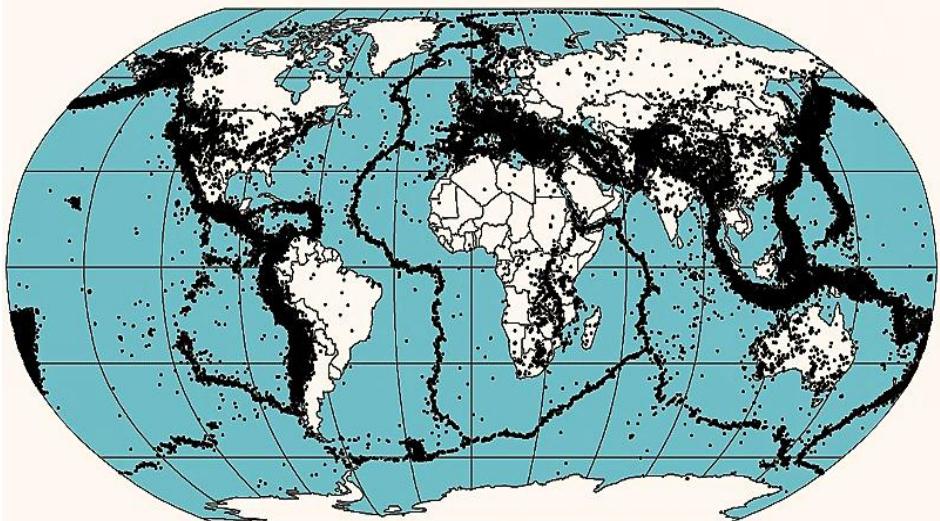
KAJIAN TEORI

A. Gempa Bumi

Gempa bumi (*earthquake*) adalah peristiwa bergetar atau bergoncangnya bumi karena pergerakan atau pergeseran lapisan batuan pada kulit bumi secara tiba-tiba akibat pergerakan lempeng-lempeng tektonik. Gempa bumi yang disebabkan oleh aktivitas pergerakan lempeng tektonik disebut gempa bumi tektonik. Gempa bumi bisa juga terjadi akibat aktivitas gunung berapi yang disebut sebagai gempa bumi vulkanik. Pergerakan tiba-tiba dari lapisan batuan di dalam bumi menghasilkan energi yang dipancarkan ke segala arah berupa gelombang gempa bumi atau gelombang seismik. Ketika gelombang ini mencapai permukaan bumi, getarannya dapat merusak segala sesuatu di permukaan bumi seperti bangunan dan infrastruktur lainnya sehingga dapat menimbulkan korban jiwa dan kehilangan harta benda (Sunarjo dkk, 2012).

Gempa bumi dapat terjadi kapan saja dan di mana saja. Meskipun demikian, konsentrasi gempa bumi cenderung terjadi di tempat-tempat tertentu di lapisan kulit bumi. Lapisan kulit bumi terluar atau litosfer terdiri atas lempeng – lempeng tektonik yang kaku dan terapung di atas batuan yang relatif tidak kaku serta bergerak satu sama lain. Daerah pertemuan dua lempeng disebut sebagai *plate margin* atau batas lempeng, yaitu bisa berupa zona subduksi, pemekaran dasar samudera, atau pengangkatan dan pelipatan di zona tumbukan. Gempa bumi tidak dapat terjadi di sembarang tempat, tetapi umumnya gempa bumi terjadi di

sekitar sesar dan di batas lempeng yang membentuk jalur gempa bumi dunia yang ditunjukkan oleh Gambar 4 (Sunarjo dkk, 2012).

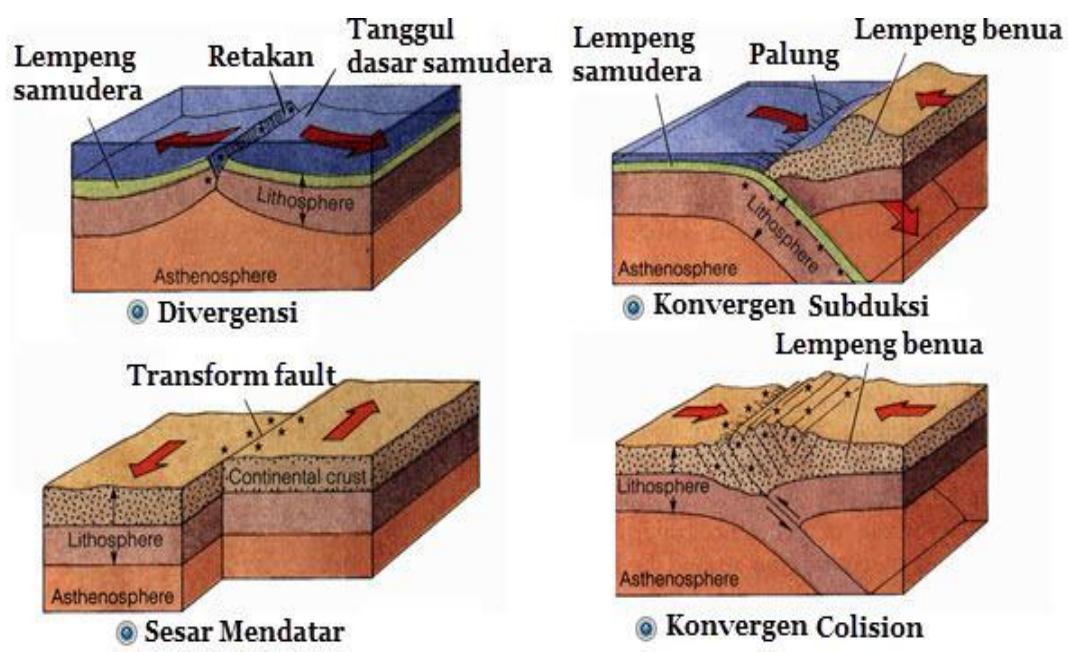


Gambar 4. Distribusi tahunan gempa bumi dunia dinotasikan dengan titik-titik hitam terkonsentrasi pada jalur-jalur tektonik (i-GMT, 2008)

Menurut Teori *Elastic Rebound* yang dinyatakan oleh Seismolog Amerika (Bullen dan Bolt, 1985), gempa bumi merupakan gejala alam yang disebabkan oleh pelepasan energi regangan elastis batuan, karena adanya deformasi batuan yang terjadi pada lapisan litosfer. Deformasi batuan terjadi akibat adanya tekanan (*stress*) dan regangan (*strain*) pada lapisan bumi. Tekanan atau regangan yang terus menerus menyebabkan daya dukung pada batuan akan mencapai batas maksimum dan mulai terjadi pergeseran dan akhirnya terjadi patahan secara tiba-tiba.

Mekanisme gempa bumi dapat dijelaskan secara singkat sebagai berikut, jika dua lempeng bertemu pada suatu bidang patahan (sesar) dengan arah yang berlawanan, ada tiga kemungkinan pergerakan satu lempeng tektonik relatif terhadap lempeng lainnya karena lempeng mempunyai sifat elastis. Keduanya

dapat bergerak saling menjauhi (*spreading*), saling mendekati (*collision*), atau saling bergeser (*transform*) seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 5. Gerakan ini berlangsung lambat dan tidak dapat dirasakan oleh manusia namun terukur sebesar 0 – 15 cm per tahun. Terkadang gerakan lempeng ini macet dan saling mengunci sehingga terjadi pengumpulan energi yang berlangsung terus-menerus dan lama kelamaan daya dukung pada lempeng akan mencapai batas maksimum sehingga mulai terjadi pergeseran. Akibatnya lempeng akan mengalami patahan secara tiba-tiba sepanjang bidang patahan karena sudah tidak mampu lagi menahan tekanan (*stress*) tersebut. Pada saat lempeng mengalami gerakan yang tiba-tiba akibat pergeseran antar kedua lempeng, energi *stress* yang tersimpan akan dilepaskan dalam bentuk getaran yang dikenal sebagai gempa bumi (Sungkowo, 2016).



Gambar 5. Jenis pergerakan lempeng (John Willey, 1999)

B. Gelombang Seismik

Gelombang seismik adalah gelombang elastis gempa bumi yang menjalar ke seluruh bagian dalam bumi dan melalui permukaan bumi akibat adanya lapisan batuan yang patah secara tiba-tiba atau adanya suatu ledakan. Gelombang ini juga dianalogikan sebagai gelombang yang menjalar seperti pada suatu kolam air yang dijatuhkan di atasnya sebuah batu. Air mengalami gangguan dan gelombangnya terpancar keluar dari pusat awalnya mencapai jarak terjauh pada kolam. Akan tetapi partikel air yang terganggu tersebut tak bergeser dalam arah pergerakan gelombang. Gelombang seismik merambat dalam lapisan bumi sesuai dengan prinsip yang berlaku pada perambatan gelombang cahaya: pembiasan dengan koefisien bias, pemantulan dengan koefisien pantul, hukum-hukum *Fermat*, *Huygens*, *Snellius*, dan lain-lain (Sunarjo dkk, 2012).

Getaran gempa menimbulkan gelombang gempa bumi yang menjalar ke seluruh lapisan bumi. Gelombang seismik terdiri dari 2 tipe, yaitu gelombang yang merambat pada interior bumi (*body waves*) dan gelombang yang merambat di permukaan bumi (*surface waves*) (Susilawati, 2008).

1. *Body Waves* (Gelombang Badan)

Gelombang badan menjalar melalui bagian dalam bumi dan biasa disebut sebagai *free wave* (gelombang bebas) karena dapat menjalar ke segala arah di dalam bumi. Berdasarkan gerak partikel pada media dan arah penjalarannya, gelombang badan dibedakan menjadi dua, yaitu gelombang P (*primary/longitudinal*) dan gelombang S (*secondary/transversal*). Gelombang P atau gelombang primer merupakan gelombang longitudinal (gelombang

kompresional) karena gerakan partikelnya sejajar dengan arah perambatannya. Gelombang P merambat lebih cepat dan datang pertama kali serta lebih tajam (frekuensinya lebih tinggi) dibandingkan dengan gelombang seismik yang lain. Kecepatan gelombang P dalam padatan sekitar 1,8–7 km/s, dan periodenya terletak antara 5–10 ms (Gazali, 2017).

Tipe gelombang badan yang kedua yaitu gelombang S atau gelombang sekunder yang merupakan gelombang transversal (*shear*) karena gerakan partikelnya terletak pada suatu bidang yang tegak lurus dengan arah penjalarannya. Gelombang S datang setelah gelombang P karena memiliki cepat rambat yang lebih lambat dibandingkan dengan gelombang P dan ditandai dengan amplitudo yang lebih besar dari gelombang P dengan kandungan frekuensinya lebih rendah dan periodenya berkisar antara 11 – 13 ms. Perambatan gelombang S disertai juga dengan gerakan berputar sehingga dapat lebih membahayakan dibandingkan gelombang P (Gazali, 2017). Kecepatan gelombang seismik bertambah seiring dengan bertambahnya kedalaman, maka lintasan gelombang seismik akan berbentuk lengkungan cekung ke permukaan bumi.

2. *Surface Waves* (Gelombang Permukaan)

Gelombang yang merambat sejajar dengan permukaan medium disebut gelombang permukaan (*surface waves*). Gelombang permukaan merupakan salah satu gelombang seismik selain gelombang badan yang terjadi pada batas permukaan medium. Berdasarkan sifat gerakan partikel media elastis, gelombang permukaan merupakan gelombang kompleks dengan frekuensi rendah dan amplitudo besar yang menjalar akibat adanya *free surface effect* dimana terdapat

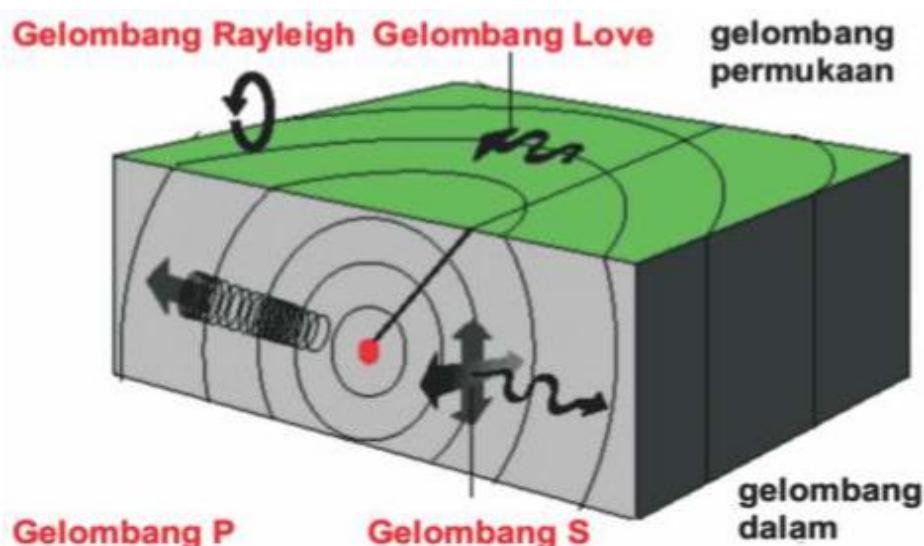
perbedaan sifat elastis (Susilawati, 2008). Gelombang permukaan terbentuk dari interferensi gelombang-gelombang yang mempunyai sifat tertentu akibat interaksinya dengan permukaan bebas. Gelombang tersebut adalah gelombang pantul yang gelombang datangnya melebihi sudut kritis sehingga amplitudo gelombang pantulnya berkurang terhadap kedalaman (Gazali, 2017).

Gelombang permukaan merupakan gelombang elastik yang menjalar sepanjang lapisan permukaan bumi yang biasa disebut sebagai *tide waves* (gelombang pasang). Gelombang permukaan terdiri dari gelombang Love (L) dan gelombang Rayleigh (R). Gerakan partikel gelombang L sama dengan gelombang S yang penjalarannya paralel dengan permukaannya dan memerlukan media yang berlapis (Gadallah dan Fisher, 2009). Sedangkan untuk gelombang R lintasan gerak partikelnya merupakan kombinasi gerakan partikel yang disebabkan oleh gelombang P dan S yang menunjukkan suatu bentuk ellips. Orbit gerakan partikelnya merupakan gerakan elliptik dengan sumbu mayor ellips tegak lurus dengan permukaan dan arah penjalarannya (Telford dkk, 1976).

Gelombang L dan R merupakan gelombang permukaan yang mempunyai sifat periode yang panjang yaitu menjalar sepanjang permukaan bebas dari bumi atau lapisan batas diskontinuitas antara kerak dan mantel bumi. Amplitudo gelombang L dan gelombang R adalah yang terbesar pada permukaan dan mengecil secara eksponensial terhadap kedalaman. Dengan demikian pada gempa bumi dangkal, amplitudo gelombang L dan R akan mendominasi. Gelombang seismik akan menjalar lebih cepat pada lapisan yang mempunyai nilai kecepatan lebih besar. Perbedaan lapisan bisa ditentukan juga dengan struktur batuan.

Struktur batuan aluvial atau cenderung lunak mempunyai amplifikasi (perbesaran gelombang) cukup tinggi sehingga akan menimbulkan dampak getaran lebih kuat sekalipun lokasi kerusakan cukup jauh dari sumber gempa (Sunarjo dkk, 2012).

Arah gerakan partikel gelombang ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Jenis pergerakan gelombang seismik (Kato, 2006)

C. Seismograf

Instrumen pendekksi gempa bumi disebut dengan seismograf. Alat ini dilengkapi dengan rekaman data (seismogram) serta sistem perhitungan waktu pencatatan getaran tanah hasil rambatan gelombang gempa bumi. Seismograf terdiri dari beberapa bagian, antara lain: sensor (seismometer), *amplifier* atau pengkondisi sinyal, ADC (*Analog to Digital Converter*), sistem pewaktu (*time system*), *recorder* dan *power supply* (Havskov, 2002). Seismogram tergambar sebagai rekaman gelombang gempa bumi selama kurun waktu tertentu sesuai dengan lamanya getaran gempa bumi dapat terekam. Seismogram digunakan untuk mendapatkan berbagai informasi tentang gempa bumi, antara lain untuk

penentuan parameter gempa bumi, yaitu waktu asal kejadian, posisi episenter (pusat gempa bumi), kedalaman, kekuatan gempa, intensitas kerusakan, dan parameter lainnya.

Di dalam seismograf terdapat sebuah pendulum untuk mencatat arah gerakan vertikal dan horizontal dengan dilengkapi oleh peredam berupa *peer* untuk membedakan getaran khusus gempa bumi dengan getaran lainnya (*noise*) dengan menyesuaikan nilai amplitudo dan frekuensi getarannya. Instrumen seismograf dilengkapi dengan sensor pendeksi getaran tanah yang diletakkan di dasar lapisan tanah bebatuan dasar (*bedrock*) yang dinamakan seismometer. Seismometer merupakan alat yang digunakan untuk merespon getaran tanah dan menangkap sinyal yang terekam oleh seismograf. Seismometer memiliki tiga detektor yang dapat mendeksi getaran tanah (Arifudin, 2018). Pada penelitian ini seismograf yang digunakan adalah *Digital Portable Seismograph* yang terdiri dari seismometer merek Taide tipe TDV-23S dan *digitizer* merek Taide tipe TDL-303S seperti yang ditampilkan oleh Gambar 7.



(a)



(b)

Gambar 7. Seismograf (a) Seismometer merek Taide tipe TDV-23S
(b) *Digitizer* merek Taide tipe TDL-303S

D. Mikrotremor (*Ambient Noise*)

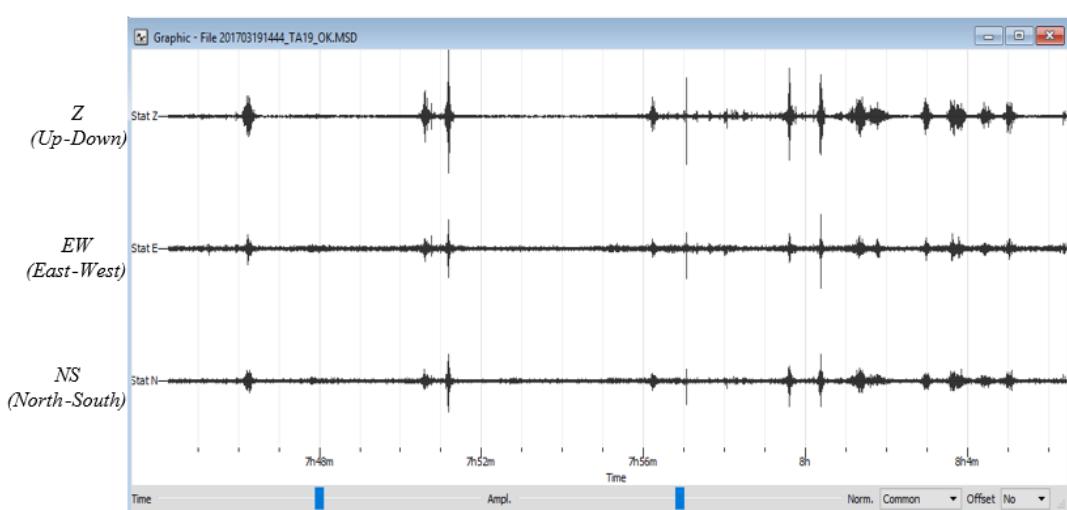
Menurut Arai dan Tokimatsu (2004), mikrotremor atau yang biasa disebut *ambient noise* adalah getaran tanah dengan amplitudo mikrometer yang dapat ditimbulkan oleh peristiwa alam atau buatan seperti angin, gelombang laut atau getaran kendaraan yang bisa menggambarkan kondisi geologi suatu wilayah bawah permukaan. Mikrotremor didasarkan pada perekaman *ambient noise* untuk menentukan parameter karakteristik dinamika (*damping ratio* dan frekuensi alami) dan fungsi transformasi (frekuensi dan amplifikasi) bangunan.

Mikrotremor merupakan getaran tanah yang memiliki amplitudo pergeseran sekitar $0,1 - 1 \mu\text{m}$. Berdasarkan periodonya mikrotremor terbagi menjadi dua jenis, seperti yang dikemukakan oleh Mirzaoglu dan Dykmen (2003), yaitu mikrotremor periode pendek (< 1 detik) dimana keadaan ini terkait dengan struktur bawah permukaan yang dangkal dengan ketebalan beberapa puluh meter. Jenis kedua adalah mikrotremor dengan periode panjang (> 1 detik), keadaan ini terkait dengan struktur tanah yang lebih dalam dan menunjukkan dasar dari batuan keras.

Pengukuran mikrotremor dapat digunakan untuk mengetahui karakteristik lapisan tanah berdasarkan parameter frekuensi predominannya dan faktor penguatan gelombangnya (amplifikasi). Pengukuran mikrotremor dapat dilakukan dengan dua cara, pendekatan pertama adalah perekaman yang dilakukan secara simultan pada dua atau lebih lokasi. Salah satu tempat perekaman harus dilakukan di daerah batuan keras (*hard rock*) sehingga tidak menunjukkan adanya penguatan frekuensi akibat gerakan tanah. Rasio spektrum yang didapatkan pada tempat lain

akan dibandingkan dengan yang terekam pada *hard rock* sehingga akan didapatkan respon *site* terhadap mikrotremor (Winoto, 2010). Pendekatan kedua diperkenalkan oleh Nakamura (1989) bersamaan dengan metode analisisnya. Nakamura menemukan bahwa rasio spektrum horizontal dan vertikal dari mikrotremor meningkat pada frekuensi resonansi dan akan menunjukkan puncak pada frekuensi tersebut. Nakamura mengasumsikan bahwa kurva *H/V* merefleksikan tingkat amplifikasi dari gerakan tanah. Dengan metode ini pengukuran tidak perlu dilakukan dengan syarat adanya batuan keras (*hard rock*).

Secara umum perekaman mikrotremor memerlukan seismometer yang memiliki tiga komponen yang merekam komponen *EW* (*east-west*), komponen *NS* (*north-south*), dan komponen vertikal (*up-down*). Pada perekaman mikrotremor tidak dibutuhkan adanya sumber buatan atau sumber gempa bumi, namun pengukuran langsung dilakukan karena yang direkam merupakan getaran yang timbul dari alam (Syaifuddin dkk, 2016). Contoh sinyal mikrotremor hasil pembacaan dengan seismograf dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Sinyal mikrotremor yang terekam

Karakteristik mikrotremor erat kaitannya dengan struktur tanah daerah penelitian sehingga dapat digunakan untuk mengetahui keadaan bawah permukaan tanah. Dari pengukuran mikrotremor dapat diketahui sifat getaran dari lapisan bawah permukaan tanah (Nakamura, 2000). Dengan demikian struktur bawah permukaan dalam penelitian ini dimodelkan dalam dua lapis yaitu lapisan permukaan (lapisan sedimen) yang mewakili endapan aluvial vulkanik Merapi dan lapisan batuan keras (*bedrock*) yang mewakili batuan yang berada di bawah endapan aluvial.

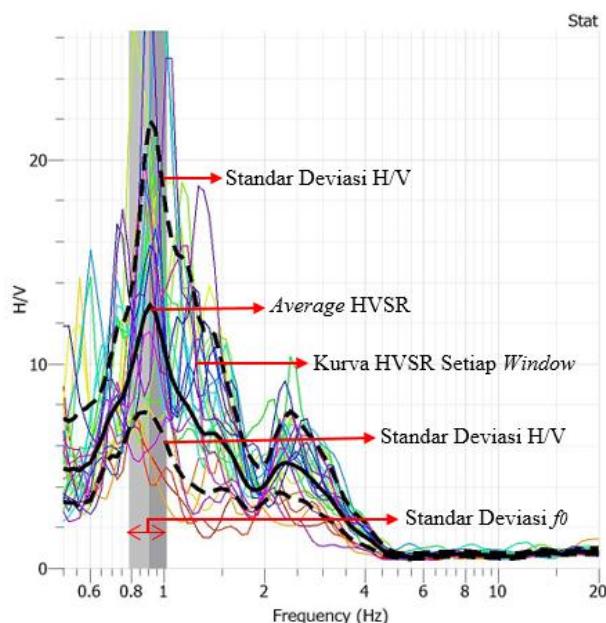
E. Metode *Horizontal to Vertical Spectrum Ratio* (HVSR)

Guna meminimalkan kerusakan akibat bencana gempa bumi, desain struktur bangunan hendaknya memperhatikan sifat dinamis dan kondisi lokal tanah setempat (Martorana, 2014). Penelitian tentang karakteristik dinamis tanah menjadi penting bagi pengembangan dan pembangunan suatu wilayah. Berbagai metode seismik telah berkembang untuk mempelajari karakteristik dinamis tanah, salah satunya yang paling populer adalah metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR) yang dikemukakan oleh Nakamura (Nakamura, 1989).

Nakamura (1997) menunjukkan bahwa HVSR adalah metode yang dapat digunakan untuk menginterpretasikan karakteristik tanah seperti jenis tanah dan ketebalan lapisan sedimen pada suatu wilayah yang diperoleh dari interpretasi kurva H/V sebagai fungsi frekuensi predominan dan faktor amplifikasinya. Teknik HVSR pada analisis data mikrotremor telah digunakan secara luas untuk studi efek lokal (*site effect*) dan mikrozonasi. Selain sederhana dan bisa dilakukan

kapan dan dimana saja, teknik ini juga mampu mengestimasi frekuensi resonansi secara langsung tanpa harus mengetahui struktur kecepatan gelombang geser dan kondisi geologi bawah permukaan lebih dulu.

Teknik perbandingan antara spektrum gelombang komponen horizontal terhadap vertikal (HVSR) dari *noise* gelombang seismik dapat digunakan untuk memperkirakan kedalaman *bedrock* secara cepat (Lunedei dan Albarello, 2010). Metode HVSR berguna untuk menunjukkan frekuensi resonansi dominan atau frekuensi predominan (f_0) dan nilai amplifikasi tanah (Ag), yang mempresentasikan karakteristik dinamis lapisan sedimen. Berdasarkan analisis menggunakan metode HVSR, nilai amplifikasi (Ag) dan nilai frekuensi predominan (f_0) merupakan nilai pada puncak kurva HVSR seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 9. Dua nilai tersebut berkaitan dengan karakteristik geologi dan parameter fisik bawah permukaan daerah setempat yang dimodelkan dalam bentuk mikrozonasi.



Gambar 9. Kurva HVSR

Kurva dengan warna hitam menunjukkan kurva rata-rata nilai HVSR dari kurva yang berwarna, sedangkan dua kurva hitam yang berupa garis putus-putus menunjukkan standar deviasi bawah (batas minimum) dan standar deviasi atas (batas maksimum) dari kurva HVSR. Nilai frekuensi predominan dan amplifikasi tanah ditunjukkan dengan area berwarna abu-abu. Nilai rata-rata yang diperoleh dari kurva HVSR tersebut digunakan untuk menentukan nilai frekuensi predominan dan amplifikasi. Nilai puncak HVSR berhubungan dengan perbandingan antara kontras impedansi lapisan permukaan dengan lapisan di bawahnya. Perubahan nilai puncak HVSR suatu daerah disebabkan karena perubahan sifat fisik batuan seperti terjadinya pelapukan. Lapisan bawah permukaan dengan susunan batuan yang sama dapat memiliki nilai puncak HVSR yang bervariasi karena sesuai dengan tingkat deformasi dan pelapukan pada susunan batuan tersebut (Mulyatno dkk, 2013). Hasil pengolahan data mikrotremor secara umum menunjukkan kurva dengan puncak (*peak*) yang tegas dan amplitudo yang cukup besar. Hal ini mencerminkan kontras impedansi antara lapisan sedimen dengan lapisan *bedrock* yang berada di bawahnya cukup tinggi.

F. Fast Fourier Transform (FFT)

Analisis *Fourier* merupakan sebuah metode untuk mengkonversikan sebuah gelombang seismik menjadi beberapa gelombang harmonik sinusoidal dengan frekuensi berbeda. Gelombang seismik tersebut dapat menghasilkan sebuah fungsi penjumlahan sinusoidal dengan frekuensi tunggal. Tujuan dari transformasi *Fourier* dalam pengukuran mikrotremor adalah untuk mengubah gelombang seismik dalam domain waktu (*time series*) menjadi domain frekuensi

(Riyanto dan Purwanto, 2009). Prinsipnya adalah sinyal yang ada didekati dengan sinyal *cosinus* dan *sinus* dimana pendekatan setiap sinyal tersebut menghasilkan amplitudo masing – masing. Pada transformasi *Fourier*, nilai amplitudo tersebut mewakili sebuah sinyal yang direpresentasikan berdasarkan amplitudo yang berhubungan dengan frekuensi. Algoritma FFT digunakan dalam analisis spektrum *Fourier* karena data awal akuisisi dalam bentuk diskrit (Ambarsari, 2017). Transformasi *Fourier* didefinisikan sebagai berikut:

$$x(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-i\omega t} dt \quad (1)$$

$$x(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cos(\omega t) dt - i \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \sin(\omega t) dt \quad (2)$$

dimana $x(t)$ adalah fungsi sinyal dalam domain waktu, $e^{-i\omega t}$ adalah fungsi *kernel* dan $x(\omega)$ adalah fungsi sinyal dalam domain frekuensi.

G. Efek Tapak Lokal (*Site Effect*)

Tingkat kerusakan akibat gempa bumi dalam skala lokal dipengaruhi oleh magnitudo, jarak pusat gempa bumi, periode ulangnya, struktur, dan litologi bawah permukaan. Beberapa gempa bumi yang bersifat merusak di dunia menunjukkan bahwa kerusakan lebih parah terjadi pada dataran aluvial dibandingkan dengan daerah perbukitan (Nakamura, 2000). Banyak daerah perkotaan dengan populasi yang besar berada pada *soft-sediment* (seperti di daerah lembah dan muara) yang struktur tanahnya cenderung memperkuat gelombang seismik (Bard, 1998). Litologi yang lunak cenderung akan memberikan respon periode getaran yang panjang (frekuensi rendah), begitu pula sebaliknya. Dalam kajian teknik kegempaan, litologi yang lebih lunak mempunyai

resiko yang lebih tinggi apabila digoncang gelombang gempa bumi karena akan mengalami penguatan yang lebih besar dibandingkan dengan batuan yang lebih kompak. Fenomena ini biasanya disebut *site effect (site amplification)* selama respon tanah terhadap getaran bergantung pada sifat tanahnya (Novianita, 2009).

Energi mikrotremor sebagian besar bersumber dari gelombang Rayleigh, dan *site effect amplification* terjadi akibat keberadaan permukaan lapisan tanah lunak yang menempati setengah cekungan dari batuan dasar (Laberta, 2013). Pada umumnya *site effect* didefinisikan sebagai modifikasi (perubahan) dari karakteristik gelombang (amplitudo, kandungan frekuensi dan durasi) terhadap kondisi lapisan bawah permukaan dengan topografi permukaan. Karakteristik geologi permukaan tanah mempunyai peran penting dalam kaitannya dengan getaran seismik tanah (Sungkowo, 2016).

Site effect utamanya terjadi karena adanya kontras impedansi antara lapisan tanah bawah permukaan dengan batuan dasar (*bedrock*). *Site effect (Ts_{ite})* pada lapisan sedimen permukaan ditentukan dengan cara membandingkan faktor amplifikasi dari gerakan horizontal (T_H) dengan faktor amplifikasi dari gerakan vertikal (T_V) (Daryono dkk, 2009). Dengan membandingkan faktor amplifikasi horizontal (T_H) dan spektrum komponen gerak horizontal di permukaan tanah (S_{HS}) dengan spektrum komponen gerak horizontal pada dasar lapisan tanah (S_{HB}), diperoleh persamaan faktor amplifikasi horizontal (T_H) dan faktor amplifikasi vertikal (T_V) sebagai berikut:

$$T_H = \frac{S_{HS}}{S_{HB}} \quad \text{dan} \quad T_V = \frac{S_{VS}}{S_{VB}} \quad (3)$$

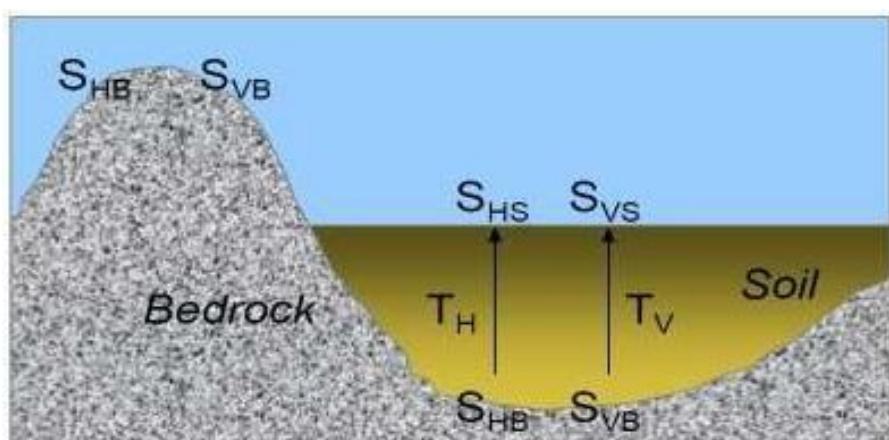
Nakamura (2000) menjelaskan efek sumber gelombang dengan efek geologi setempat dengan cara menormalisir spektrum komponen horizontal dan vertikal pada titik ukur yang sama. Hasilnya menunjukkan bahwa rekaman pada stasiun yang berada pada batuan keras mempunyai nilai maksimum rasio spektrum komponen horizontal terhadap komponen vertikal yang mendekati satu, seperti pada persamaan berikut:

$$\frac{S_{HB}}{S_{VB}} = 1 \quad (4)$$

sehingga,

$$HVSР = T_{site} = \frac{T_H}{T_V} = \frac{S_{HS}}{S_{VS}} \quad (5)$$

Namun pada stasiun yang berada pada batuan lunak nilai maksimumnya mengalami perbesaran (amplifikasi). Gangguan yang terekam pada permukaan lapisan tanah akibat efek gelombang Rayleigh dapat dihilangkan, sehingga hanya pengaruh struktur geologi atau *site effect* (T_{site}) saja, dimana T_{site} menunjukkan puncak amplifikasi pada frekuensi dasar pada suatu lokasi (Slob, 2007) yang dimodelkan oleh Gambar 10.



Gambar 10. Model cekungan yang berisi material lunak (Slob, 2007)

Pada pengukuran di lapangan terdapat dua komponen horizontal yang diukur yaitu komponen horizontal utara-selatan dan komponen horizontal barat-timur. Maka perhitungan rasio spektrum mikrotremor komponen horizontal terhadap komponen vertikal HVSR yaitu:

$$HVSR = T_{site} = \frac{\sqrt{[S_{(North-South)}^2 + S_{(East-West)}^2]}}{S_{VS}} \quad (6)$$

H. Mikrozonasi

Mikrozonasi mikrotremor adalah suatu proses pembagian area berdasarkan parameter tertentu dengan karakteristik yang dipertimbangkan antara lain adalah getaran tanah atau frekuensi, faktor penguatan (amplifikasi) dan periode predominan. Secara umum mikrozonasi mikrotremor dapat dikatakan sebagai proses untuk memperkirakan respon dan karakteristik dari lapisan tanah atau sedimen terhadap adanya gempa bumi (Arifin dkk, 2014). Kondisi geologi setempat dan topografi berpengaruh pada sebaran kerusakan yang ditimbulkan dari gempa bumi dan memengaruhi karakteristik perambatan gelombang pada tanah (Seed dkk, 1983).

Menurut Husein dkk (2010), pengontrol utama tingkat respon penguatan lahan terhadap getaran gempa bumi adalah kondisi batuan setempat (jenis batuan, berat jenis, dan ketebalan). Daerah yang berada pada sedimen lunak umumnya terjadi penguatan amplifikasi getaran gempa bumi sehingga seringkali menambah kerusakan yang ada. Untuk itu penyediaan informasi mengenai perkembangan mikrozonasi menjadi sangat penting sebagai upaya mitigasi bencana akibat kerusakan gempa bumi yang ditimbulkan.

Pengukuran mikrotremor telah diperkenalkan dan dikembangkan sejak tahun 1950 dan menjadi metode populer yang digunakan untuk mengestimasi sifat lapisan tanah dan digunakan secara intensif untuk mikrozonasi. Nakamura memperkenalkan analisa metode HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) untuk mengestimasi frekuensi alami dan amplifikasi dari data mikrotremor (Nakamura, 2000). Beberapa negara (termasuk Indonesia) berusaha mengembangkan penelitian mikrozonasi untuk pemetaan daerah – daerah rawan bencana. Dalam mikrozonasi mikrotremor terdapat beberapa parameter yang harus diperhatikan yaitu :

1. Frekuensi Predominan

Pengolahan dengan menggunakan metode HVSR menghasilkan nilai frekuensi predominan atau frekuensi alami dan nilai amplifikasi. Frekuensi ini kerap muncul sehingga diakui sebagai nilai frekuensi dari lapisan batuan di wilayah tersebut dan nilai frekuensi dapat menunjukkan jenis maupun karakteristik batuan tersebut (Sungkono dan Santosa, 2011). Frekuensi ini berkaitan dengan nilai periode predominan, yaitu waktu yang dibutuhkan untuk merambat melewati lapisan sedimen permukaan atau mengalami satu kali pemantulan terhadap bidang pantulnya (Arifin dkk, 2014). Hubungan antara nilai frekuensi predominan (f_0) dengan nilai periode dominan (T_0) berdasarkan persamaan berikut:

$$f_0 = \frac{1}{T_0} \quad (7)$$

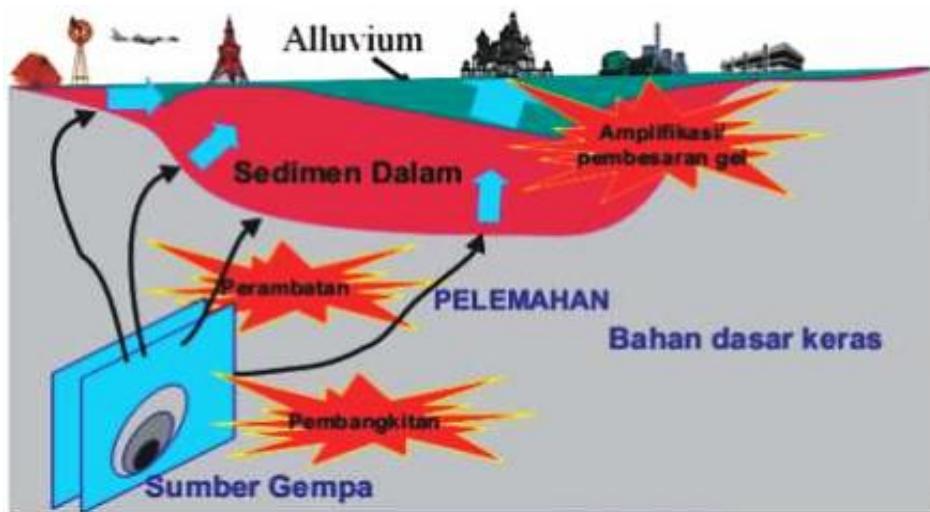
Lachet dan Brad (1994) melakukan uji simulasi dengan menggunakan 6 model struktur geologi sederhana dengan kombinasi variasi kontras kecepatan gelombang geser (V_s) dan ketebalan lapisan permukaan (h). Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai puncak frekuensi berubah terhadap variasi kondisi geologi. Dari nilai frekuensi predominan yang terukur di permukaan dapat diketahui karakteristik batuan di bawahnya. Hal tersebut dapat dilihat pada Tabel 1 tentang klasifikasi tanah berdasarkan nilai frekuensi dominan mikrotremor.

Tabel 1. Klasifikasi Tanah berdasarkan Nilai Frekuensi Resonansi Mikrotremor (Kanai, 1983)

Klasifikasi Tanah		Periode Predominan (s)	Frekuensi (Hz)	Klasifikasi Kanai	Deskripsi
Tipe	Jenis				
IV	I	0,05 – 0,15	6,667 – 20	Batuhan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan <i>hard sandy</i> , dan <i>gravel</i> .	Ketebalan sedimen permukaannya sangat tipis, didominasi oleh batuan keras.
	II	0,1 – 0,25	4,0 – 6,7	Batuhan <i>alluvial</i> , dengan ketebalan 5 meter. Terdiri dari <i>sandy-gravel</i> , <i>sandy hard</i> , <i>clay</i> , dan <i>loam</i> .	Ketebalan sedimen permukaannya masuk dalam kategori menengah 5 – 10 meter.
III	III	0,25 – 0,4	2,5 – 4	Batuhan <i>alluvial</i> dengan ketebalan > 5 meter. Terdiri dari <i>sandy-gravel</i> , <i>sandy hard</i> , <i>clay</i> , dan <i>loam</i> .	Ketebalan sedimen permukaan masuk dalam kategori tebal, sekitar 10 – 30 meter.
I dan II	IV	>0,4	< 2,5	Batuhan <i>alluvial</i> yang terbentuk dari sedimentasi delta, top, soil, lumpur, dengan kedalaman ≥ 30 meter.	Ketebalan sedimen permukaannya sangat tebal.

2. Faktor Amplifikasi

Perambatan gelombang gempa bumi dari *bedrock* (lapisan yang berada di bawah lapisan lunak) menuju ke lapisan lunak permukaan menyebabkan terjadinya perubahan guncangan gempa bumi yaitu berupa perbesaran atau amplifikasi (Aisyah dkk, 2011). Menurut Nakamura (2000), amplifikasi dapat terjadi akibat adanya perbesaran gelombang seismik karena perbedaan yang signifikan antar lapisan bawah permukaan, artinya gelombang seismik akan mengalami perbesaran jika merambat melalui medium yang lebih lunak daripada medium awal yang dilaluinya. Jika semakin besar perbedaan medium itu maka perbesaran yang dialami gelombang juga semakin besar. Nakamura juga menyatakan bahwa nilai faktor penguatan (amplifikasi) tanah berkaitan dengan perbandingan kontras impedansi lapisan permukaan dengan lapisan di bawahnya. Bila perbandingan kontras impedansi kedua lapisan tersebut tinggi maka nilai faktor penguatan juga tinggi, begitu juga sebaliknya, yang diilustrasikan oleh Gambar 11.



Gambar 11. Penjalaran gelombang seismik pada lapisan batuan di permukaan mengalami amplifikasi terhadap getaran gempa bumi (Yokoi, 2006)

Faktor amplifikasi tanah merupakan rasio spektrum Fourier yang dihasilkan dari pengolahan data rekaman mikrotremor di titik ukur pada permukaan tanah menggunakan metode HVSR. Beberapa peneliti telah menemukan adanya korelasi antara puncak spektrum kurva H/V dengan distribusi kerusakan gempa bumi. Amplifikasi merupakan dampak adanya *site effect* pada kondisi tanah permukaan (Mucciarelli dkk, 2008; Nakamura, 2000; Panoua dkk, 2005). Menurut Setiawan (2008), nilai faktor amplifikasi tanah yang dihasilkan dari pengukuran mikrotremor dapat diklasifikasikan seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Klasifikasi Nilai Faktor Amplifikasi (Setiawan, 2008)

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

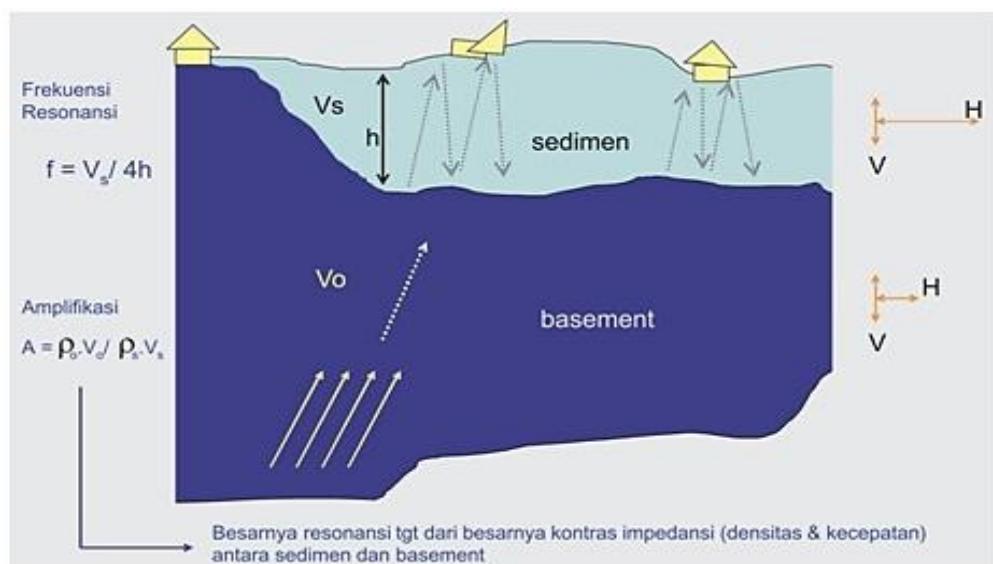
Amplifikasi getaran tanah dipengaruhi oleh nilai kecepatan gelombang geser (V_s) dan densitas tanah (ρ) terhadap kedalaman (h). Saat densitas relatif konstan, profil V_s terhadap h dapat dipergunakan untuk meng karakterisasi kondisi tanah setempat. Amplifikasi gempa bumi akan sebanding sesuai dengan persamaan berikut (Aki dan Richards, 2002) :

$$A = \frac{1}{\sqrt{V_s \rho}} \quad (8)$$

Marjiyono (2010) menyatakan bahwa amplifikasi berbanding lurus dengan nilai perbandingan spektral horizontal dan vertikalnya (H/V). Nilai amplifikasi bisa bertambah jika batuan telah mengalami deformasi (pelapukan, pelipatan, atau pesesaran) yang mengubah sifat fisik batuan. Pada batuan yang sama, nilai amplifikasi dapat bervariasi sesuai dengan tingkat deformasi dan pelapukan pada batuan tersebut. Secara matematis, besar nilai amplifikasi berdasarkan persamaan (Aki dan Richards, 2002):

$$Ag = \frac{\rho_b V_b}{\rho_s V_s} \quad (9)$$

dimana Ag adalah faktor amplifikasi, ρ_b adalah densitas batuan dasar (m/s), V_b adalah kecepatan rambat gelombang batuan dasar (m/s), ρ_s adalah densitas batuan lunak (m/s), dan V_s adalah kecepatan rambat gelombang batuan lunak (m/s).



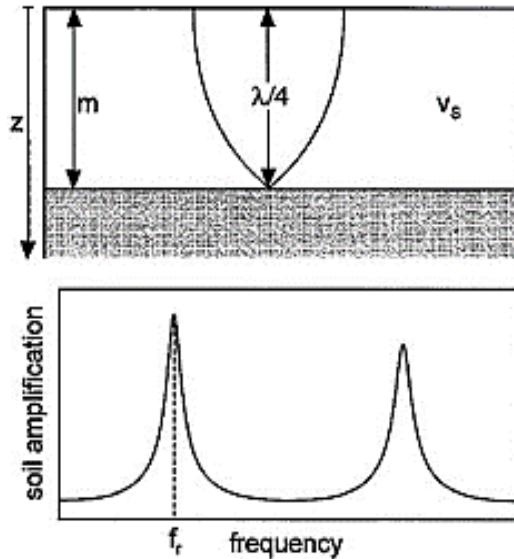
Gambar 12. Konsep dasar amplifikasi gelombang seismik (Nakamura, 1989)

Konsep dasar amplifikasi gelombang seismik oleh adanya satuan sedimen yang berada di atas batuan dasar (*basement*) dengan perbedaan berat jenis (ρ)

serta kecepatan V_s dan V_p yang mencolok ditunjukkan oleh Gambar 12 (Nakamura, 1989). Frekuensi resonansi banyak ditentukan oleh sifat fisik dari lapisan sedimen, yaitu ketebalan (h) dan kecepatan gelombang (V_s). Secara teoritis besarnya frekuensi atau periode getaran tanah merupakan cerminan kondisi fisik tanah atau batuan tersebut. Tanah atau batuan yang lunak (lepas) akan mempunyai periode predominan getaran yang panjang (frekuensi rendah), begitu juga sebaliknya. Dalam teknik kegempaan, batuan yang lebih lunak mempunyai resiko lebih tinggi bila digoncang gelombang gempa bumi, karena mengalami amplifikasi yang lebih besar dibandingkan dengan batuan yang lebih kompak (Marjiyono dkk, 2014).

3. Ketebalan Sedimen

Ketebalan lapisan sedimen merupakan ketebalan lapisan lapuk pada lapisan tanah yang diendapkan di atas batuan dasar atau *bedrock*. Lapisan sedimen yang dimaksudkan dalam analisis mikrotremor ini adalah lapisan tanah bagian atas dimana memiliki kecepatan rambat gelombang relatif rendah. Definisi *bedrock* di sini adalah lapisan tanah bagian bawah yang kecepatannya lebih tinggi dibandingkan dengan lapisan sedimen yang berada di atasnya (Ambarsari, 2017). Ketebalan sedimen berhubungan dengan frekuensi predominan yang merupakan frekuensi resonansi lapisan sedimen permukaan saat mencapai nilai amplifikasi maksimum. Hubungan ketebalan dan frekuensi predominan dapat diketahui berdasarkan kaidah pipa organa tertutup (Prabowo, 2015) yang ditunjukkan oleh Gambar 13.



Gambar 13. Hubungan antara amplitudo dengan ketebalan sedimen (Seht dan Wohlenberg, 1999)

Menurut Seht dan Wohlenberg (1999), saat ketebalan lapisan sedimen (h) bernilai $\lambda/4$, amplifikasi bernilai maksimum pada frekuensi tertentu yang disebut frekuensi resonansi. Jika λ merupakan panjang gelombang sekunder dalam meter yang dinyatakan $\lambda = \frac{V_s}{f}$, maka hubungan ketebalan lapisan sedimen dan frekuensi predominan dapat juga dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$f_0 = \frac{V_s}{4h} \quad (10)$$

dengan f_0 adalah frekuensi predominan, V_s adalah kecepatan gelombang sekunder dan h adalah ketebalan lapisan sedimen permukaan. Dari persamaan tersebut, dapat disimpulkan bahwa frekuensi predominan berbanding lurus dengan kecepatan gelombang geser dan berbanding terbalik dengan ketebalan sedimen.

Kecepatan gelombang geser (V_s) yang digunakan dalam penelitian ini merujuk pada hasil penelitian skripsi dengan daerah penelitian yang sama

(Patimah, 2017), dimana kecepatan gelombang geser ditentukan dengan pendekatan metode *ellipticity curve*. Metode ini menggunakan *software DInver* pada *Geopsy* yang bekerja dengan melakukan iterasi pada model awal (*initial model*) untuk dicocokkan dengan kurva HVSR hasil pengukuran sampai didapatkan model akhir (*final model*) yang nilai ketidakcocokannya (*misfit*) kecil dengan kurva HVSR hasil pengukuran. Model awal pada metode ini dibuat dengan memasukkan parameter tanah yang akan ditinjau, yaitu V_p , V_s , Poisson ratio, dan densitas. Parameter kecepatan gelombang geser untuk endapan fluvial vulkanik Merapi di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno mengacu pada Tabel 3.

Tabel 3. Klasifikasi Site Berdasarkan Nilai V_s Hasil Penyelidikan Tanah dan Laboratorium SNI 1726 (Badan Standarisasi Nasional, 2010)

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

I. Geologi Regional Daerah Penelitian

Daerah Klaten dan sekitarnya secara umum merupakan daerah hamparan endapan aluvial vulkanik Merapi, kecuali sedikit di bagian selatan berupa tinggian yang dikenal dengan Perbukitan Jiwo (Marjiyono dkk, 2014). Daerah penelitian merupakan bagian dari zona kaki Gunung Merapi yang terdiri dari deposit *fluvial*

vulcanic kuarter. Menurut peta geologi Kabupaten Klaten yang ditunjukkan oleh Gambar 3, batuan yang menyusun wilayah Kabupaten Klaten secara umum termasuk jenis batuan berumur kuarter dan tersier. Batuan kuarter tersebut penyusunnya adalah batuan Gunung Merapi dan batuan aluvium tua. Batuan tersier pada daerah penelitian adalah batuan Formasi Wonosari-Punung, batuan malihan, batuan Formasi Gamping Wungkal, batuan Diorit Pendul, dan batuan Formasi Kebobutak.

Kecamatan Prambanan, Jogonalan, Klaten Selatan, Klaten Tengah, Wedi, Trucuk, dan Gantiwarno sebagian besar tersusun dari batuan Gunung Merapi. Wilayah Kecamatan Bayat bagian utara tersusun dari batuan malihan. Wilayah Kecamatan Cawas tersusun dari batuan malihan, batuan Diorit Pendul, dan batuan Gamping Wungkal. Susunan batuan Formasi Wonosari-Punung terletak di wilayah sekitar Rowo Jombor dan Jimbung. Wilayah Gunung Kidul yang menjadi batas selatan Kabupaten Klaten tersusun dari batuan Formasi Kebobutak.

1. Kecamatan Prambanan

Kecamatan Prambanan adalah sebuah kecamatan di Kabupaten Klaten, Jawa Tengah. Sebelah barat kecamatan ini berbatasan dengan Kecamatan Prambanan, Kabupaten Sleman, Yogyakarta. Kecamatan ini juga berbatasan dengan Kecamatan Gantiwarno di sebelah timur, berbatasan dengan Kecamatan Gayamharjo Kabupaten Sleman di sebelah selatan dan berbatasan dengan Kecamatan Manisrenggo di sebelah utara. Luas wilayah Kecamatan Prambanan adalah 24,43 km², dengan jumlah penduduk sebanyak 46.161 jiwa yang dibagi menjadi 11.823 kepala keluarga (BAPPEDA, 2006).



Gambar 14. Peta Administrasi Kecamatan Prambanan (Pemkab Klaten, 2011)

Secara administratif Kecamatan Prambanan terdiri dari 16 desa yaitu Desa Joho, Desa Kokosan, Desa Kebondalem Lor, Desa Randusari, Desa Brajan, Desa Bugisan, Desa Kemudo, Desa Geneng, Desa Sanggrahan, Desa Taji, Desa Tlogo, Desa Kebondalem Kidul, Desa Pereng, Desa Kotesan, Desa Cucukan, dan Desa Sengon seperti ditunjukkan pada Gambar 14. Berdasarkan satuan formasi, litologi Kecamatan Prambanan tersusun atas Formasi Merapi Muda dengan sedikit Formasi Kebobutak, dan Formasi Semilir di bagian selatan (Pemkab Klaten, 2011).

2. Kecamatan Gantiwarno

Kecamatan Gantiwarno adalah sebuah kecamatan di Kabupaten Klaten, Jawa Tengah yang berbatasan dengan Kabupaten Gunung Kidul di sebelah selatan, Kecamatan Wedi di sebelah timur, Kecamatan Prambanan di sebelah barat, dan Kecamatan Jogonalan di bagian utara. Luas wilayah Kecamatan

Gantiwarno yaitu 25,64 km², dengan jumlah penduduk sebanyak 40.743 jiwa yang dibagi menjadi 15.062 kepala keluarga (BAPPEDA, 2006).

Secara administratif Kecamatan Gantiwarno terdiri dari 16 desa yaitu Desa Muruh, Desa Baturan, Desa Mlese, Desa Ceporan, Desa Towangsan, Desa Jabung, Desa Mutihan, Desa Sawit, Desa Gesikan, Desa Katekan, Desa Kerten, Desa Ngandong, Desa Kragilan, Desa Jogoprayan, Desa Karangturi, dan Desa Gentan seperti ditunjukkan pada Gambar 15. Berdasarkan satuan formasi, litologi Kecamatan Gantiwarno tersusun atas Formasi Merapi Muda dengan sedikit Formasi Kebobutak tersebar di sebagian wilayah selatan (Pemkab Klaten, 2011).



Gambar 15. Peta Administrasi Kecamatan Gantiwarno

J. Kerangka Berpikir

Wilayah penelitian merupakan wilayah dengan potensi kerusakan yang cukup besar akibat gempa Yogyakarta pada tahun 2006 silam seperti data yang ditunjukkan pada Tabel 4. Dari penelitian yang dilakukan di Kecamatan

Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno diperoleh data berupa sinyal mikrotremor. Pengolahan sinyal mikrotremor menggunakan metode HVSR dengan program *software Sessaray Geopsy*. Hasil yang diperoleh berupa kurva H/V yang menyajikan data berupa frekuensi predominan dan faktor amplifikasi dari setiap titik ukur penelitian. Data tersebut menjadi parameter input mikrozonasi untuk mengetahui tingkat resiko kerusakan di daerah penelitian berdasarkan persebaran nilai frekuensi predominan (f_0) dan nilai faktor amplifikasi tanah (Ag). Parameter *input* tersebut juga dikorelasikan dengan profil ketinggian daerah penelitian untuk mendapatkan hubungan antara frekuensi predominan dengan ketebalan lapisan sedimen (h).

Tabel 4. Sejarah Gempa Merusak di Yogyakarta dan Klaten (Arifudin, 2018)

Tanggal	Episenter		Hilosenter (km)	Magnitudo	Keterangan
	Lintang	Bujur			
04-01-1840	-	-	-	-	Disertai Tsunami
20-10-1859	-	-	-	-	Disertai Tsunami
10-06-1867	-	-	-	-	500 orang tewas, ribuan rumah rusak
28-03-1875	-	-	-	-	Dirasakan pada V-VII MMI
27-09-1937	8,88	110,65	-	7,2	VII-IX, 2.200 rumah roboh
23-07-1943	8,60	109,90	90	8,1	213 orang tewas dan 15.275 rumah rusak
12-10-1957	8,3	110,3	-	6,4	Dirasakan pada VI MMI
14-03-1981	7,2	109,3	33	6	Dirasakan pada VII MMI
09-06-1992	8,47	111,10	56	6,5	Dirasakan pada IV MMI
25-05-2001	8,62	110,1	50	6,2	Dirasakan pada IV MMI
19-08-2004	9,22	109,5	55	6,3	Dirasakan pada IV MMI
27-05-2006	7,96	110,45	15	6,4	Lebih dari 6.000 orang tewas, 1.000.000 orang kehilangan tempat tinggal

Pada penelitian ini struktur bawah permukaan dimodelkan menjadi dua lapis yaitu lapisan sedimen (lunak) dan lapisan *bedrock* (keras) dengan acuan nilai kecepatan gelombang geser (V_s) berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Siti Patimah pada tahun 2017. Nilai V_s yang didapatkan dari pemodelan *ground profiles* tersebut kemudian diinterpretasikan dalam bentuk susunan lapisan sedimen dan lapisan *bedrock* pada setiap daerah penelitian. Selanjutnya hasil interpretasi tersebut dimodelkan dalam bentuk 3 dimensi menggunakan *software Rockwork 15* untuk mempermudah visualisasi distribusi lapisan bawah permukaan (sedimen dan *bedrock*) di wilayah penelitian.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data primer dengan pengambilan data langsung berupa pengukuran mikrotremor pada tanggal 12, 13, 18, dan 19 Maret 2017 pada pukul 07.00-18.00 WIB. Pada bulan Oktober 2016 hingga bulan Februari 2017 telah dilakukan studi pustaka, diskusi, dan survei lapangan penelitian terlebih dahulu. Pengambilan data mikrotremor dilakukan di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno yang terletak pada koordinat geografis $7^{\circ}42'43,392''$ LS - $7^{\circ}47'45,519''$ LS dan $110^{\circ}29'21,450''$ BT - $110^{\circ}37'3,214''$ BT. Pengukuran sinyal mikrotremor dilakukan di 29 titik pengukuran dengan jarak antar titik sejauh 2 km dan luas wilayah 500 km^2 .

B. Instrumen Penelitian

Instrumen atau peralatan yang digunakan pada penelitian ini berupa perangkat lunak dan perangkat keras.

1. Perangkat Lunak

Perangkat lunak merupakan perangkat yang berkaitan dengan penggunaan komputer berupa aplikasi pendukung penelitian (*software*). Adapun perangkat lunak yang digunakan antara lain:

- a. *Google Earth* untuk memperkirakan kondisi lokasi penelitian, menentukan titik lokasi pengukuran dan sebagai acuan dalam membuat desain survei.
- b. *Global Mapper 13* dari *Blue Marble Geographics* untuk memasukkan titik koordinat pengukuran mikrotremor ke perangkat *Global Positioning System*

(GPS), menggabungkan peta, dan mengubah format .kmz agar dapat dibuka di aplikasi *Google Earth*.

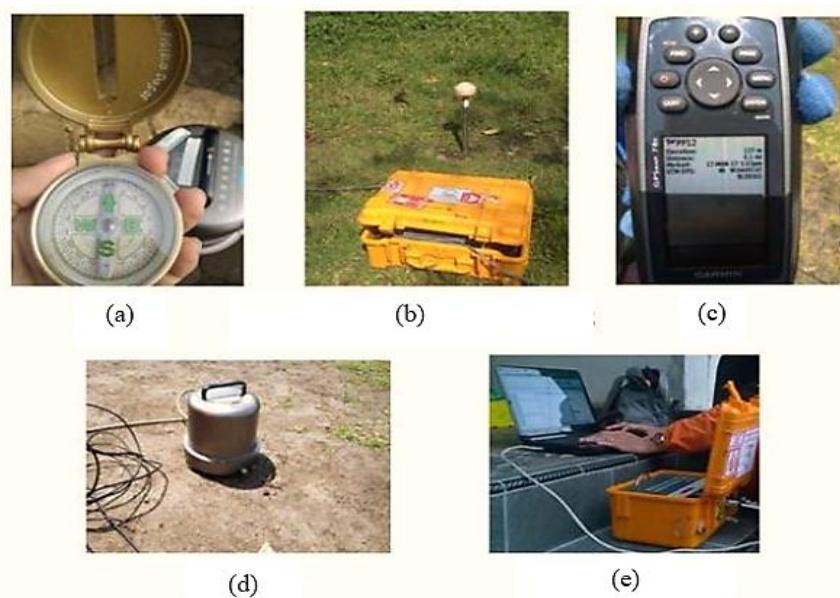
- c. *Sesarray-Geopsy 2.9.1* untuk melakukan analisis HVSR terhadap sinyal mikrotremor sehingga diperoleh kurva H/V yang mengandung frekuensi predominan (f_0) dan faktor amplifikasi (Ag).
- d. *MATLAB R2008a* untuk menganalisis data mikrotremor dengan *Fast Fourier Transform (FFT)* dan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR)*.
- e. *Rockwork 15* dari *Rockware ®* untuk memodelkan lapisan sedimen dan lapisan *bedrock* dalam tampilan 3-Dimensi.
- f. *Surfer 12* dari *Golden Software* untuk membuat desain survei dan kontur karakteristik peta persebaran nilai faktor amplifikasi dan frekuensi predominan.
- g. *Microsoft Excel 2016* untuk mengubah format data (.dat) menjadi format data kolom *Excel Workbook* (.xls) dan untuk melakukan perhitungan matematis.
- h. *Microsoft Word 2016* untuk menyusun laporan penelitian.

2. Perangkat Keras

Perangkat keras berupa alat-alat yang digunakan selama proses pengambilan data mikrotremor yang ditunjukkan oleh Gambar 16.

- a. Seismometer merek Taide tipe TDV-23S untuk mengukur getaran tanah pada setiap titik lokasi penelitian.
- b. *Digitizer* merek Taide tipe TDL-303S untuk merekam sinyal getaran tanah yang diperoleh dari seismometer.
- c. *Global Positioning System (GPS)* merek *Garmin* tipe 78S berfungsi sebagai pemandu arah dalam menemukan titik koordinat pengambilan data.

- d. Antena GPS yang terhubung dengan *Digital Portable Seismograph* berfungsi menerima data lokasi dan waktu pengambilan data dari satelit.
- e. Kompas untuk menentukan arah utara seismometer.
- f. Laptop untuk akuisisi data mikrotremor yang dihubungkan dengan *Digital Portable Seismograph* dan untuk analisis sinyal mikrotremor
- g. Kabel penghubung antara laptop, sensor, dan seismograf.
- h. Lembar *check list* survei mikrotremor.
- i. Peta geologi regional Yogyakarta, peta geologi regional Surakarta, peta wilayah penelitian yaitu Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno, dan peta administrasi Kabupaten Klaten sebagai bahan pembuatan desain survei dan bahan analisis lapisan sedimen dan lapisan *bedrock*.
- j. *Paving* untuk menempatkan seismometer agar berada di posisi datar dan rata.
- k. Cetok untuk meratakan tanah sebelum meletakkan seismometer.
- l. Kamera untuk dokumentasi.



Gambar 16. Peralatan pengukuran mikrotremor (a) Kompas (b) Kabel Penghubung dan Antena GPS (c) GPS (d) Seismograff (e) Laptop dan *Digitizer*

C. Teknik Pengambilan Data

Proses pengambilan data meliputi tahap survei dan tahap pengukuran.

1. Tahap survei

Tahap ini dimulai dengan pembuatan desain penelitian atau desain survei untuk menentukan titik-titik lokasi pengambilan data mikrotremor. Dengan menggunakan *software Google Earth* dapat ditentukan titik lokasi pengambilan data yang berada di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno. Penentuan titik ini dilakukan secara *grid* dengan interval antar titik sebesar 2 km. Hal ini bertujuan supaya data dapat mewakili secara keseluruhan tempat penelitian sehingga ditetapkan sebanyak 33 titik pengukuran mikrotremor yang ditampilkan oleh Gambar 17. Desain survei tersebut digunakan untuk mengetahui kondisi lokasi penelitian sebelum dilakukan survei lokasi.

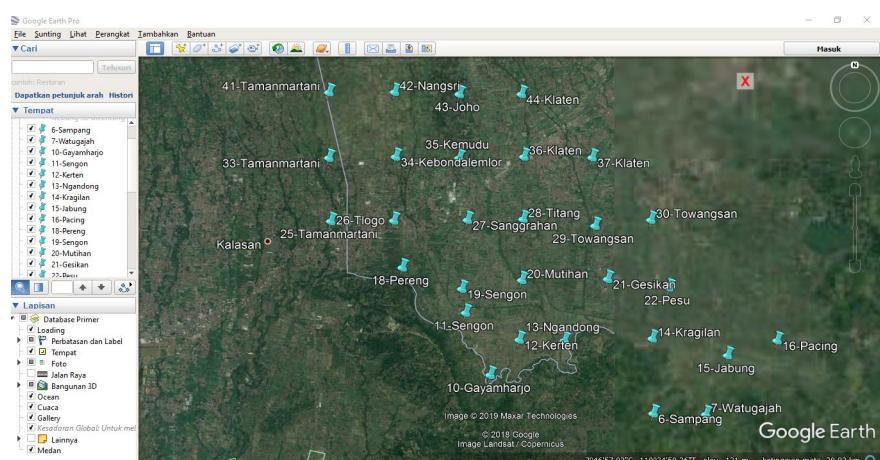


Gambar 17. Persebaran titik penelitian pada *Google Earth*

Survei lokasi penelitian merupakan salah satu hal utama dalam proses penelitian. Hal ini ditujukan untuk mengetahui secara langsung kondisi daerah penelitian terutama topografi wilayah pengambilan data sehingga dapat diketahui jalur medan yang akan dilalui dan pengambilan data dapat dilakukan secara

efisien. Hal kedua untuk survei lokasi adalah dengan mempertimbangkan persyaratan teknis pada Tabel 5. Beberapa persyaratan pengukuran serta teknis pemilihan lokasi dan teknik pengambilan data mikrotremor ditetapkan oleh SESAME (2004).

Berdasarkan hasil survei lokasi penelitian secara langsung, diambil keputusan untuk menetapkan 29 titik lokasi pengambilan data. Adapun 4 titik yang lain dihilangkan karena lokasi pengambilan data yang sangat tidak memungkinkan untuk dicapai. Untuk 29 titik lainnya setelah diplotkan kembali mengalami perubahan dengan adanya pergeseran lokasi beberapa meter dari desain survei sebelumnya. Hal ini dikarenakan titik lokasi sebelumnya (setelah dilakukan survei lokasi penelitian) berada pada titik yang kurang tepat, seperti berada di tengah sawah, kondisi tanah terlalu basah, dalam bangunan rumah warga, perbukitan yang sulit dijangkau, pinggir jalan raya dengan sumber getar *transient* yang sangat banyak atau di dekat sarana umum, maupun di lereng pegunungan. Dengan hasil survei yang diperoleh, desain survei untuk pengambilan data berubah seperti Gambar 18.



Gambar 18. Persebaran titik pengukuran mikrotremor di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno

2. Tahap Pengukuran

Pengukuran dilakukan dengan mengukur sinyal mikrotremor menggunakan frekuensi *sampling* sebesar 100 Hz selama \pm 30 menit di setiap titik lokasi penelitian. Teknik pengambilan data ini didasarkan pada acuan yang disarankan oleh *SESAME* (2004) yang ditunjukkan Tabel 5. Hasil pengukuran sinyal mikrotremor berupa data rekam getaran tanah dalam fungsi waktu yang tersimpan otomatis dalam *Digital Portable Seismograph*. Data rekam tersebut tersimpan dalam tiga komponen gelombang, yaitu gelombang seismik *horizontal north-south* (utara-selatan), *horizontal east-west* (timur-barat), dan gelombang seismik vertikal (*up-down*). Data tersebut secara langsung ditampilkan pada laptop yang tersambung dengan *datalogger (digitizer)* menggunakan *software Monost*.

Pengukuran sinyal mikrotremor di setiap titik lokasi berdurasi antara 30 – 45 menit. Namun ada beberapa titik lokasi yang memiliki durasi pengukuran selama 60 menit bahkan lebih. Hal tersebut dikarenakan titik lokasi pengambilan data sangat dekat dengan jalan raya atau berada pada situasi yang sangat ramai sehingga menimbulkan *noise* yang cukup banyak. Pada sinyal mikrotremor yang terekam selanjutnya dilakukan proses analisis *windowing (picking)*. Berdasarkan syarat teknis yang ditunjukkan oleh *SESAME* (2004), minimal terdapat 10 *window* yang disarankan saat proses *windowing* (pemilihan sinyal tanpa *noise*), oleh karena itu untuk mendapatkan data berupa sinyal mikrotremor yang baik, pada saat pengambilan data di situasi yang ramai dan menimbulkan banyak *noise* maka memperpanjang durasi pengambilan data adalah pilihan yang disarankan.

Tabel 5. Syarat teknis survei mikrotremor di lokasi penelitian (SESAME, 2004).

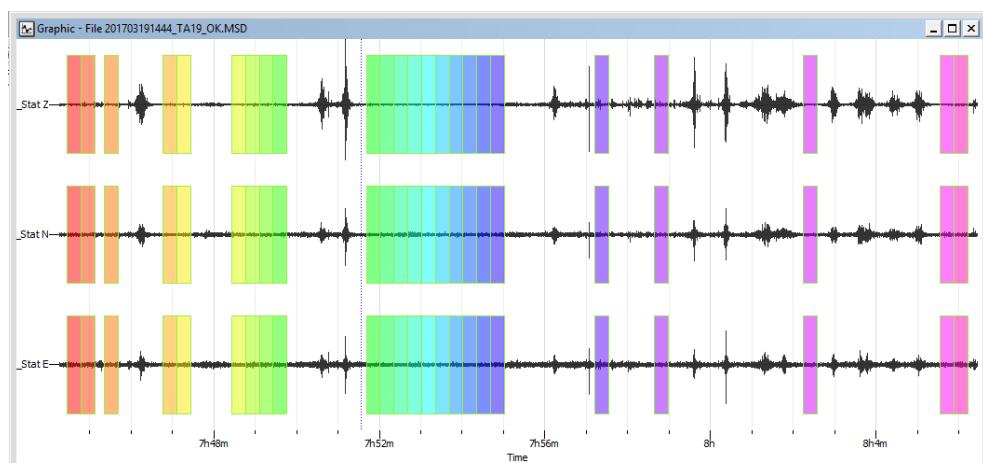
Jenis Parameter	Saran yang Dianjurkan	
Durasi pencatatan	f_0 minimum yang diharapkan (Hz)	Durasi pencatatan minimum yang disarankan (menit)
	0,2	30
	0,5	20
	1	10
	2	5
	5	3
	10	2
<i>Coupling soil-sensor</i> alami (insitu)	<ol style="list-style-type: none"> Tempatkan sensor langsung pada permukaan tanah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

D. Teknik Analisis Data

Langkah kerja analisis data penelitian ini adalah:

1. Pengolahan Data Mikrotremor

Dalam pengolahan data mikrotremor, yang pertama dilakukan adalah *windowing* atau *picking* pada rekaman mikrotremor dengan membagi sinyal seismogram menjadi beberapa jendela (*window*) yang berupa kotak berwarna. Hal ini dilakukan untuk menapis sinyal dari *noise* (gangguan) berupa aktivitas manusia, lalu lintas, kegiatan industri, maupun fenomena alam (aliran air sungai, angin, dan lain-lain). Satu warna mewakili satu *window* dengan lebar kotak dalam satuan detik. Pada penelitian ini digunakan lebar kotak 20 detik dengan pemilihan *window* secara manual dan berdasarkan panduan dari SESAME *European Research Project* (2004). Hasil *windowing* ditunjukkan pada Gambar 19.



Gambar 19. *Windowing* sinyal mikrotremor

Satu *window* membentuk satu kurva HVSR, sehingga jumlah kurva HVSR yang terbentuk adalah sejumlah *window* yang ada dalam satu rekaman mikrotremor. Jumlah *window* yang didapat dari hasil *picking* sesuai dengan sinyal mikrotremor yang terekam. Semakin bagus sinyal yang terekam, ditandai dengan

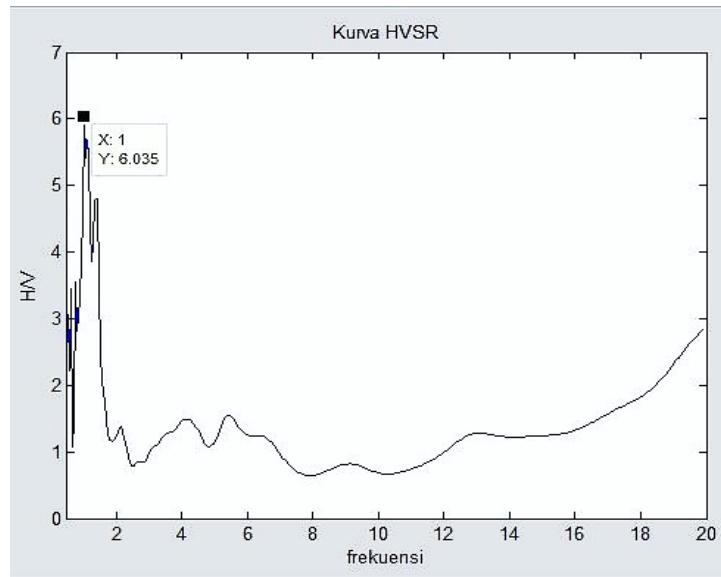
jumlah *noise* yang sedikit, maka jumlah *window* yang terbentuk akan semakin banyak. Kurva HVSR yang terbentuk dari hasil *windowing* ditampilkan dari semua *window* sesuai dengan warna *window* dalam setiap kotaknya dan membentuk kurva dengan spektrum warna sesuai dengan warna *window*. Kurva HVSR hasil pengukuran mikrotremor ditunjukkan oleh Gambar 9.

2. Analisis *Fast Fourier Transform* (FFT)

Sinyal yang telah dipilih dalam proses *windowing* diubah ke dalam format .xls dengan menggunakan *Command Prompt* dan dilakukan pengolahan yang sama untuk semua titik pengukuran. Data yang telah disimpan dalam bentuk .xls diolah dengan menggunakan *software MATLAB R2008a* dan dianalisis menggunakan algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT). Selanjutnya hasil dari FFT dilakukan proses *smoothing* dengan metode *Konno-Ohmachi* untuk memperjelas spektrumnya. Data hasil *smoothing* kemudian dianalisis menggunakan metode HVSR sehingga dihasilkan kurva H/V yang memberikan informasi *x* adalah nilai frekuensi predominan (f_0) dan *y* adalah nilai faktor amplifikasi (Ag) yang ditunjukkan oleh Gambar 20. Kurva H/V harus memenuhi kriteria *reliable* yang mengacu pada standar yang ditetapkan oleh *SESAME* (2004).

3. Pembuatan Tabel Data Hasil Penelitian

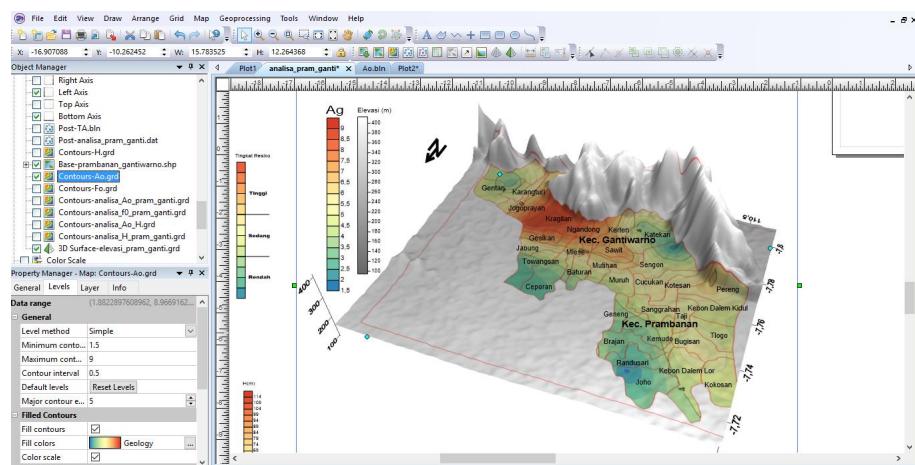
Tabel data hasil analisis dibuat pada *Microsoft Excel* yang terdiri dari kolom TA (Titik Amat), Koordinat-X (*Longitude*), Koordinat-Y (*Latitude*), Vs_{30} (kecepatan gelombang geser), f_0 (nilai frekuensi predominan), Ag (nilai faktor amplifikasi), dan h (ketebalan sedimen).



Gambar 20. Kurva H/V hasil MATLAB

4. Analisis Mikrozonasi

Persebaran nilai amplifikasi dan nilai frekuensi predominan dianalisis dengan melakukan mikrozonasi pada daerah penelitian menggunakan *software Surfer 12* seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 21.

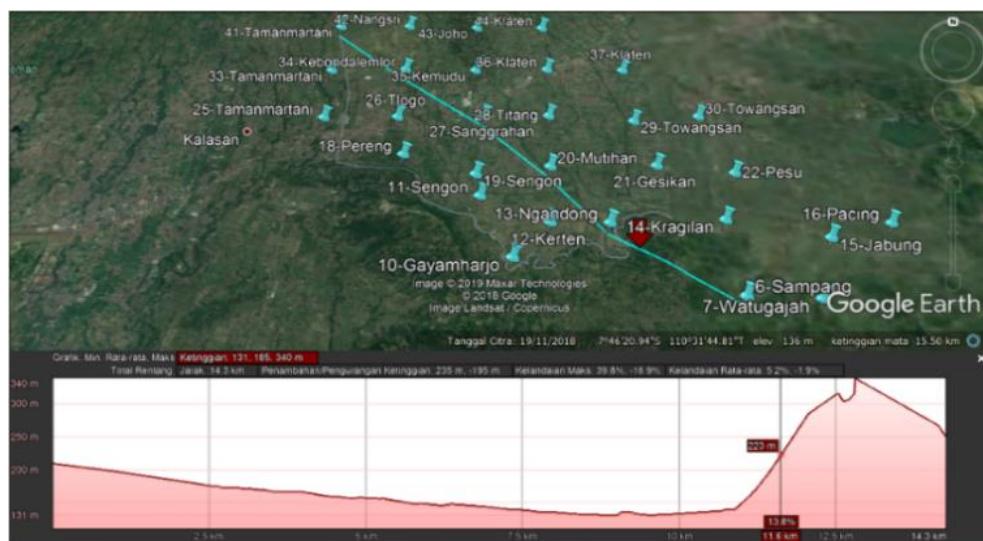


Gambar 21. Peta mikrozonasi

5. Analisis Penampang Seismik Kurva H/V

Penampang seismik kurva H/V dianalisis dengan mengkorelasikan antara topografi daerah penelitian dengan grafik kedalaman lapisan sedimen yang dibuat

lintasan atau jalur potong melalui wilayah penelitian. Topografi ketinggian didapatkan dari *software Google Earth* sedangkan grafik kedalaman sedimen dibuat menggunakan *Microsoft Excel*. Kedua parameter ini kemudian digabung seperti yang ditunjukkan pada Gambar 22 dan dianalisis sesuai dengan informasi pada peta geologi wilayah penelitian.



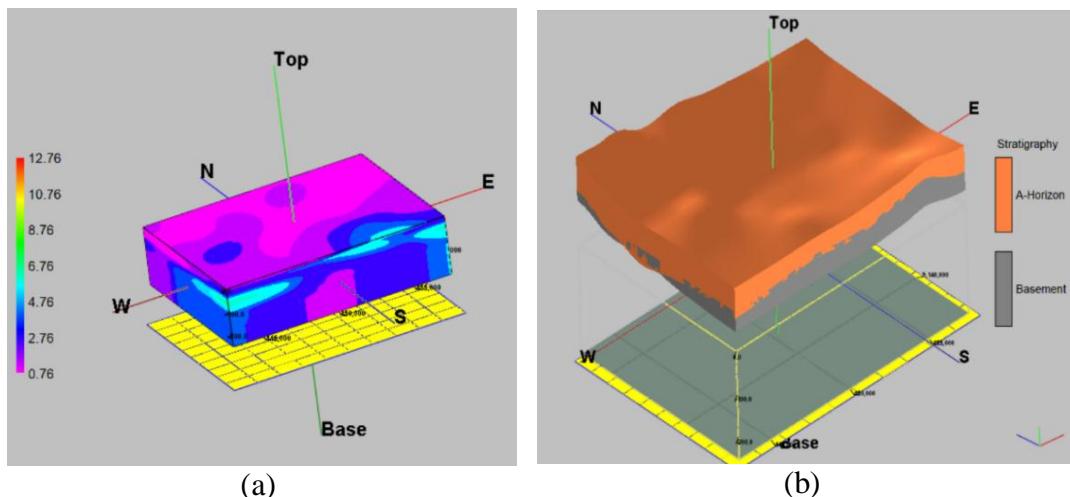
Gambar 22. Penampang seismik kurva H/V

6. Pemodelan 3-Dimensi

Model 3 dimensi nilai amplifikasi (A_g) dibuat berdasarkan acuan pada Tabel 2 menggunakan *software Rockwork 15*. Pemodelan ini bertujuan untuk mengetahui persebaran nilai amplifikasi di daerah penelitian yang mempunyai potensi tingkat kerusakan dari rendah hingga tinggi akibat goncangan gempa bumi seperti ditunjukkan pada Gambar 23(a).

Pembuatan model 3 dimensi lapisan sedimen dan lapisan *bedrock* bawah permukaan menggunakan *software Rockwork 15*. Data *input* yang digunakan adalah nilai V_s (lapisan sedimen memiliki nilai $V_s < 750$ m/s dan lapisan *bedrock* memiliki nilai $V_s > 750$ m/s) serta data kedalaman hasil dari *ground profiles* V_s

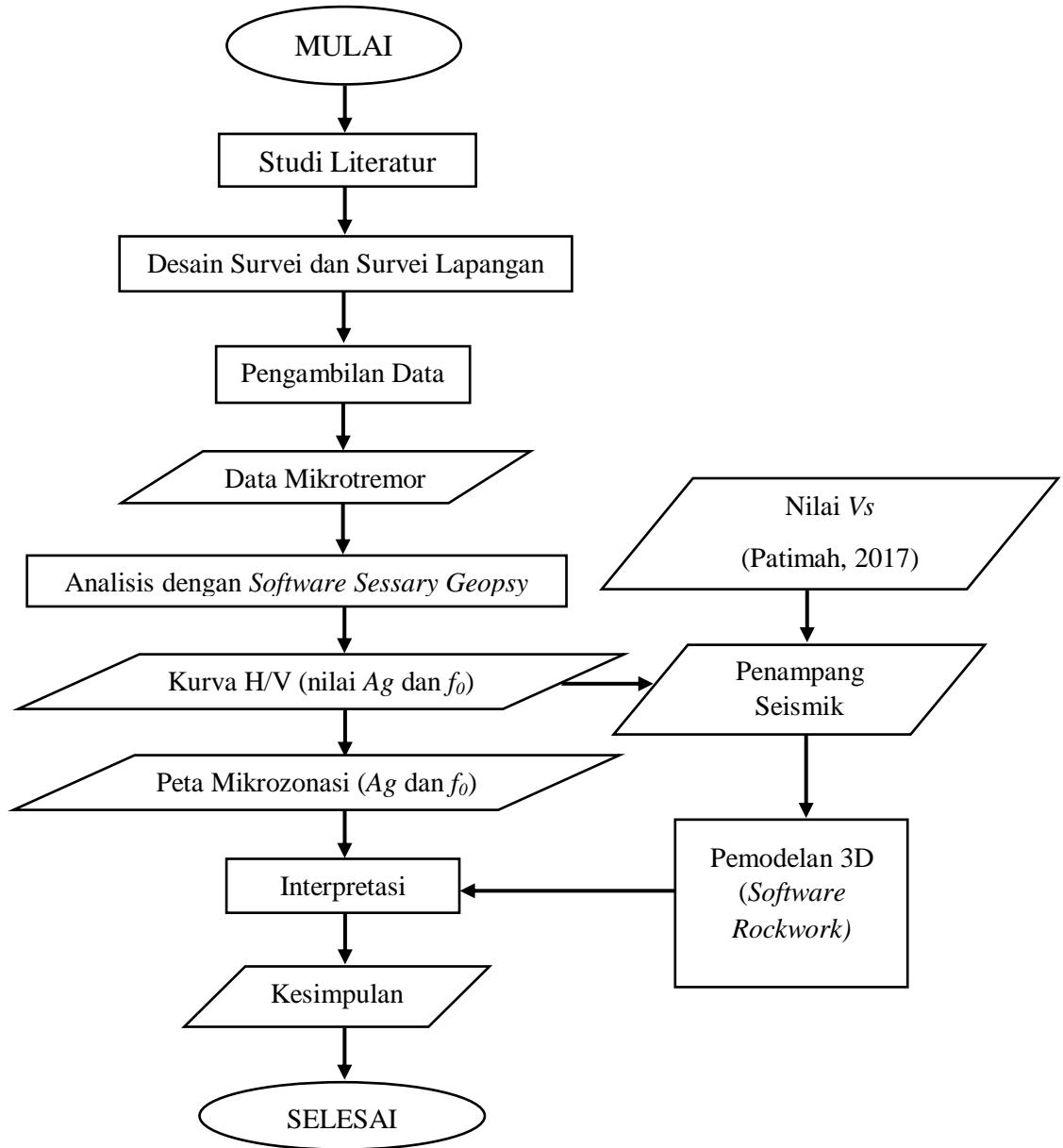
menggunakan metode *ellipticity curve* yang mengacu pada hasil penelitian dari Patimah (2017). Model yang diperoleh akan mempermudah dalam visualisasi lapisan sedimen dan lapisan *bedrock* bawah permukaan pada titik penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 23(b).



Gambar 23. (a) Pemodelan 3D persebaran nilai Ag (b) Pemodelan 3D lapisan sedimen dan lapisan *bedrock*

E. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 24.



Gambar 24. Diagram Alir Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

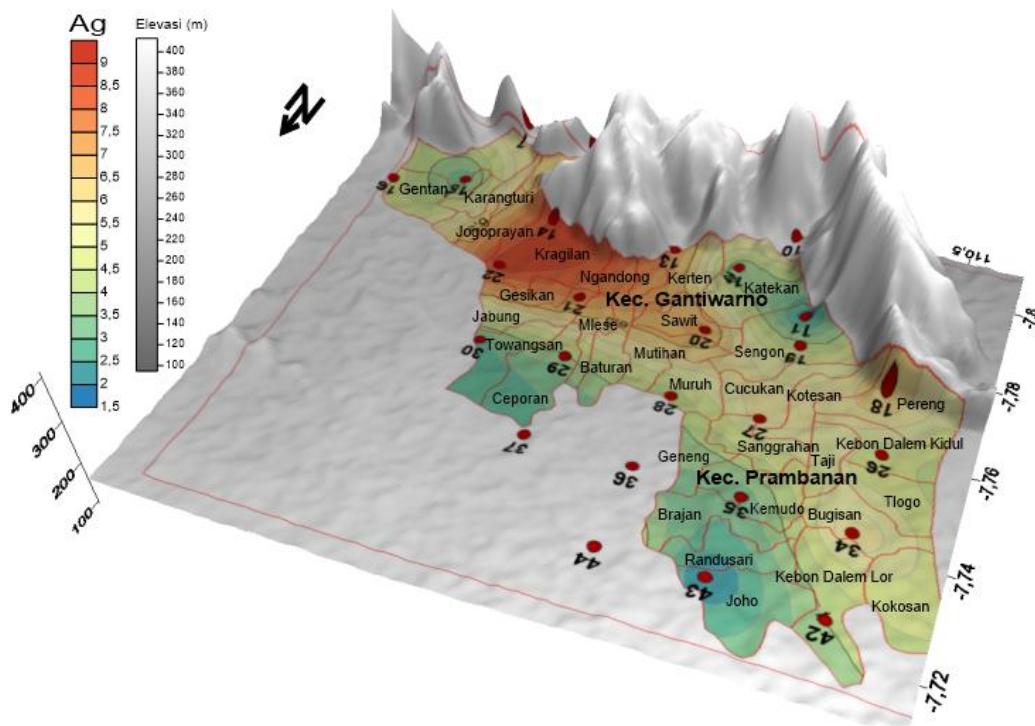
Identifikasi lapisan sedimen dan lapisan *bedrock* di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno Kabupaten Klaten menggunakan parameter frekuensi predominan (f_0), faktor amplifikasi tanah (Ag), dan ketebalan sedimen (h). Parameter tersebut diperoleh dari pengolahan data pengukuran mikrotremor dan digunakan untuk menganalisis karakteristik geologi daerah penelitian terhadap potensi bencana alam gempa bumi. Hasil pengolahan data mikrotremor tersebut divisualisasikan dalam bentuk mikrozonasi, model penampang seismik, dan *solid model* 3 dimensi.

A. Mikrozonasi Nilai Faktor Amplifikasi Tanah (Ag)

Kerusakan bangunan akibat gempa selain dipengaruhi oleh kekuatan gempa itu sendiri juga dipengaruhi oleh amplifikasi dari lapisan *bedrock* hingga permukaan tanah. Perambatan gelombang gempa bumi dari lapisan *bedrock* ke lapisan lunak permukaan (lapisan atas *bedrock*) menyebabkan terjadinya perubahan guncangan gempa bumi dalam bentuk perbesaran atau amplifikasi (Aisyah dkk, 2011). Faktor amplifikasi tanah (Ag) merupakan cerminan dari sifat fisik keras lunaknya sedimen yang diperoleh dari sumbu vertikal puncak kurva H/V (Arifudin, 2018). Secara teoritis jika nilai Ag semakin besar maka sedimen di daerah tersebut semakin lunak, dan sebaliknya jika nilai Ag semakin rendah maka semakin keras lapisan sedimennya. Berdasarkan hal ini juga dapat disimpulkan bahwa jika nilai Ag besar maka potensi kerusakan bangunan di daerah tersebut

juga semakin besar saat terkena guncangan gempa bumi. Dengan demikian, daerah yang rawan kerusakan bangunan akibat getaran gempa adalah daerah yang bawah permukaan tanahnya tersusun atas sedimen lunak (pasir, pasir lanauan, gambut). Pada kondisi geologi yang seperti ini terjadi perbedaan densitas antara lapisan sedimen dan *bedrock* yang besar.

Persebaran nilai Ag di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno ditunjukkan pada Gambar 25. Nilai faktor amplifikasi tanahnya berkisar antara 1,79 sampai dengan 9,01 yang selanjutnya diklasifikasikan berdasarkan Tabel 2.



Gambar 25. Peta Persebaran Faktor Amplifikasi Tanah (Ag)

Berdasarkan Tabel 2, persebaran nilai amplifikasi tanah di wilayah penelitian sebagian besar berada pada zona sedang dan zona tinggi. Zona 1 dengan klasifikasi nilai amplifikasi rendah ($Ag < 3$) meliputi Desa Joho, Desa Sengon, Desa Towangsari, Desa Ceporan, dan Desa Gentan. Daerah penelitian

yang termasuk dalam Zona 2 dengan amplifikasi tanah sedang ($3 \leq Ag < 6$) meliputi Desa Kemudo, Desa Katekan, Desa Geneng, Desa Tamanmartani, Desa Ceporan, Desa Kebondalem Lor, Desa Muruh, Desa Sengon, Desa Kebondalem Kidul, Desa Gentan, dan Desa Sanggrahan. Zona 3 daerah penelitian dengan klasifikasi nilai amplifikasi tinggi ($6 \leq Ag < 9$) meliputi Desa Jogonalan, Desa Bugisan, Desa Sampang, Desa Watugajah, Desa Pereng, Desa Gayamharjo, Desa Sawit, Desa Ngandong, Desa Gesikan, dan Desa Kragilan. Adapun Zona 4 yang memiliki nilai amplifikasi sangat tinggi ($Ag \geq 9$) berada di wilayah perbatasan antara Desa Kragilan dengan Desa Pesu, Kecamatan Wedi.

Nilai faktor amplifikasi di setiap titik penelitian berbeda-beda dikarenakan kondisi geologi dan topografi yang berpengaruh pada sebaran kerusakan yang ditimbulkan dari gempa bumi dan memengaruhi karakteristik perambatan gelombang pada tanah (Seed *et al.*, 1983). Pengontrol utama tingkat respon penguatan gelombang gempa bumi adalah kondisi batuan setempat terkait jenis batuan, berat jenis, dan ketebalan batuan. Nilai amplifikasi bisa bertambah jika batuan telah mengalami deformasi (pelapukan, pelipatan atau pesesaran) yang mengubah sifat fisik batuan, sehingga pada batuan yang sama, nilai amplifikasi dapat bervariasi sesuai dengan tingkat deformasi dan pelapukan pada susunan batuan tersebut (Marjiyono, 2010).

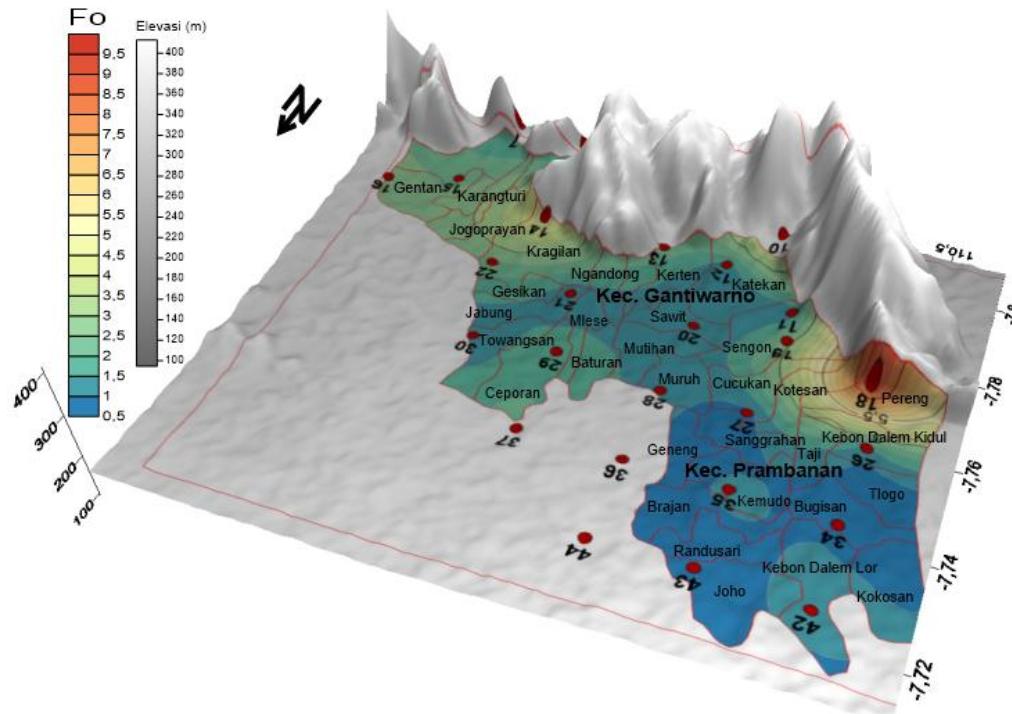
B. Mikrozonasi Nilai Frekuensi Predominan (f_0)

Frekuensi resonansi predominan (frekuensi predominan) merepresentasikan banyaknya gelombang yang terjadi dalam satuan waktu. Frekuensi predominan adalah frekuensi di nilai puncak kurva HVSR yang

memengaruhi besarnya kecepatan gelombang geser rata-rata (V_s) dan menunjukkan ketebalan sedimen bawah permukaan (h) (Herak, 2008). Keras atau lunaknya lapisan bawah permukaan berpengaruh terhadap kecepatan gelombang geser. Dengan demikian frekuensi predominan dipengaruhi oleh keras lunaknya lapisan tanah, berbanding terbalik dengan ketebalan sedimen dan berbanding lurus dengan kecepatan gelombang geser. Berdasarkan hasil pengolahan data mikrotremor diperoleh peta sebaran frekuensi predominan yang ditunjukkan pada Gambar 26. Nilai frekuensi predominan di wilayah penelitian memiliki kisaran 0,7 Hz – 9,5 Hz.

Daerah yang memiliki frekuensi rendah (indeks warna biru) tersebar hampir di seluruh daerah penelitian yaitu di 24 titik pengukuran dari 29 titik pengukuran secara keseluruhan. Berdasarkan acuan Tabel 1, daerah ini tergolong dalam klasifikasi tanah Tipe I Jenis IV dimana berdasarkan nilai frekuensinya kurang dari 2,5 Hz dengan ketebalan sedimen permukaan masuk dalam kategori sangat tebal yaitu lebih dari 30 meter. Daerah penelitian dengan frekuensi sedang yaitu bernilai 2,5 Hz – 4 Hz termasuk dalam klasifikasi tanah Tipe III Jenis III dan berada di Desa Sengon dan Desa Gentan. Daerah ini memiliki ketebalan sedimen permukaan yang masuk dalam kategori tebal yaitu sekitar 10 meter hingga 30 meter. Adapun daerah yang memiliki frekuensi tinggi (indeks warna merah) tergolong menjadi dua yaitu klasifikasi tanah Tipe IV Jenis II dengan nilai 4,0 Hz – 6,7 Hz meliputi Desa Kragilan dan Desa Gayamharjo, dan termasuk kategori menengah dengan ketebalan sedimen berkisar 5 meter hingga 10 meter, dan klasifikasi tanah Tipe IV Jenis I yang bernilai 6,7 Hz – 20 Hz di Desa Pereng

yang didominasi oleh batuan keras dengan ketebalan sedimen permukaannya sangat tipis (kurang dari 5 m).



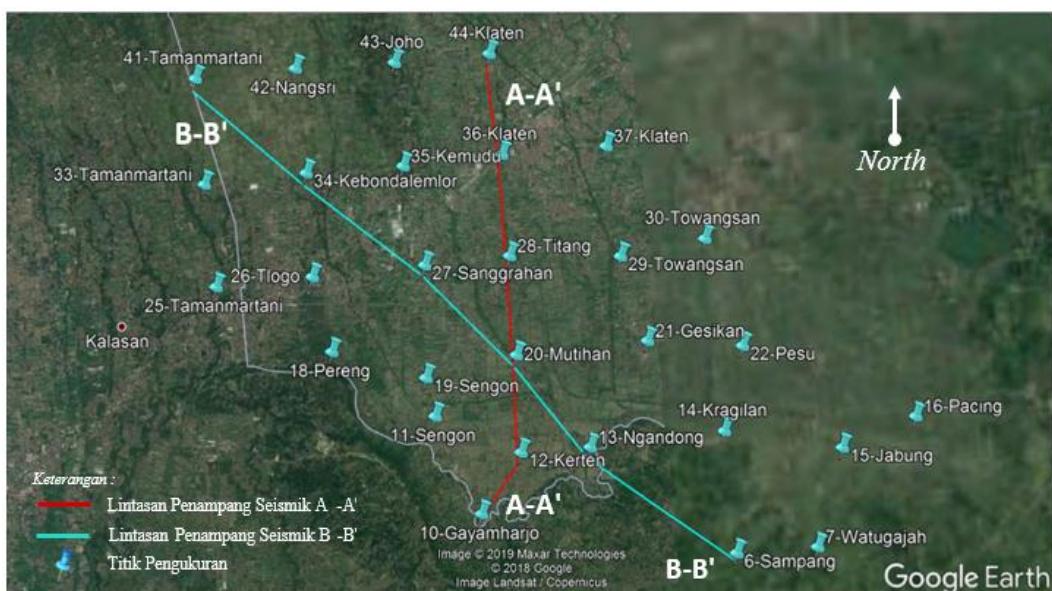
Gambar 26. Peta Persebaran Frekuensi Predominan (f_0)

Hal tersebut menunjukkan bahwa ketebalan sedimen berkaitan dengan frekuensi predominan. Semakin besar nilai frekuensi predominan maka ketebalan sedimen semakin tipis. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno didominasi oleh klasifikasi tanah Tipe I Jenis IV yang berarti bahwa ketebalan sedimen permukaan di daerah tersebut sangat tebal yaitu lebih dari 30 meter.

C. Penampang Seismik Kurva H/V

Kurva H/V merupakan kurva yang merepresentasikan kondisi geologi setempat berdasarkan respon dinamis getaran alami di permukaan dan bawah permukaan. Penampang seismik berdasarkan kurva H/V merupakan hubungan

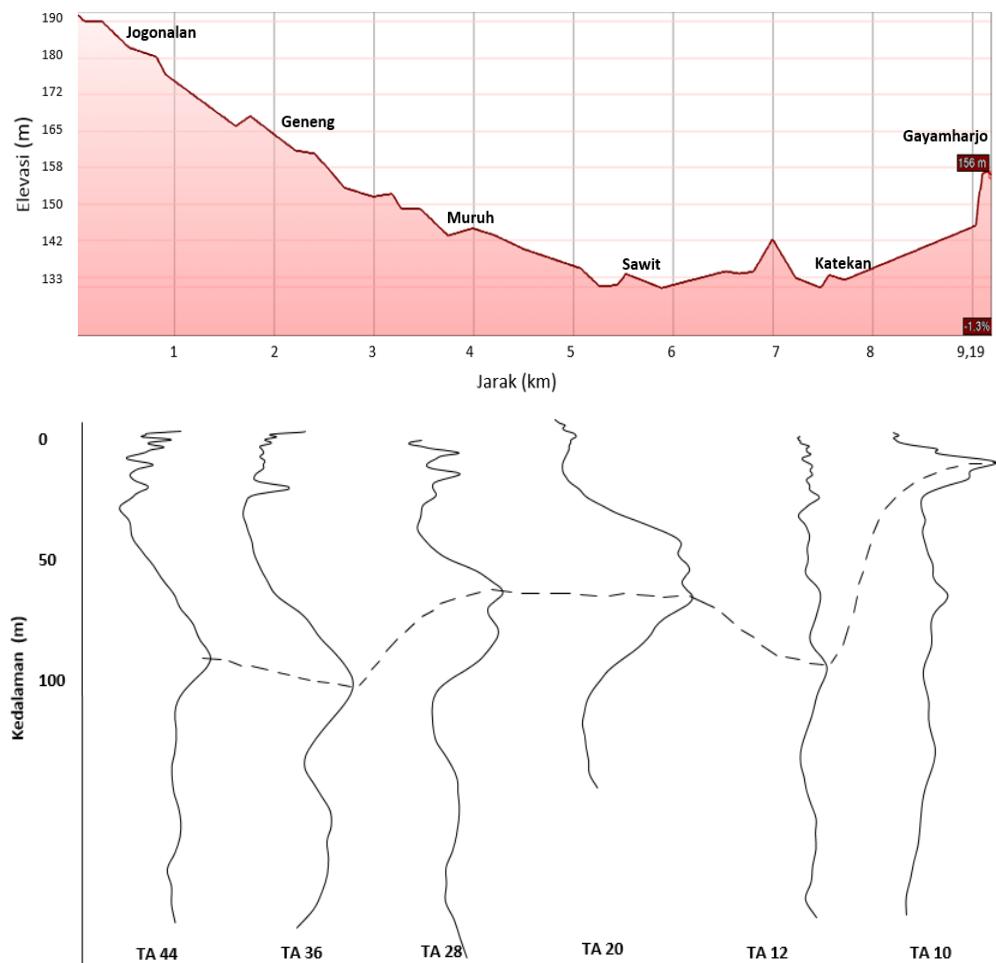
antara parameter ketebalan lapisan sedimen (h), periode predominan (T_0) dan kecepatan gelombang geser (V_s). Spektrum dalam domain periode diubah ke dalam domain kedalaman untuk merepresentasikan ketebalan lapisan sedimen dan faktor amplifikasi di titik pengukuran (Wibowo dkk, 2014). Model ini merepresentasikan kedalaman *bedrock* yang berkorelasi dengan ketebalan sedimen dan faktor amplifikasi pada setiap titik penelitian serta profil topografi yang digunakan untuk melihat ketebalan lapisan sedimen dari permukaan.



Gambar 27. Lintasan Penampang Seismik

Akuisisi data mikrotremor dilakukan pada 29 titik di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno Kabupaten Klaten. Titik pengukuran tersebut berada pada Formasi Aluvial, Formasi Semilir, dan Formasi Kebobutak. Gambar 27 menunjukkan distribusi titik pengukuran dan jalur penampang seismik di daerah penelitian. Identifikasi ketebalan lapisan sedimen dan *bedrock* dilakukan hingga kedalaman 100 meter berdasarkan 2 lintasan penampang seismik yang meliputi garis potong utara-selatan (A-A') yang membentang sepanjang garis

potong tepat di tengah daerah penelitian dan lintasan diagonal barat laut-tenggara (B-B') pada wilayah penelitian seperti pada Gambar 27. Setiap lintasan terdiri dari pola penampang seismik yang menunjukkan karakteristik geologi pada masing-masing titik. Pola penampang seismik yang memperlihatkan *peak* secara jelas dan tegas menunjukkan karakteristik geologi berupa lapisan sedimen tebal dan umumnya berada pada topografi dataran rendah. Begitu juga sebaliknya, pola penampang seismik yang tidak memperlihatkan *peak* secara jelas dan tegas atau bahkan *flat* menunjukkan karakteristik geologi berupa lapisan sedimen tipis dan berada pada topografi perbukitan.

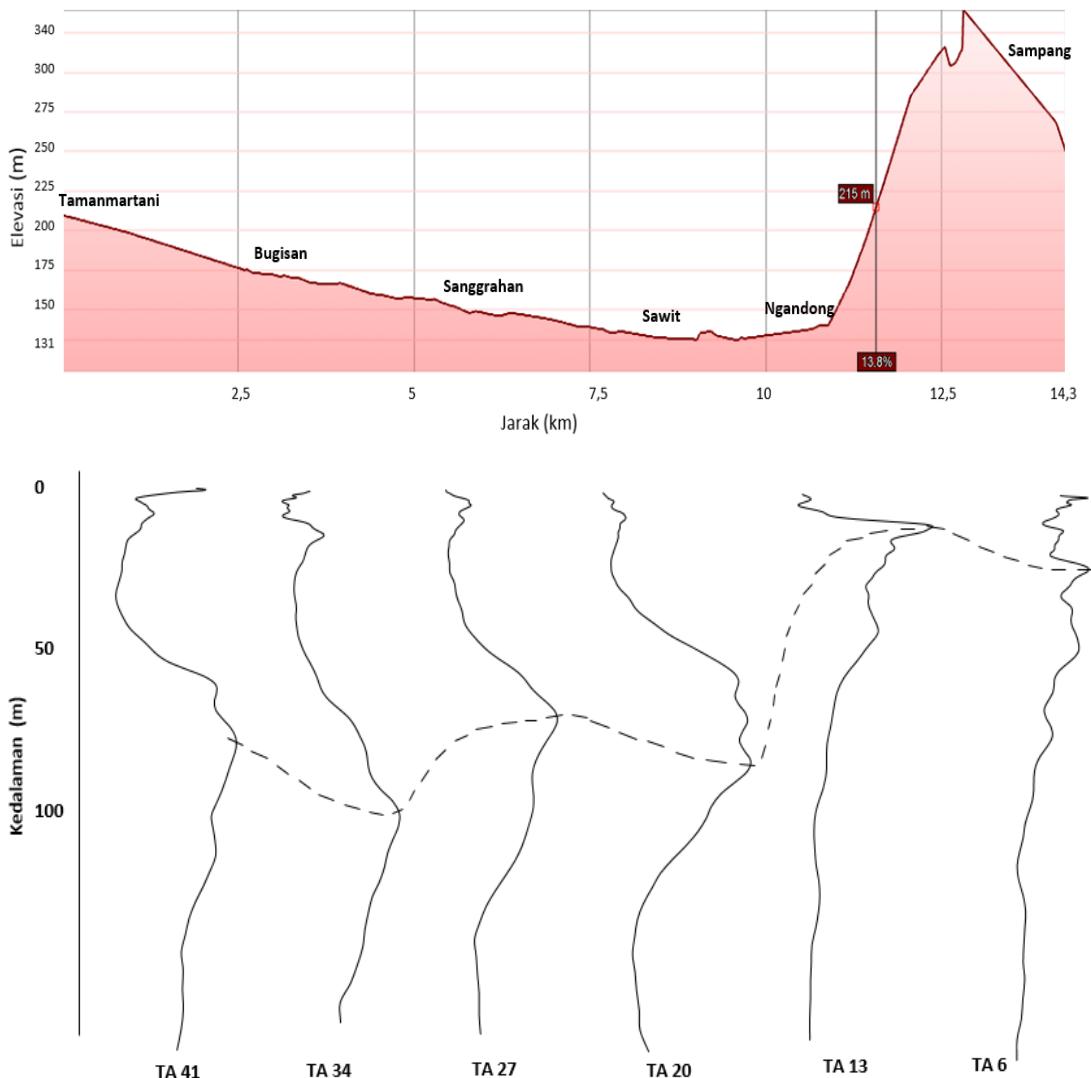


Gambar 28. Model penampang seismik lintasan A-A'

Berdasarkan penampang seismik kurva H/V, lintasan A-A' (Gambar 28) memiliki variasi ketebalan sedimen dari 29 meter hingga 104 meter. Titik 44 (Desa Jogonalan) hingga titik 12 (Desa Katekan) memiliki ketebalan sedimen yang relatif sama yaitu antara 87 meter hingga 104 meter. Hal ini menunjukkan bahwa daerah tersebut berupa dataran Aluvial dengan lapisan permukaan lunak yang tebal. Lapisan sedimen yang tebal ini dikarenakan proses sedimentasi abu vulkanik Gunung Merapi (Formasi Merapi Muda). Tebalnya lapisan sedimen berpotensi menjadikan daerah tersebut rawan terhadap efek amplifikasi saat gempa bumi terjadi. Sementara itu untuk sisi selatan pada titik ukur 10 (Desa Gayamharjo) variasi ketebalan sedimen mengalami penurunan secara signifikan hingga 29 meter. Kondisi ini menunjukkan bahwa daerah tersebut berupa dataran tinggi yang berkorelasi dengan daerah Perbukitan Jiwo yang berada pada Formasi Kebobutak. Daerah ini tersusun atas lapisan batuan keras (lapisan *bedrock*) sehingga ketebalan lapisan sedimennya tipis.

Pada Gambar 29, lintasan B-B' memiliki variasi ketebalan sedimen dari 28 meter hingga 100 meter. Titik ukur 41 (Desa Tamanmartani) hingga titik ukur 20 (Desa Sawit) menunjukkan variasi ketebalan sedimen dalam rentang nilai 56 meter hingga 100 meter. Hal ini sesuai dengan profil topografinya yaitu berada pada Formasi Merapi Muda. Formasi ini tersusun atas endapan abu vulkanik Gunung Merapi yang ketebalan sedimennya tergolong tebal. Selanjutnya titik ukur 13 (Desa Ngandong) dan titik ukur 6 (Desa Sampang) menunjukkan penurunan ketebalan sedimen secara signifikan yaitu 28 meter – 44 meter. Hal ini ditandai dengan puncak penampang seismik kurva H/V yang kurang tegas karena

berada di kawasan perbukitan. Hal ini juga sesuai dengan profil topografinya yaitu berada di Formasi Kebobutak.



Gambar 29. Model penampang seismik lintasan B-B'

Berdasarkan model lintasan penampang seismik pada Gambar 28 dan Gambar 29, topografi daerah penelitian sisi utara memasuki kawasan lereng Gunung Merapi yang tersusun oleh sedimentasi abu vulkanik yang tebal dan sisi selatan berupa kawasan batuan tinggi yang dikenal dengan Perbukitan Jiwo. Hal ini menunjukkan bahwa daerah tersebut memiliki resiko kerusakan tinggi

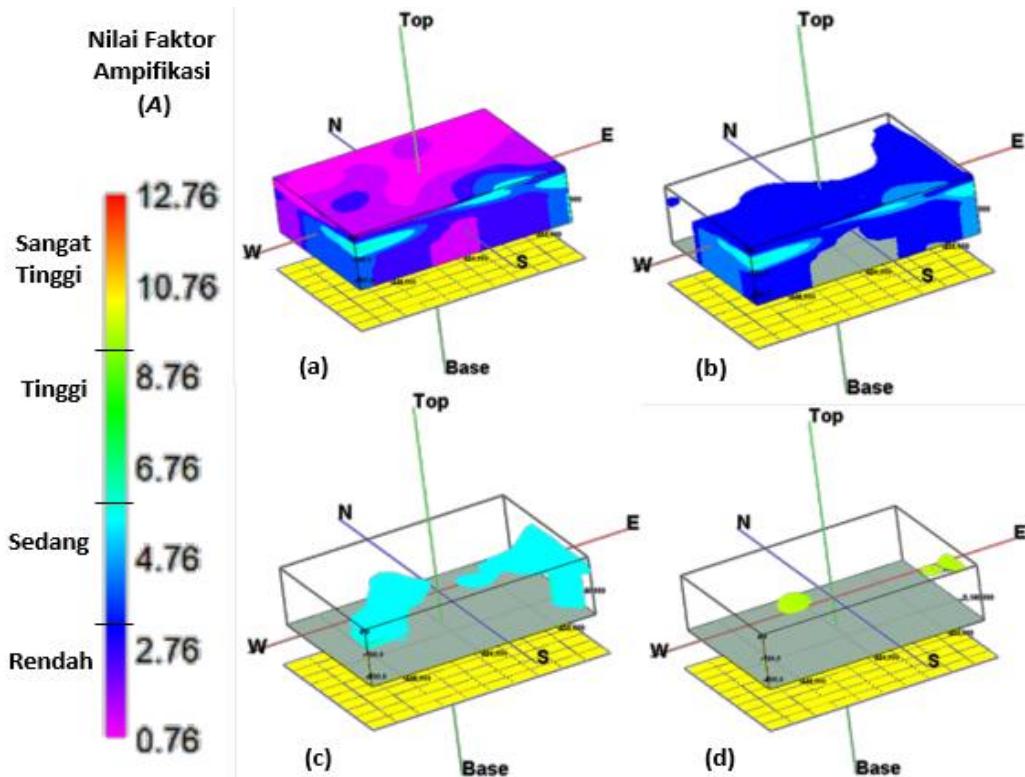
terhadap bahaya gempa bumi karena berada di dataran Aluvial (Formasi Merapi Muda) yang tersusun oleh material sedimen lunak tebal dengan nilai V_s relatif rendah, sehingga sangat memungkinkan mengalami penguatan gelombang gempa bumi yang relatif tinggi.

D. Model 3D Amplifikasi

Model 3D penampang seismik kurva H/V dari setiap titik pengukuran dapat memberikan informasi sebaran lapisan bawah permukaan dan faktor amplifikasi di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno seperti pada Gambar 30 dan Gambar 31. Model 3D amplifikasi merupakan model 3-dimensi yang merepresentasikan parameter faktor amplifikasi dan ketebalan sedimen berdasarkan hasil pengukuran pada setiap titik di kawasan penelitian. Faktor amplifikasi merupakan faktor yang berkaitan dengan penguatan gelombang. Artinya daerah yang memiliki nilai amplifikasi tinggi dimungkinkan akan terjadi penguatan gelombang yang lebih besar daripada daerah dengan amplifikasi rendah. Hal tersebut memengaruhi tingkat resiko kerusakan bangunan terhadap potensi goncangan gempa bumi. Model 3D persebaran nilai faktor amplifikasi ditampilkan oleh Gambar 30 yang diklasifikasikan berdasarkan Tabel 2.

Gambar 30(a) menunjukkan model 3D persebaran nilai Ag di seluruh daerah penelitian. Gambar 30(b) menunjukkan persebaran nilai Ag lebih dari 3 yang memiliki tingkat resiko kerusakan sedang hingga tinggi yang tersebar hampir di seluruh daerah penelitian kecuali daerah sisi utara dan sebagian sisi selatan. Gambar 30(c) merupakan persebaran nilai Ag lebih dari 6 dengan tingkat

resiko kerusakan tinggi, sedangkan Gambar 30(d) menunjukkan persebaran nilai Ag lebih dari 9 dengan tingkat resiko kerusakan sangat tinggi.



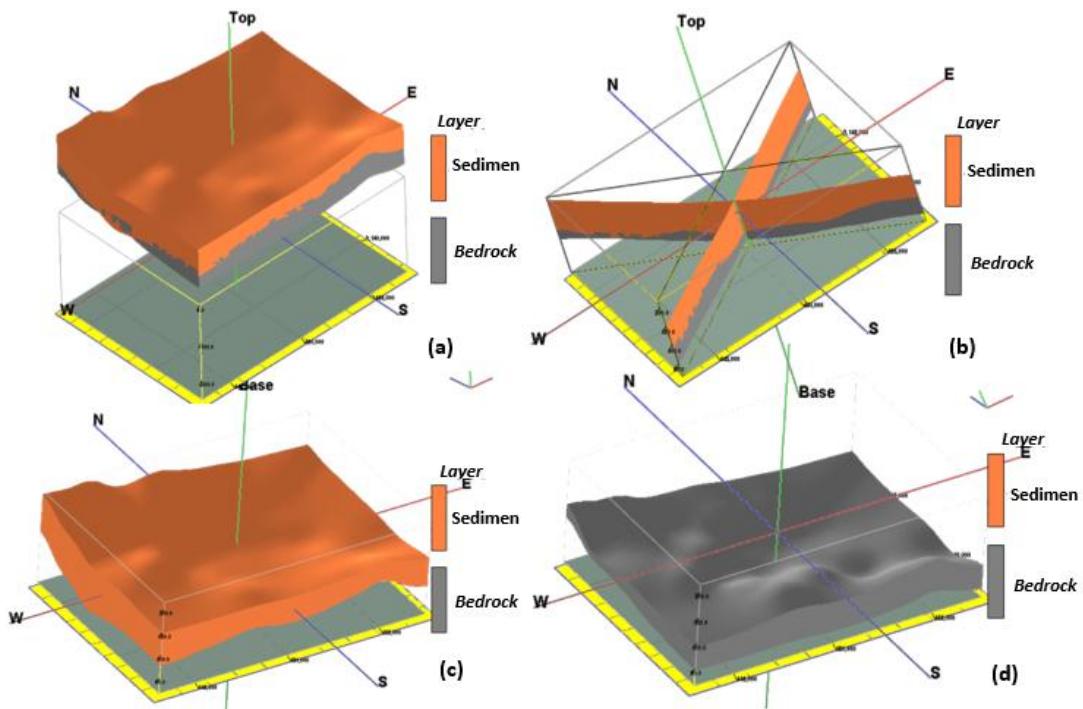
Gambar 30. Model 3D persebaran nilai amplifikasi di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno (a) Model 3D nilai Ag penuh (b) Model 3D nilai Ag ≥ 3 (c) Model 3D nilai Ag ≥ 6 (d) Model 3D nilai Ag ≥ 9

Pemodelan faktor amplifikasi terhadap kedalaman yang ditunjukkan oleh Gambar 30 diperlukan untuk mengidentifikasi daerah rawan kerusakan akibat gempa bumi berdasarkan karakteristik geologi antara lapisan sedimen dan lapisan *bedrock*. Hal ini juga sesuai dengan model 3D lapisan sedimen dan *bedrock* yang ditunjukkan pada Gambar 31, sehingga memberikan informasi bahwa daerah penelitian dari bagian timur hingga barat memiliki nilai faktor amplifikasi tinggi sehingga berpotensi mengalami amplifikasi yang cukup tinggi jika terjadi gempa bumi di wilayah Klaten, khususnya sekitar Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno.

E. Model 3D Lapisan Sedimen-*Bedrock*

Model 3D lapisan sedimen-*bedrock* merupakan model 3-dimensi yang merepresentasikan ketebalan lapisan sedimen dan lapisan *bedrock* berdasarkan hasil pengukuran setiap titik di daerah penelitian. Model 3D ini dapat menjadi salah satu acuan untuk mengidentifikasi area dengan tingkat resiko gempa bumi, karena gelombang gempa bumi yang merambat di bawah tanah akan teramplifikasi apabila melewati ketebalan lapisan sedimen yang cukup tebal. Pada penelitian ini dimodelkan dua lapisan permukaan yaitu lapisan lunak (lapisan sedimen) dan lapisan batuan keras (lapisan *bedrock*) sebagai lapisan kedua yang berada di bawah lapisan lunak tersebut seperti yang ditunjukkan pada Gambar 31.

Berdasarkan pengaruh terhadap goncangan gempa bumi dapat diestimasi bahwa ketika kedalaman lapisan sedimen memiliki nilai yang besar akan berkorelasi dengan frekuensi predominan yang rendah, dan amplifikasi yang besar. Gelombang gempa akan terjebak dalam lapisan sedimen yang tebal sehingga akan mengalami perlambatan gelombang. Keadaan tersebut akan menyebabkan amplifikasi yang tinggi sehingga daerah yang memiliki ketebalan sedimen yang tebal akan rawan terhadap goncangan gempa bumi. Sesuai dengan peta zonasi amplifikasi yang tergolong tinggi dan peta zonasi frekuensi predominan yang tergolong rendah maka Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno Kabupaten Klaten memiliki nilai ketebalan sedimen yang tinggi. Pernyataan tersebut menjadikan daerah penelitian termasuk daerah yang rawan terhadap resiko kerusakan yang tinggi akibat goncangan gempa bumi.



Gambar 31. (a) Model 3D lapisan sedimen-*bedrock* (b) Model sayatan lapisan sedimen-*bedrock* (c) Model 3D lapisan sedimen (d) Model 3D lapisan *bedrock*.

Ketebalan sedimen akan memengaruhi respon bangunan yang ada di atas permukaan apabila terjadi gempa bumi karena magnitudo gempa akan teramplifikasi. Gambar 31(a) menunjukkan model 3D distribusi ketebalan lapisan sedimen dan lapisan *bedrock* di kawasan penelitian yang diperjelas melalui sayatan (*cross-X*) pada Gambar 31(b). Hasil sayatan tersebut dapat menjelaskan bahwa mayoritas kawasan penelitian didominasi oleh lapisan sedimen yang cukup tebal.

Secara umum untuk Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno, ketebalan sedimen paling tebal ada di sisi utara (lebih dari 60 meter) yang ditunjukkan oleh Gambar 31(c) dan ditandai dengan dinding lapisan sisi utara yang lebih tebal dibandingkan dengan dinding lapisan sisi selatan. Kemudian di

tengah kawasan penelitian, yaitu perbatasan antara Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno masih tergolong tebal (antara 30 meter hingga 60 meter). Hal ini dikarenakan kawasan tersebut berada pada hamparan endapan aluvial vulkanik Merapi. Sedangkan di wilayah selatan ketebalan sedimen menurun hingga 10 meter dan sisi tenggara Kecamatan Gantiwarno didominasi oleh batuan keras (*bedrock*) dengan ketebalan sedimen tipis (kurang dari 10 meter). Kondisi ini dicerminkan oleh dinding lapisan bagian selatan yang lebih tebal dibandingkan bagian utara seperti pada Gambar 31(d). Hal ini menandakan lapisan *bedrock* lebih tebal dikarenakan berada pada kawasan perbukitan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Distribusi nilai frekuensi predominan di daerah penelitian memiliki kisaran 0,7 Hz – 9,5 Hz dengan nilai frekuensi rendah (< 2,5 Hz) dan tersebar hampir di seluruh daerah penelitian, sedangkan nilai amplifikasi tanahnya berkisar antara 1,79 – 9,01 dengan distribusi nilai amplifikasi sebagian besar berada pada zona sedang dan zona tinggi.
2. Sebagian besar daerah penelitian berupa dataran Aluvial dengan lapisan permukaan lunak yang tebal yang sesuai dengan profil geologinya yaitu berada pada Formasi Merapi Muda sedangkan bagian selatan daerah penelitian berupa dataran tinggi yang berkorelasi dengan daerah perbukitan yang material penyusun lapisannya berupa batuan keras yang sesuai dengan profil geologinya yaitu berada di Formasi Kebobotak.
3. Berdasarkan persebaran nilai amplifikasi, ketebalan sedimen di sisi utara sampai tengah daerah penelitian tergolong sangat tebal karena tersusun oleh endapan abu vulkanik Gunung Merapi sedangkan sisi selatan daerah penelitian ketebalan sedimennya tipis karena didominasi oleh susunan batuan keras.

B. SARAN

Pada penelitian selanjutnya diharapkan untuk menambah titik pengukuran dengan interval jarak lebih dekat dan juga memperluas daerah penelitian agar hasil pengukuran yang didapatkan lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Aisyah, V., Suharna, dan Agus, S. 2011. *Ground Amplification Mapping Using HVSR Method (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) in Patuk, Gunungkidul, Yogyakarta, Indonesia*. Proceedings: JCM Makassar 2011, The 36th HAGI and 40th IAGI Annual Convention and Exhibition.
- Aki, K., dan Richards, P.G. 2002. *Quantitative Seismology (second edition)*. University Science Sausalito, CA: University Science Books.
- Ambarsari, D. 2017. *Analisis Mikrotremor dengan Metode HVSR untuk Mikrozonasi Kabupaten Gunungkidul Yogyakarta*. Tugas akhir. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Arai, H., dan Tokimatsu, K. 2004. *S-Wave Velocity Profiling by Joint Inversion of Microtremor H/V Spectrum*. Bulletin of the Seismological Society of America 94(1). 54-63.
- Arifin, S. S., Mulyanto, B.S., Marjiyono & Setyanegara, R. 2014. *Penentuan Zona Rawan Bencana Gempabumi Berdasarkan Analisis Nilai Amplifikasi HVSR Mikrotremor dan Analisis Periode Dominan Daerah Liwa dan sekitarnya*. Jurnal Geofisika Eksplorasi 2(1), 30-40. Universitas Lampung.
- Arifudin, A. M. 2018. *Karakteristik Situs dan Kerentanan Seismik di Kabupaten Klaten dengan Metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR) darsi Data Mikrotremor*. Tesis. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.
- Badan Standarisasi Nasional. 2010. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa dan Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta
- BAPPEDA. 2006. *Data Bencana Kabupaten Klaten 2009-2013*. Klaten.
- BAPPENAS. 2006. *Preliminary Damage and Loss Assesment, Yogyakarta and Central Java Natural Disaster*. Jakarta: The Consultatif Group Indonesia.
- Bard, P.Y. 1998. *Microtremor Measurements: a tool for site effect estimation, in the effect of surface geology on seismic motion*, Irikura, Kudo, Okada & Sasatani (eds), Balkema, 1251 – 1279.
- BMKG (Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika). 2015. *Pengertian Gempa Bumi*. Diakses dari <http://balai3.denpasar.bmkg.go.id/tentang-gempa> pada tanggal 7 Agustus 2019 pukul 10.38 WIB.
- BMKG (Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika). 2016. *Data Gempa Bumi Dirasakan di DIY dan Sekitarnya*. Yogyakarta.
- Bullen dan Bolt. 1985. *An Introduction to The Theory of Seismology* (4th Edition, 509 pp). Cambridge University Press.
- Daryono, Sutikno, Prayitni, & Setio, B. 2009. *Local Site Effect of Graben Bantul Using Microtremor Measurement*, Proceedings of International

- Conference Earth Science and Technology.* Yogyakarta: Department of Geological Engineering, Gajah Mada University.
- Gadallah, R.M dan Fisher, R. 2009. *Exploration Geophysics*. Springer. Berlin.
- Gazali, I. 2017. *Estimasi Kecepatan Gelombang Geser (Vs) Berdasarkan Inversi Mikrotremor Spectrum Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSР) Studi Kasus: Tanah Longsor Desa Olak-Alen, Blitar*. Tugas akhir. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Hartati, L. 2014. *Pemetaan Tingkat Resiko Gempa Bumi Daerah Liwa dan Sekitarnya Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor*. Tesis. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada
- Havskov, J. 2002. *New Manual of Seismological Observatory Practice-NMSOP*. Diakses dari <ftp://ftp.ingv.it/pub/elisabetta.danastasio/grot/manual-seismological-observatory-2002.pdf> pada tanggal 1 Agustus 2019 pukul 13.15 WIB.
- Herak, M. 2008. *Model HVSР: a Matlab Tool to Model Horizontal to Vertical Spectral Ratio of Ambient Noise*. Journal Computers and Geosciences Vol.34, hal. 1514-1526.
- Husein, S., Pramumijoyo, S., dan Karnawati, D. 2010. *Pemetaan Zonasi Mikro Kerentanan Gempabumi Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta*. Yogyakarta.
- I-GMT. 2008. *i-GMT: Interactive Mapping of Geoscientific Datasets*. Diakses dari http://geodynamics.usc.edu/becker/igmt/main_IGMT.html pada tanggal 6 Agustus 2019 pukul 10.42 WIB.
- Kanai, K. 1983. *Seismology in Engineering*. Japan: Tokyo University.
- Kato, K. 2006. *Introduction to Strong Motion and Seismic Hazard*. Kajima Corporation. Presentation for IISSE Lecture. Japan.
- Kusumawati, N. 2014. *Analisis Struktur Lapisan Tanah Berdasarkan Ketebalan Sedimen Dan Identifikasi Resiko Gempabumi Di Kabupaten Kulon Progo Menggunakan Mikrotremor*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Laberta, S. 2013. *Mikrozonasi Indeks Kerentanan Seismik Berdasarkan Analisis Mikrotremor di Kecamatan Jetis, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta*. Skripsi. Yogyakarta : Universitas Negeri Yogyakarta.
- Lachet, C dan Brad, P. Y. 1994. *Numerical and Theoretical Investigations on The Possibilities and Limitations of Nakamura's Technique*. Jurnal Physics Earth, 42, 377-397.
- Lunedei, E., dan Albarello, D. 2010. *Alternative Interpretations of Horizontal to Vertical Spectral Ratios of Ambient Vibrations: New Insights From Theoretical Modeling*. Bulletin of Earthquake Engineering 8, 519–534.

- Marjiyono. 2010. *Estimasi Karakteristik Dinamika Tanah Dari Data Mikrotremor Wilayah Bandung*. Tesis. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Marjiyono, Ratdomopurbo, Suharna, Moch Heri, & Roby Setia, Negara. 2014. *Geologi Bawah Permukaan Dataran Klaten Berdasarkan Interpretasi Data Mikrotremor*. Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral 15(1), 3-9.
- Martorana. 2014. *Seismic Characterization by Inversion HVSR Data to Improve Geological Modelling*. Athena: 20th European Meeting on Environmental and Engineering, Athens, Greece.
- Mirzaoglu, M., and Dykmen, U. 2003. *Application of Microtremors to Seismic Microzonating Procedure*. Journal of the Balkan Geophysical 6(3). Balkan.
- Mucciarelli, M. C., Other, D., Gosar, A., Herak, M., & Albarello. 2008. *Assesment of Seismic Site Amplification and of Seismic Building Vulnerability in the Republic of Macedonia, Croatia and Slovenia*. China: The 14th World Conference on Earthquake Engineering, October 12-17, Beijing, China.
- Mulyatno, B. S., Marjiyono, & Setianegara, R. 2013. *Penentuan Zona Rawan Guncangan Bencana Gempa Bumi Berdasarkan Analisis Amplifikasi HVSR Mikrotremor dan Analisis Periode Dominan Daerah Liwa dan Sekitarnya*. Geofisika Eksplorasi Jilid 1.
- Nakamura, Y. 1989. *A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface*. Tokyo: Quarterly Report of Railway Technical Research Institute, 30, 25–33.
- Nakamura, Y. 1997. *Seismic Vulnerability Indices for Ground and Structures Using Microtremor*. Florence: World Congress on Railway Research
- Nakamura, Y. 2000. *Clear Identification of Fundamental Idea of Nakamura's Technique and its Application*. Japan: System and Data Research.
- Nakamura, Y. 2000. *Real Time Information Systems for Seismic Hazards Mitigation*. Japan: Quarterly Report of RTRI, 37(3), 112-127.
- Nakamura, Y., E.D. Gurler, J. Saita, A. Rovelli & S. Donati. 2000. *Vulnerability Investigation Of Roman Colosseum Using Microtremor*. Prepared for 12th WCEE 2000 in Auckland, NZ
- Novianita, A. 2009. *Penggunaan mikrotremor ellipticity curve untuk menentukan struktur lapisan bawah permukaan di daerah Yogyakarta*. Skripsi. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Panoua, A.A., N. Theodulidis, P. Hatzidimitriou, K. Stylianidis & C.B. Papazachos. 2005. *Ambient Noise Horizontal to Vertical Spectral Ratio in Site Effects Estimation and Correlation with Seismic Damage Distribution in Urban Environment: The Case of The City of Thessaloniki (Northern Greece)*. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 25, 261–274.

- Patimah, S. 2017. *Analisis Litologi Bawah Permukaan Berdasarkan Ground Profiles Kecepatan Gelombang Geser dengan Metode Ellipticity Curve di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno Kabupaten Klaten*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Pemkab Klaten (Pemerintah Kabupaten Klaten). 2011. *Geografi dan Topografi Kabupaten Klaten*. Diakses dari <http://klatenkab.go.id/geografi-dan-topografi-kabupaten-klaten/> pada tanggal 11 Maret 2017 pukul 10.55 WIB.
- Pemkab Klaten (Pemerintah Kabupaten Klaten). 2011. *Peta Geologi Kabupaten Klaten*. Diakses dari <http://klatenkab.go.id/peta-geologi-kabupaten-klaten/> pada tanggal 11 Maret 2017 pukul 10.49 WIB.
- Prabowo, U. N. 2015. *Pemetaan Daerah Rawan Rekanan Tanah Berdasarkan Analisis Mikrotremor Di Kotamadya Denpasar dan Kabupaten Badung, Bali*. Tesis. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.
- Riyanto, S. dan Purwanto, A. 2009. *Algoritma Fast Fourier Transform (FFT) Decimation in Time (DIT) Dengan Resolusi 1/10 Hertz*. Proseding: Seminar Penelitian Pendidikan dan Penerapan MIPA.
- Seed, H., Idriss, I., & Arango. 1983. *Evaluation of Liquification Potential Using Field Performance Data*. Geotechnic Enginering ASCE 109, 458-482.
- Seht, M.I, dan J. Wohlenberg. 1999. Microtremor Used To Map Thickness Of Soil. *Bulletin of the Seismological Society of America* 89(1), 250-259.
- SESAME. 2004. *Guidelines for the Implementation of the H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations*. Europe : SESAME European Research Project.
- Setiawan, B. 2008. *Pemetaan Tingkat Kekerasan Batuan Menggunakan Metode Seismik Refraksi*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Slob, S. 2007. *Micro Seismic Hazard Analysis, Earthquake Vulnerability and Multihazard Risk Assesment*. Geospatial Tools for Rehabilitation and Reconstruction Efforts, ITSC Netherlands.
- Sunarjo, M., Taufik, G., dan Sugeng, P. 2012. *Gempabumi Edisi Populer*. Jakarta: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jakarta.
- Sungkono dan Santosa, B. J. 2011. *Karakterisasi Kurva Horizontal-ToVertical Spectral Ratio: Kajian Literatur dan Pemodelan*, Jurnal Neutrino 4(1).
- Sungkowo, A. 2016. *Studi Kerentanan Sesimik dan Karakteristik Dinamik Tanah di Kota Yogyakarta dari Data Mikrotremor*. Tesis. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.
- Supartoyo, Oman, A. dan Kurnia, A. 2016. *Sepuluh Tahun Gempa Yogyakarta*. Geomagz 6(2). Diakses dari: <http://geomagz.geologi.esdm.go.id/sepuuh-tahun-gempa-yogyakarta> pada tanggal 5 November 2019 pukul 11.05 WIB.

- Susilawati. 2008. *Penerapan Penjalaran Gelombang Seismik Gempa pada Penelaahan Struktur Bagian dalam Bumi*. Sumatera Utara: Universitas Sumatera Utara.
- Syaifuddin, F., Bahri, A.S., Lestari, W., dan Pandu, J. 2016. *Microtremor Study of Gunung Anyar Mud Volcano*. Proceedings: Surabaya, East Java AIP Conference 1730 050004 2016.
- Telford, W.M., Geldart, L.P., Sherrif, R.E., & Keys., D.A. 1976. *Applied Geophysics*. Cambridge University Pess.
- Wibowo, N. B., Juwita, N. S., Denny, D., Yosafat, S., Fitria, A., & Siti, M. 2018. *Interpretasi Ketebalan Lapisan Sedimen berdasarkan Penampang Seismik Kurva H/V di Kota Pacitan, Jawa Timur*. Indonesian Journal of Applied Physics 8(1), 32-42.
- Wibowo, N. B., Gunawan, A. 2014. *Analisis Spasial Respon Bendungan terhadap Model Peak Ground Acceleration (PGA) Berdasarkan Karakteristik Mikrotremor, Geologi Regional dan Amatan Instrumentasi pada Bendungan Sermo Kulonprogo*. Indonesian Journal of Applied Physics 4(2), 115-125.
- Winoto, P. 2010. *Analisis Mikrotremor Kawasan Universitas Brawijaya Berdasarkan Metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (Nakamura Method) (Studi Awal Mikrozonasi Seismik Wilayah Malang)*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Yokoi. 2006. *Geodinamika*. Presentasi Teknik Geologi, FIKM ITB. Bandung

LAMPIRAN

LAMPIRAN I
TABEL DATA HASIL PENELITIAN

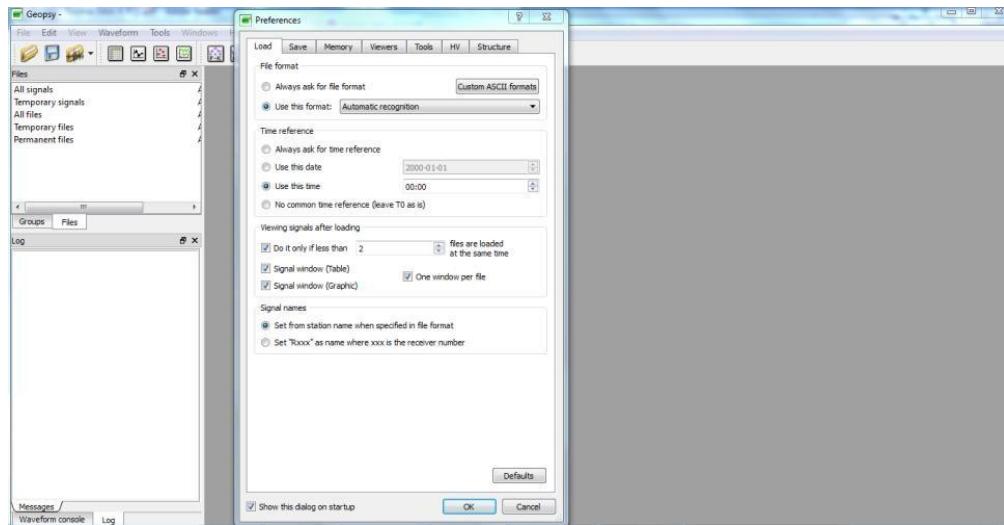
No	TA	Koordinat X <i>(Longitude)</i>	Koordinat Y <i>(Latitude)</i>	V _{s30} (m/s)	f ₀ (Hz)	Ag	h (m)
1	6	110,5762250	-7,80903800	387,6679	1,25	6,105	77,5336
2	7	110,5909600	-7,80938000	60,257	1,30	6,511	11,5879
3	10	110,5309817	-7,79839833	98,36	5,80	7,309	4,23966
4	11	110,5241050	-7,78075167	203,42	1,05	2,022	48,4333
5	12	110,5390900	-7,78842667	239,1482	1,20	3,250	49,8225
6	13	110,5517135	-7,78864667	158,9425	2,40	7,613	16,5565
7	14	110,5762250	-7,78802500	298,8634	4,85	8,669	15,4053
8	15	110,5973533	-7,79283833	290,8976	2,30	2,974	31,6193
9	16	110,6112417	-7,78862500	311,3315	2,90	4,765	26,8389
10	18	110,5064550	-7,76786800	343,4727	9,50	6,697	9,03876
11	19	110,5230500	-7,77394500	423,0786	2,80	4,290	37,7749
12	20	110,5398117	-7,77147000	241,9938	1,20	7,389	50,4154
13	21	110,5638433	-7,77114167	226,402	1,10	7,641	51,455
14	22	110,5809833	-7,77356111	261,365	2,35	9,010	27,8048
15	25	110,4864050	-7,75467000	219,8245	1,05	3,448	52,3392
16	26	110,5040267	-7,75453167	111,3048	1,26	4,600	22,0843
17	27	110,5246183	-7,75433333	301,7645	0,80	5,715	94,3014
18	28	110,5401583	-7,75410667	214,282	1,30	4,122	41,2081
19	29	110,5603017	-7,75600333	274,01	2,00	3,869	34,2513
20	30	110,5759017	-7,75431167	226,84	1,05	2,857	54,0095

21	33	110,4859317	-7,73667833	240,82	1,05	4,404	57,3381
22	34	110,5045911	-7,73637333	153,5179	1,00	6,035	38,3795
23	35	110,5222867	-7,73673833	287,19	1,10	3,128	65,2705
24	36	110,5403867	-7,73635667	289,9355	0,85	3,347	85,2751
25	37	110,5594733	-7,73657333	229,12	2,25	2,875	25,4578
26	41	110,4860383	-7,71816833	167,57	1,00	4,444	41,8925
27	42	110,5043483	-7,71806333	251,94	1,10	3,994	57,2591
28	43	110,5223733	-7,71865330	335,3018	0,85	1,795	98,6182
29	44	110,5396800	-7,71862000	320,4622	0,70	5,999	114,451

LAMPIRAN II

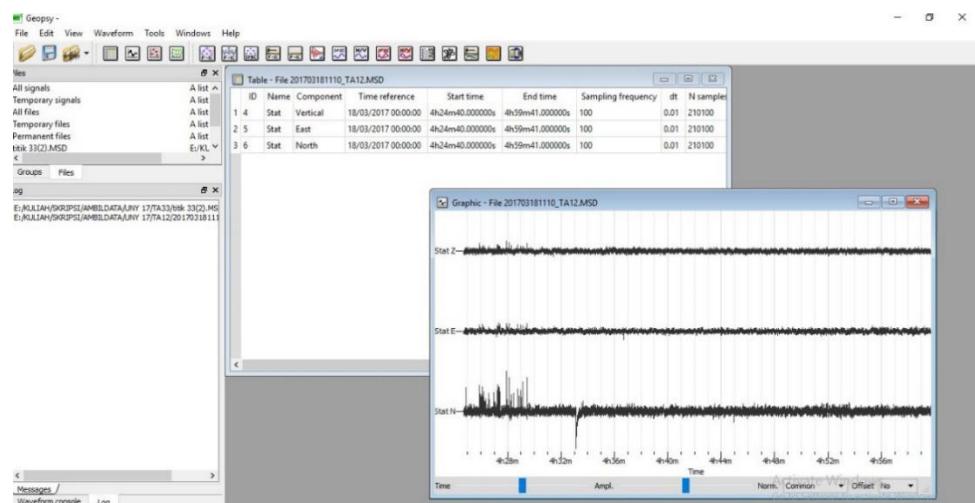
PENGOLAHAN DATA MIKROTREMOR

1. Dibuka *software Sessary-Geopsy*, maka akan muncul Gambar L1. Kemudian klik *OK* pada jendela *preferences*.



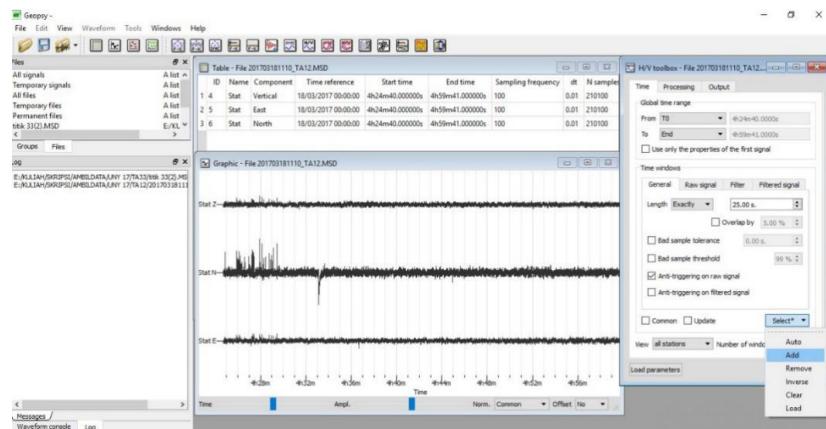
Gambar L1. Tampilan awal *software Sessary-Geopsy*

2. Dimasukkan sinyal mikrotremor dengan cara klik menu *import signals* dan pilih data pengukuran yang akan diolah. Format data pengukuran adalah .msd.
3. Data yang telah diimport akan muncul seperti Gambar L2.



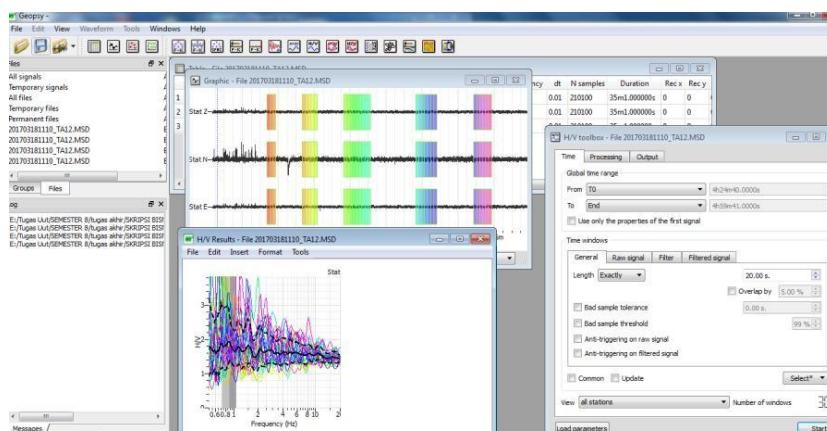
Gambar L2. Tampilan rekaman sinyal mikrotremor

4. Klik ikon H/V pada *toolbar*, sehingga akan muncul tampilan seperti Gambar L3. Pada pengaturan *Processing*, setting *smoothing type* dengan Konno & Omachi. Untuk pengaturan *Output*, setting nilai *Frequency sampling* 0.50 Hz – 20 Hz dengan *Number of samples* 100. Pada pengaturan *Time*, setting nilai *Length window* sebesar 20.0 sekon, kemudian hilangkan centang pada *Anti-triggering on raw signal* dan pada pilihan *Start* dipilih *Add* untuk memilih sinyal mikrotremor dari *noise* secara manual yang akan diolah menjadi kurva H/V.



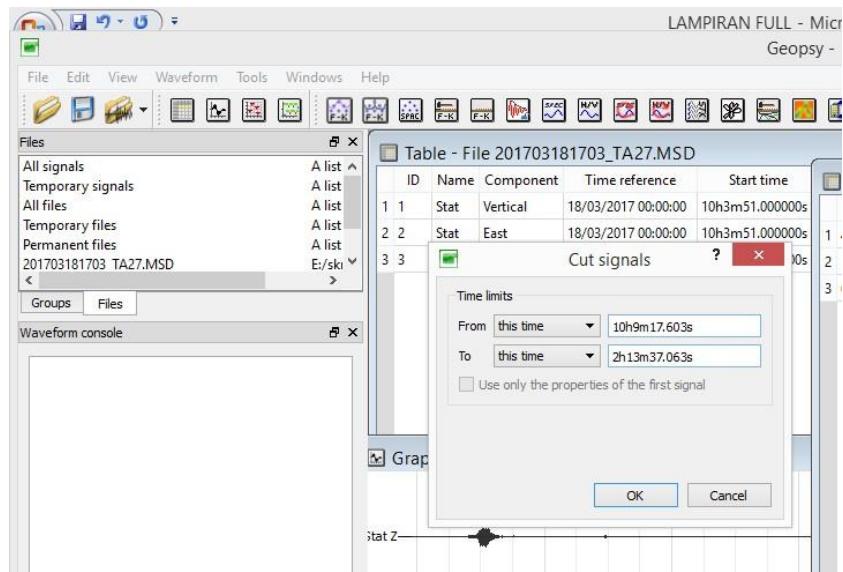
Gambar L3. Tampilan kotak dialog pada *toolbox H/V*

5. Kemudian klik tombol *Start*, dan memulai *picking* sinyal mikrotremor dengan tampilan pada Gambar L4.



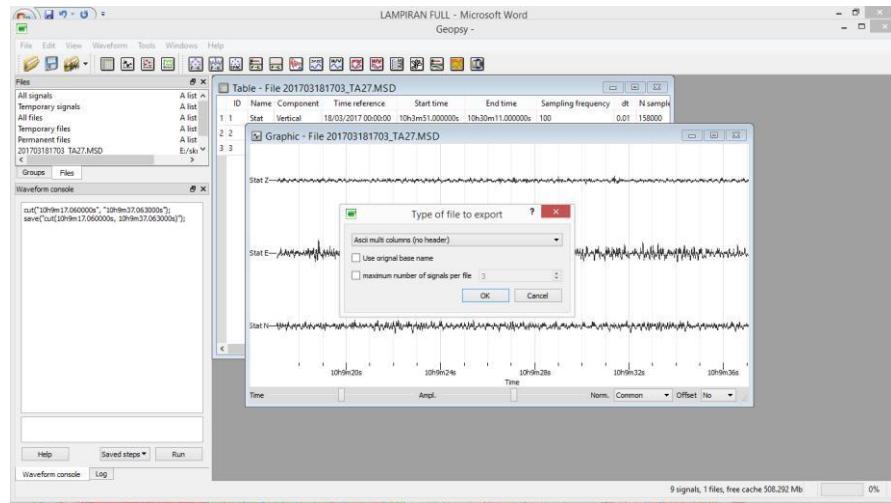
Gambar L4. Tampilan hasil *picking* (windowing) sinyal mikrotremor

6. Disimpan kurva H/V yang berisi informasi nilai frekuensi dan amplifikasi dengan klik *Tools* pada *toolbar*, kemudian dipilih *Save Result* dan *choose*. Selanjutnya dipilih *load result* untuk menampilkan kurva (kurva tersimpan dalam format .hv).
7. Dicatat waktu setiap *window* yang dipilih pada sinyal mikrotremor untuk proses *cutting*.
8. Diulangi langkah ke-3 kemudian klik *Waveform* pilih *cut*. Pada kotak kecil *cut signals* dipilih *this time* pada *Time limits from*, ketik waktu pertama *window* tersebut kemudian jumlahkan waktu pertama dengan 20 s. Hasil penjumlahan tersebut diketik pada *Time limits to* sebagai waktu akhir *window* tersebut. Kemudian klik *OK*, seperti ditunjukkan pada Gambar L5.



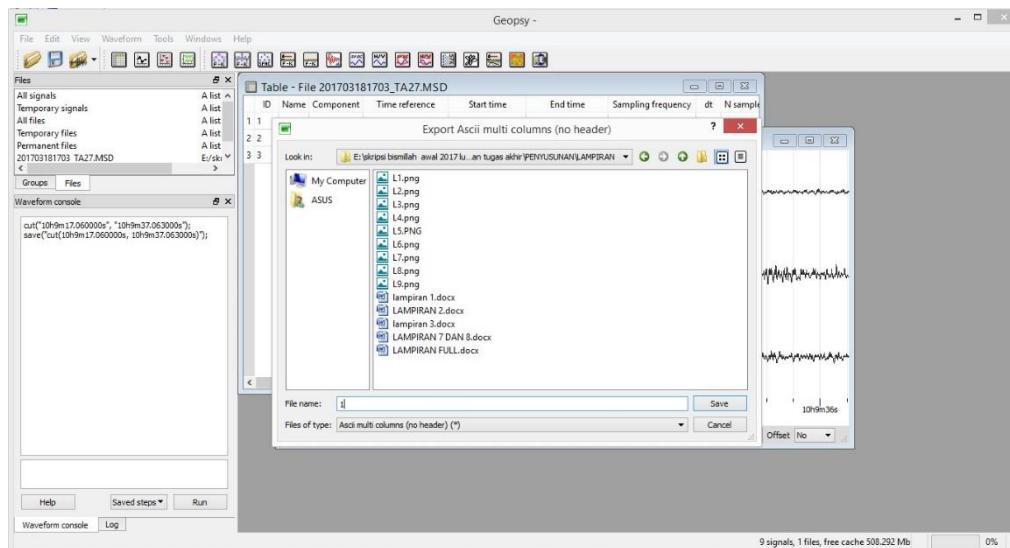
Gambar L5. Tampilan proses *cut signal*

9. Disimpan hasil *cut* gelombang setiap *window* ke dalam format text (.txt), klik *file* pilih *export*. Pada kotak kecil *Type of to export* pilih format *Ascii multi columns* lalu klik *OK* seperti ditunjukkan oleh Gambar L6 di bawah ini.



Gambar L6. Tampilan proses *Type of file to export*

10. Pada kotak kecil *Export Ascii multi columns* dipilih lokasi penyimpanan lalu ketik nama *file* “1” yang menunjukkan *window* ke-1, klik *save* seperti ditunjukkan pada Gambar L7.



Gambar L7. Tampilan penyimpanan *file* hasil *cut* sinyal

11. Dibuka *software Microsoft Excel* untuk melihat nilai dari kurva H/V yang sebelumnya tersimpan dalam format .hv.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1	#	GEOFSY	output	version	1.1												
2	#	Number of windows	=			21											
3	#	from	average		1.2692												
4	#	Number of windows for	fo	=		21											
5	#	fo	from	windows	1.24576	0.952618	1.49891										
6	#	Frequency	Average	Min	Max												
7		0.5	1.26677	0.617982	2.51533												
8		0.518982	1.452	0.831849	2.53447												
9		0.538685	1.58974	1.00445	2.51605												
10		0.559136	1.64132	1.12439	2.39589												
11		0.580363	1.63166	1.17645	2.26299												
12		0.602396	1.58781	1.09184	2.30968												
13		0.625266	1.75057	1.16685	2.64094												
14		0.649003	1.82885	1.05983	3.15647												
15		0.673642	1.83704	1.13736	2.96724												
16		0.699217	1.78161	1.08706	2.85474												
17		0.725762	1.78401	1.10358	2.75291												
18		0.753115	1.68509	1.0213	2.78032												
19		0.781914	1.79387	1.12703	2.66746												
20		0.811599	1.74062	1.15283	2.62855												
21		0.842411	1.79366	1.1495	2.63285												
22		0.874392	1.74805	1.15283	2.63106												
23		0.907588	1.78309	1.12744	2.6641												
24		0.942044	1.72326	1.15582	2.56928												
25		0.977808	1.71522	1.20081	2.44998												

Gambar L8. Tampilan nilai kurva H/V yang dibuka oleh *Microsoft Excel*.

12. Proses ini dilakukan untuk semua titik pengukuran pada daerah penelitian.

LAMPIRAN III

ANALISIS MIKROTREMOR DENGAN MATLAB R2008a

1. Disimpan hasil *cutting* dalam satu folder untuk masing-masing titik pengukuran.
2. Ditekan tombol *window + R*, lalu ketik *cmd*, kemudian akan muncul jendela seperti pada Gambar L9.



Gambar L9. Tampilan awal *Command Prompt*

3. Ditulis perintah dengan urutan sebagai berikut:
 - a. Diketik *local disk* penyimpanan hasil *cutting* sinyal dengan diakhiri tanda titik dua (:), lalu tekan *enter*.
 - b. Diketik *cd (spasi) "paste copy address"*, lalu tekan *enter*.
 - c. Diketik *copy/b (spasi) 1+2+3+...+n (spasi) filename.xls*, dengan *n* adalah banyaknya *cutting* atau *number of window* dari masing-masing titik penelitian dan *filename.xls* adalah nama *file* yang disimpan dalam format *Excel Workbook (.xls)*, lalu tekan *enter* dan akan muncul tampilan seperti Gambar L10.

```

C:\Windows\system32\cmd.exe
SMILLAHNTA 11\CUTTING 11"
E:\skripsi bismillah awal 2017 lulus\data\UNY 17\KURIA HU GEOPSY\FIX BISMILLAH\
TA 11\CUTTING 11>copy/b 1+2+3+4+5+6+7+8+9+10+11+12+13+14+15+17+18 titik11.xls
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
17
18
    1 file(s) copied.

E:\skripsi bismillah awal 2017 lulus\data\UNY 17\KURIA HU GEOPSY\FIX BISMILLAH\
TA 11\CUTTING 11>

```

Gambar L10. Input Command Prompt

4. Dibuka *file* yang telah diubah ke dalam format *Excel Workbook .xls* menggunakan *Software Microsoft Excel*, sehingga muncul tampilan seperti Gambar L11.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1	-195	479	-123																		
2	181	682	-498																		
3	463	416	-124																		
4	583	-105	-247																		
5	539	368	-697																		
6	194	-141	-70																		
7	-167	-548	226																		
8	-163	-163	-421																		
9	-66	1130	-365																		
10	27	890	-280																		
11	171	807	-717																		
12	173	687	-226																		
13	61	805	13																		
14	-3	990	-543																		
15	36	368	-176																		
16	-89	861	477																		
17	-207	1002	176																		
18	-275	770	556																		
19	-159	523	76																		
20	-30	599	183																		
21	-21	577	259																		
22	-51	459	98																		
23	137	1313	631																		
24	258	1458	-432																		

Gambar L11. Tampilan Tiga Nilai komponen sinyal

5. Kolom A menunjukkan *file* data SHZ, kolom B menunjukkan *file* data SHE, dan kolom C menunjukkan data SHN. Data mikrotremor yang tadinya hanya pada satu *file* saja dipisahkan menjadi tiga *file* sehingga dua komponen horizontal terpisah dengan komponen vertikal. Simpan file dengan format E.xls untuk komponen *East-West*, N.xls untuk komponen *North-South* dan V untuk komponen vertikal.

6. Setiap komponen dianalisis dengan cara FFT, digunakan program *radix* yang terdiri dari *smoothing*, *FFT_64*, dan program pemanggil seperti yang ditunjukkan oleh Gambar L12.

```

1 - clc; clear all;clf;
2 - %x1read('x1six');
3 - W=2000; %panjang window
4 -
5 - P=[0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24]; %Matriks potongan data window
6 - jumlah_window=length(P);
7 -
8 - for i=1:length(P);
9 -     w=0;
10 -     U=W*(P(W,i)+1:(P(W,i)+1)*P);
11 -     [hasil_fft]=fft(fftshift(U));
12 -     s = s + hasil_fft;
13 - end
14 -
15 - S=s/jumlah_window;
16 -
17 - N=100;
18 - N=length(W);
19 - k=0:1:(N-1);
20 - f=(fs/N)*k';
21 -
22 - F=f';
23 - St=S';
24 - St=St';
25 -
26 -
27 - %***** Smoothingnya*****
28 - b=20;
29 - [S1t]=smooth_spektren(St,z,b);
30 -
31 - S1t=S1t';
32 -
33 - %Plotnya%
34 -

```

Gambar L12. Input Program MATLAB

7. Ketiga program tersebut di-*run* secara bergantian sehingga pada *command window* akan muncul nilai *FFT* menggunakan *radix* seperti Gambar L13.

	1	2	3	4	5	6	7
1	0.1217						
2	0.2438						
3	0.2427						
4	0.2394						
5	0.5064						
6	0.5405						
7	1.0756						
8	0.7688						
9	0.8999						
10	0.9392						
11	1.2944						
12	1.8055						
13	2.1778						
14	2.2377						
15	1.9613						
16	1.6406						
17	1.5537						
18	1.7026						
19	1.9252						

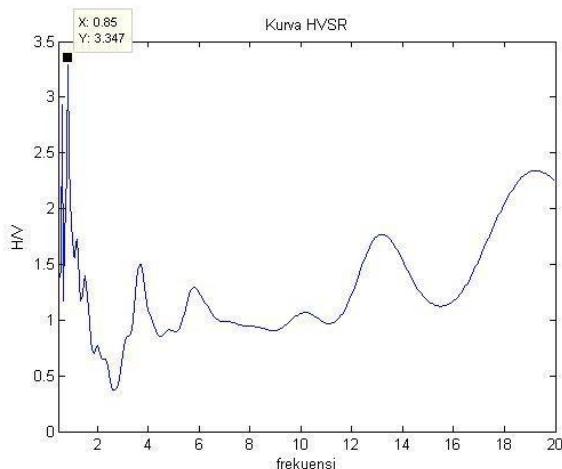
Gambar L13. Nilai FFT komponen sinyal

8. Copy-kan tiga komponen nilai hasil *FFT* pada *command window* tersebut pada *Microsoft Excel* pada satu *worksheet*. Setelah itu hitung nilai HVSR dari ketiga komponen tersebut, sehingga didapatkan hasil seperti Gambar L14.

	A	B	C	D	E
1	E	N	V	HVSR(/2)	
2	0.12168	0.16156	0.04656	3.071668	
3	0.243714	0.314157	0.048566	5.788973	
4	0.242497	0.127614	0.146344	1.324041	
5	0.238052	0.634585	0.088014	5.44519	
6	0.511576	0.749457	0.230182	2.787523	
7	0.41089	1.09606	0.241407	3.428652	
8	1.358146	1.224424	0.193261	6.690496	
9	0.443118	1.422441	0.504643	2.087597	
10	1.173756	1.924222	0.393578	4.049485	
11	0.669419	0.171487	0.235718	2.072962	

Gambar L14. Nilai FFT tiga komponen sinyal dan HVSR

9. Kurva H/V diperoleh dengan cara *plotting* menggunakan *software MATLAB R2008a*.
10. *Copy paste* terlebih dahulu nilai HVSR pada *worksheet* baru dan simpan dengan nama HVSR.xls.
11. Dibuka program HVSR pada Matlab kemudian di-*run*, sehingga akan muncul hasil *plotting* seperti Gambar L15.



Gambar L15. Kurva H/V hasil analisis *MATLAB*

12. Dari grafik hasil *plot* akan diperoleh nilai amplifikasi pada sumbu y dan nilai periode predominan pada sumbu x.
13. Proses ini dilakukan untuk semua hasil pengukuran di setiap titik pengukuran.

LAMPIRAN IV

MIKROZONASI HASIL PENELITIAN

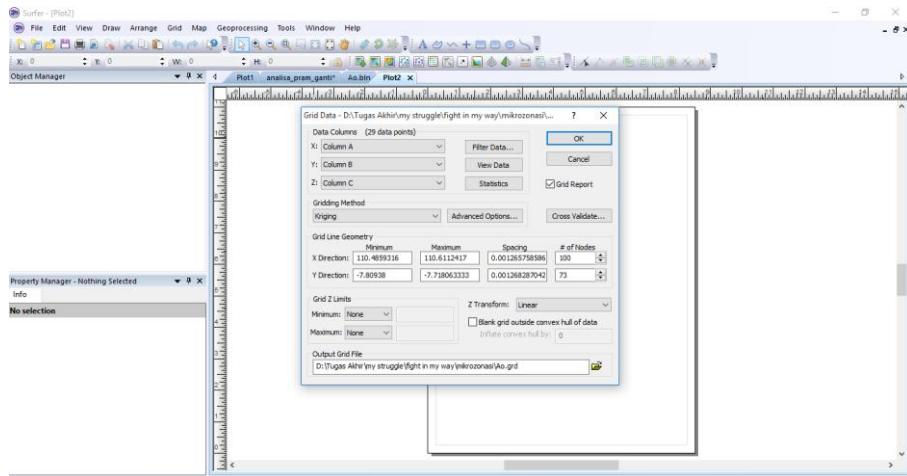
A. Mikrozonasi Nilai Faktor Amplifikasi Tanah

1. Dibuka *software Surfer-10* dan dipilih *New Worksheet*. Kemudian dimasukkan nilai koordinat *longitude* pada kolom A, koordinat *latitude* pada kolom B, dan nilai faktor amplifikasi tanah pada kolom C, kemudian simpan dalam format .txt.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	110.57623	-7.8090383	6.105												
2	110.59096	-7.80938	6.511												
3	110.53089	-7.7983983	7.309												
4	110.52411	-7.7801517	2.022												
5	110.53909	-7.7884267	3.25												
6	110.55171	-7.7886467	7.613												
7	110.57623	-7.788025	8.669												
8	110.59735	-7.7928383	2.974												
9	110.61124	-7.788625	4.765												
10	110.50646	-7.767868	6.697												
11	110.52305	-7.773945	4.29												
12	110.53981	-7.771147	7.389												
13	110.56384	-7.7711417	7.641												
14	110.58098	-7.7735611	9.01												
15	110.48641	-7.75467	3.448												
16	110.50403	-7.7545317	4.6												
17	110.52462	-7.7543333	5.715												
18	110.54016	-7.7541067	4.122												
19	110.56030	-7.7560033	3.869												
20	110.57590	-7.7543117	2.857												
21	110.48593	-7.7366783	4.404												
22	110.50459	-7.7363733	6.035												
23	110.52229	-7.7367383	3.128												
24	110.54039	-7.7363567	3.347												
25	110.55947	-7.7365733	2.875												
26	110.48604	-7.7181683	4.444												

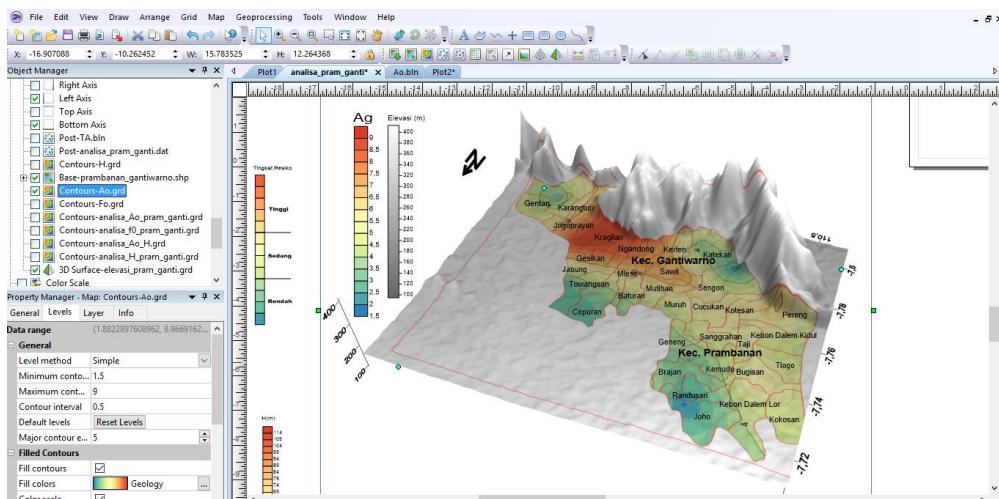
Gambar L16. Tampilan *worksheet* pada *software Surfer-10*

2. Klik icon *New Plot* pada *toolbox* dan dipilih menu *Grid* pada *toolbar*, kemudian dipilih data yang telah disimpan dalam format .txt, dan klik *open* maka jendela *Grid Data* akan muncul.
3. Dipilih *Kriging* pada *Gridding Method*, kemudian dimasukkan nilai koordinat minimum dan maksimum sesuai dengan peta yang digunakan pada *Grid Line Geometry*. Klik *ok* dan simpan *file* dengan klik *Save Grid Data Report* maka *file* akan tersimpan dalam format GRD.



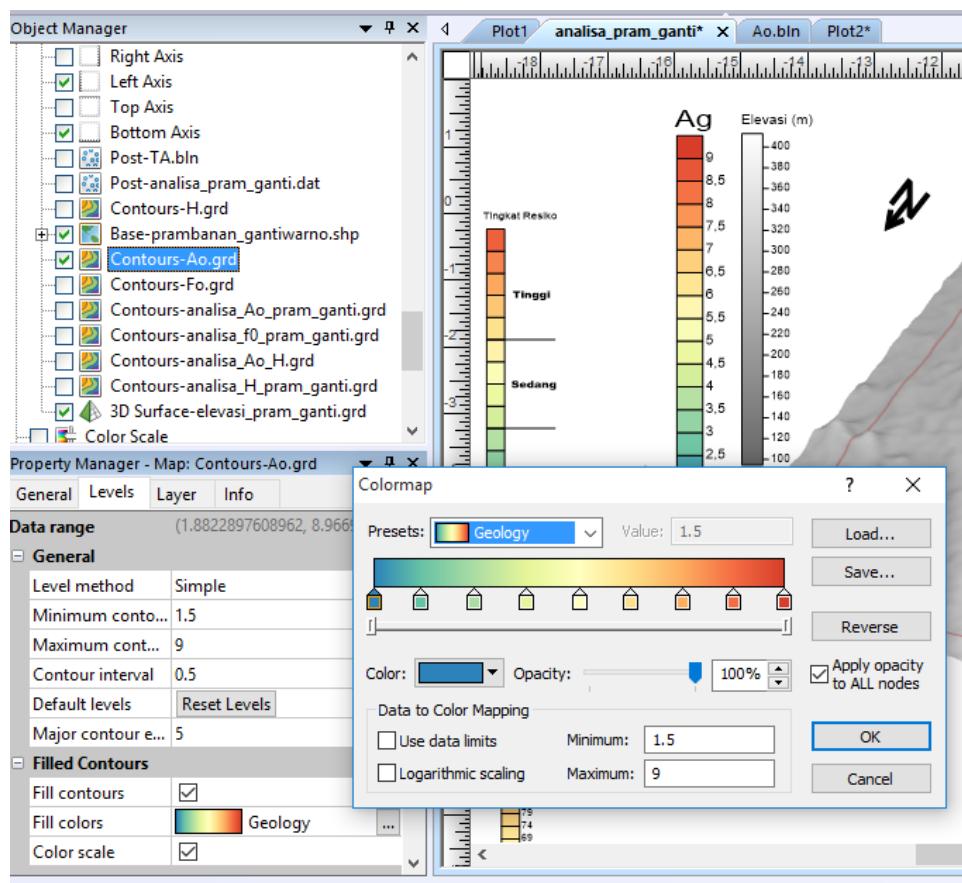
Gambar L17. Kotak dialog *Grid Data* pada software *Surfer-10*

4. Klik icon *New 3D Surface* pada *toolbar* dan dipilih peta 3 dimensi yang akan digunakan dalam format GRD, kemudian klik *open*.
5. Klik icon *Contour Map* pada *toolbar* dan dipilih data yang telah disimpan dalam format GRD (pada langkah ke 3), kemudian klik *Open* maka akan muncul hasil mikrozonasi untuk nilai amplifikasi (*Ag*).
6. Klik icon *New Base Map* pada *toolbar* dan dipilih peta yang akan digunakan (dalam format .shp) dan tekan CTRL+A kemudian klik *Map* pada menu *toolbar* dan dipilih *Overlay Maps*.



Gambar L18. Tampilan mikrozonasi persebaran nilai amplifikasi.

7. Klik *Contour* pada *Object Manager*, maka akan muncul jendela *Property Manager*, kemudian dipilih kolom *Levels* dan klik *checklist* pada *fill contour* dan *color scale*. Untuk jenis warna peta, dipilih *preset Geology* pada kolom *fill colors*.



Gambar L19. Kolom pengaturan warna dan skala peta mikrozonasi.

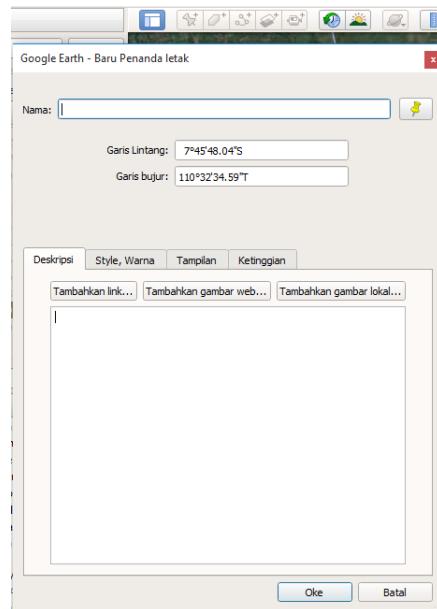
B. Mikrozonasi Frekuensi Predominan

Tahapan dalam membuat mikrozonasi frekuensi predominan adalah sama seperti tahapan dalam membuat mikrozonasi faktor amplifikasi. Namun data masukan yang digunakan pada tahap ke 1 (kolom C) adalah nilai untuk frekuensi predominan.

LAMPIRAN V

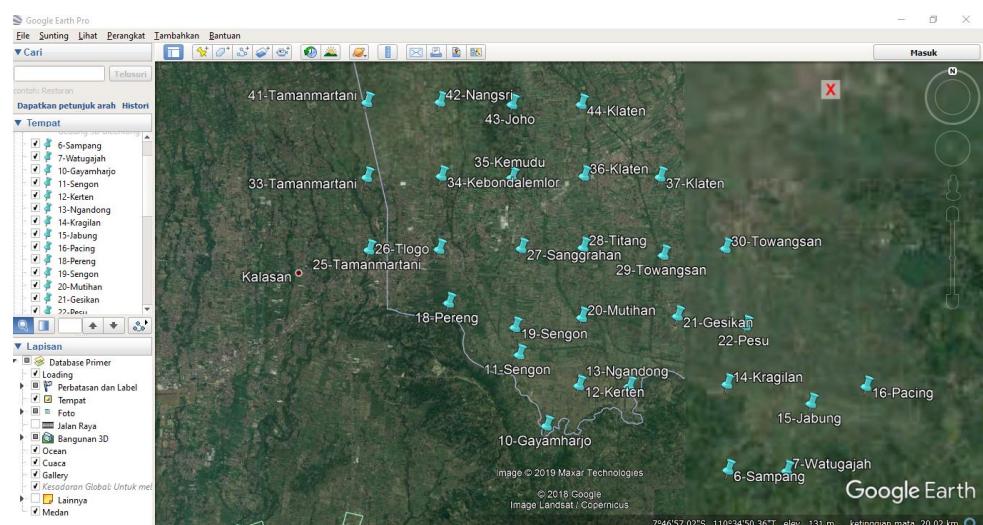
PENAMPANG SEISMIK KURVA H/V

1. Dibuka *software Google Earth*, kemudian klik *tambahkan tanda letak* pada *toolbar*, kemudian diisi nama dan koordinat titik penelitian, klik *ok*.



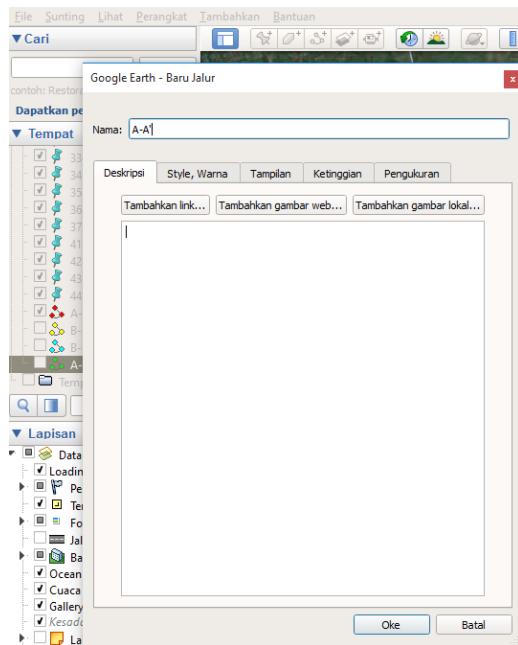
Gambar L20. Tampilan kolom pengisian koordinat di *software Google Earth*.

2. Dimasukkan nilai koordinat (Lintang dan Bujur) untuk semua titik pengukuran.



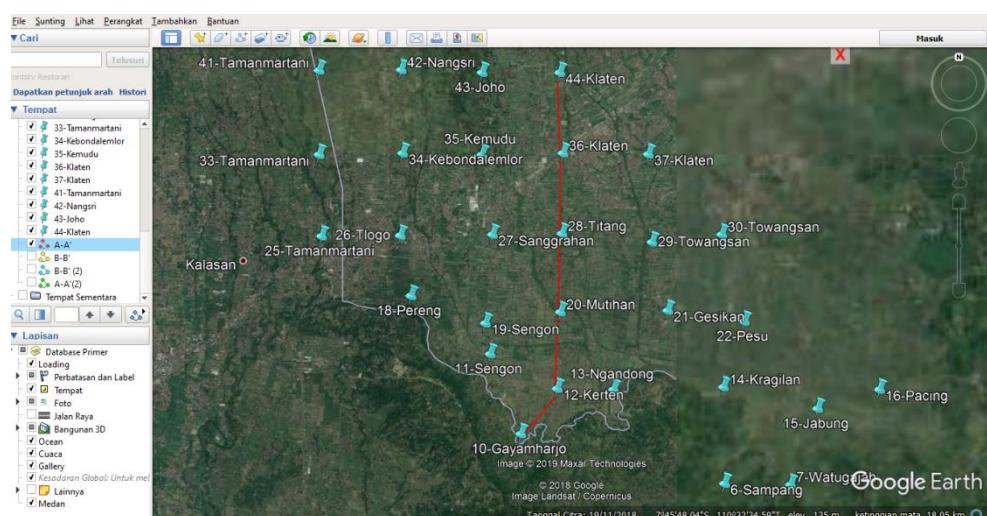
Gambar L21. Tampilan persebaran titik pengukuran pada *software Google Earth*.

3. Klik *Tambahkan* pada menubar dan memilih *Jalur*, kemudian diberi nama *A-A'* dan klik *oke*.



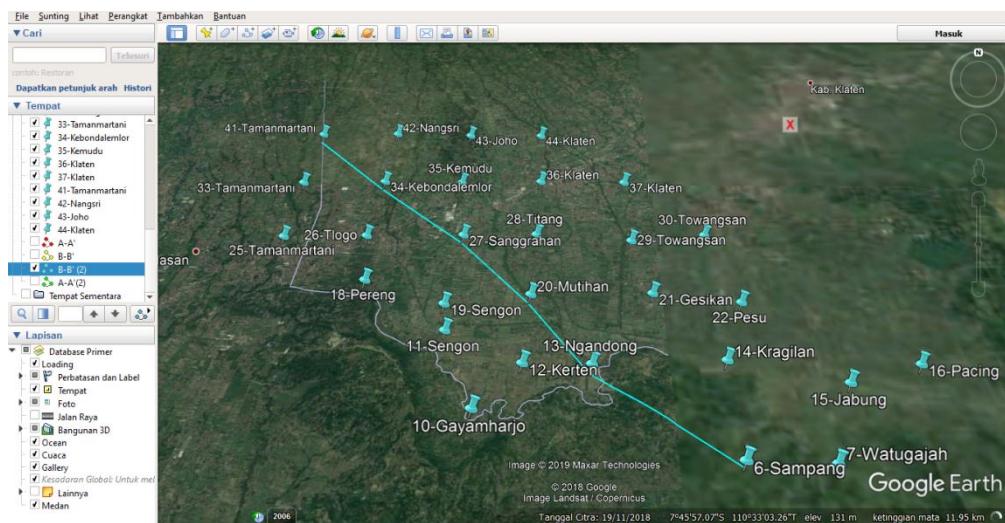
Gambar L22. Kotak dialog menu *Tambahkan Jalur* pada software *Google Earth*.

4. Dihubungkan titik pengukuran sesuai dengan lintasan garis potong *A-A'* (titik 44, 36, 28, 20, 12, dan 10).



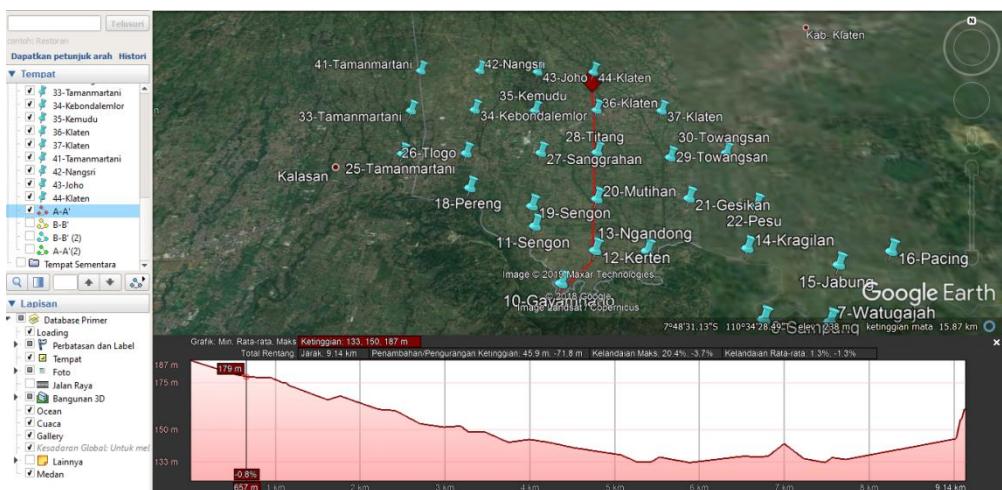
Gambar L23. Lintasan *A-A'*.

5. Diulangi langkah ke 3 dan 4 untuk lintasan yang kedua, yaitu lintasan B-B' (titik 41, 34, 27, 20, 13, dan 6).

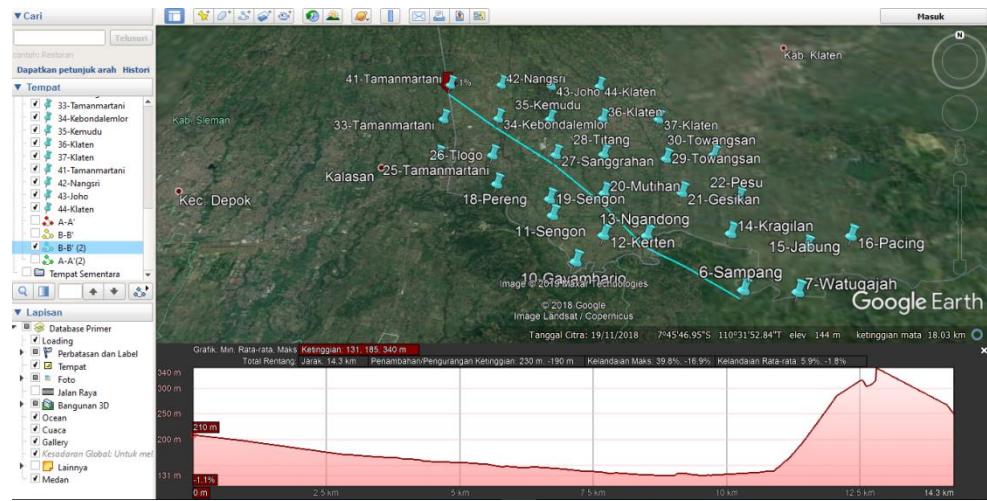


Gambar L24. Lintasan B-B'.

6. Ditampilkan profil ketinggian untuk setiap lintasan dengan klik kanan pada nama lintasan yang dipilih di kolom Tempat, kemudian pilih *Tampilkan Profil Ketinggian*, maka akan muncul tampilan seperti pada Gambar L25 dan Gambar L26.



Gambar L25. Tampilan Profil Ketinggian pada Lintasan A-A'.



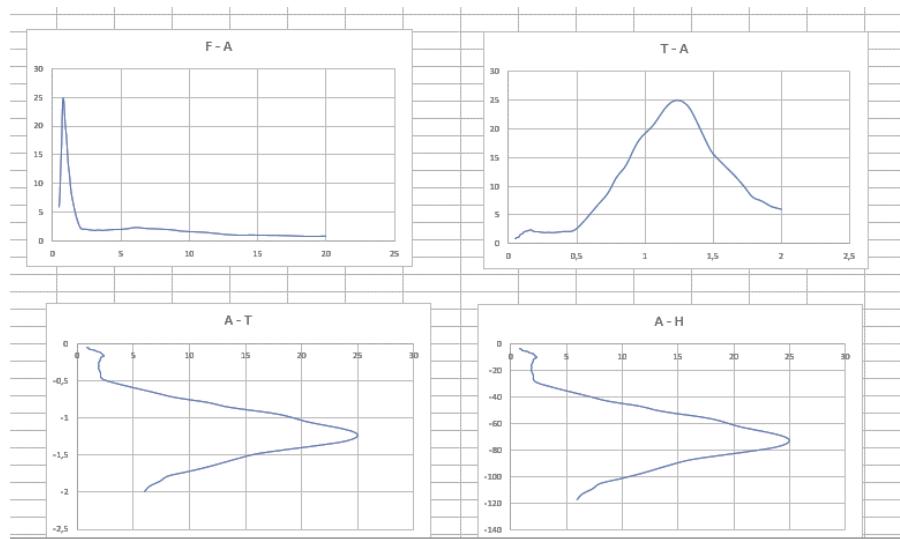
Gambar L26. Tampilan Profil Ketinggian pada Lintasan B-B'.

7. Disimpan gambar profil ketinggian dalam bentuk PNG.
8. Dibuka file hasil olah data mikrotremor berupa nilai kurva H/V dalam Microsoft Excel seperti yang ditunjukkan oleh Gambar L8.
9. Dibuat tabel data yang berisikan nilai frekuensi (f), amplifikasi (Ag), Periode ($T = \frac{1}{f}$, kecepatan gelombang geser (Vs), dan kedalaman ($h = \frac{T \cdot Vs}{4}$).

	A	B	C	D	E	F	G
1	F	A	T	(-)T	Vs	H	(-)H
2	0,5	5,95362	2	-2	234,165	117,0825	-117,0825
3	0,518982	6,40641	1,926849	-1,926849	234,165	112,8002	-112,8002
4	0,538685	7,35735	1,856372	-1,856372	234,165	108,6744	-108,6744
5	0,559136	8,05963	1,788474	-1,788474	234,165	104,6995	-104,6995
6	0,580363	9,98917	1,72306	-1,72306	234,165	100,8701	-100,8701
7	0,602396	11,7206	1,660038	-1,660038	234,165	97,18068	-97,18068
8	0,625266	13,1583	1,599319	-1,599319	234,165	93,62615	-93,62615
9	0,649003	14,5493	1,540825	-1,540825	234,165	90,20182	-90,20182
10	0,673642	16,0977	1,484468	-1,484468	234,165	86,90261	-86,90261
11	0,699217	18,6503	1,430171	-1,430171	234,165	83,72401	-83,72401
12	0,725762	21,2984	1,377862	-1,377862	234,165	80,66177	-80,66177
13	0,753315	23,548	1,327466	-1,327466	234,165	77,71152	-77,71152
14	0,781914	24,6724	1,278913	-1,278913	234,165	74,86917	-74,86917
15	0,811599	24,9709	1,232136	-1,232136	234,165	72,13076	-72,13076
16	0,842411	24,5057	1,187069	-1,187069	234,165	69,4925	-69,4925
17	0,874392	23,4284	1,143652	-1,143652	234,165	66,95081	-66,95081
18	0,907588	21,9848	1,101822	-1,101822	234,165	64,50201	-64,50201
19	0,942044	20,6293	1,061522	-1,061522	234,165	62,1428	-62,1428
20	0,977808	19,6555	1,022696	-1,022696	234,165	59,86988	-59,86988
21	1,01493	18,8094	0,98529	-0,98529	234,165	57,68009	-57,68009
22	1,05346	17,7251	0,949253	-0,949253	234,165	55,57045	-55,57045
23	1,09345	16,187	0,914537	-0,914537	234,165	53,53811	-53,53811
24	1,13497	14,4769	0,881081	-0,881081	234,165	51,57956	-51,57956
25	1,17806	13,1364	0,848853	-0,848853	234,165	49,69293	-49,69293
26	1,22278	12,2907	0,817809	-0,817809	234,165	47,87554	-47,87554
27	1,2692	11,3395	0,787898	-0,787898	234,165	46,12453	-46,12453

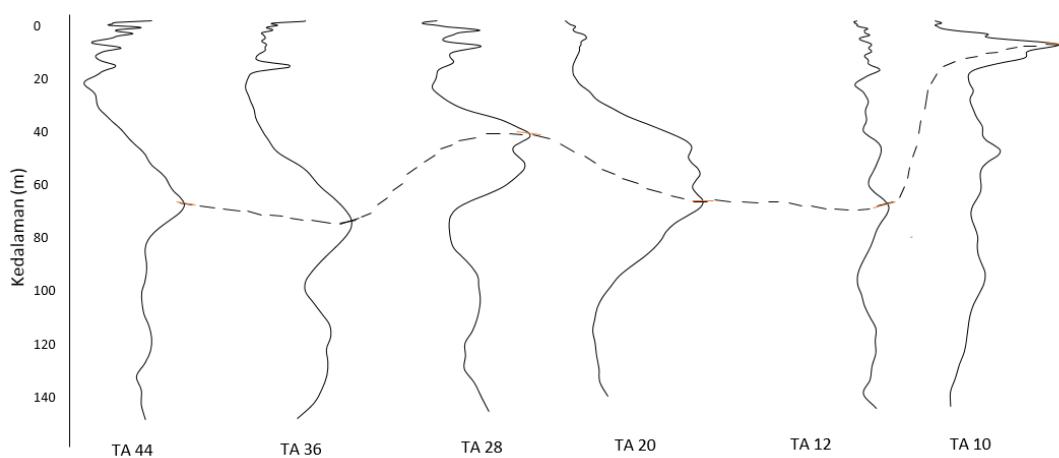
Gambar L27. Tampilan tabel data pada Microsoft Excel.

10. Dibuat grafik untuk melihat kocokan korelasi antar data ($f - Ag$, $T - Ag$, $Ag - (-T)$, dan $Ag - (-h)$).

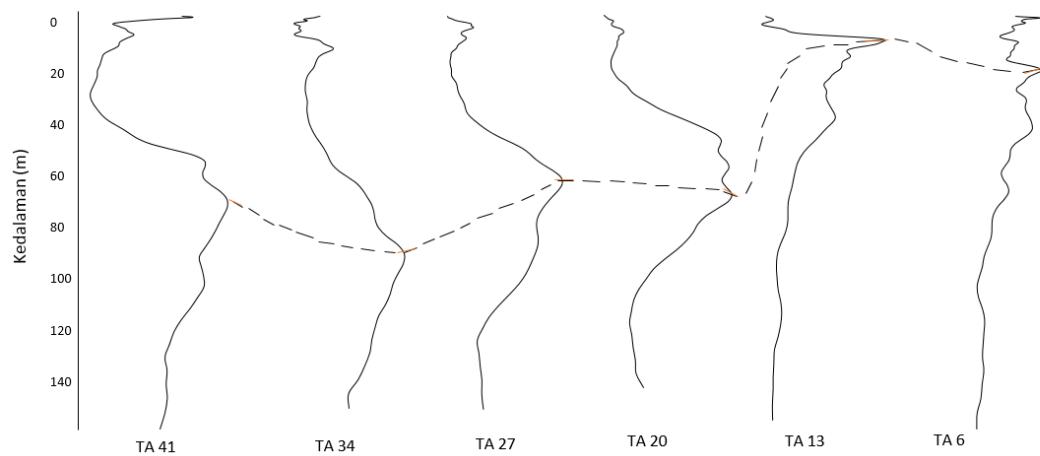


Gambar L28. Grafik titik 19 pada Microsoft Excell

11. Diulangi langkah 1 sampai dengan 3 untuk setiap titik pengukuran yang digunakan dalam penelitian.
12. Digabungkan grafik $Ag - h$ (amplifikasi dan kedalaman) sesuai dengan lintasan garis potong A-A' dan lintasan garis potong B-B'.

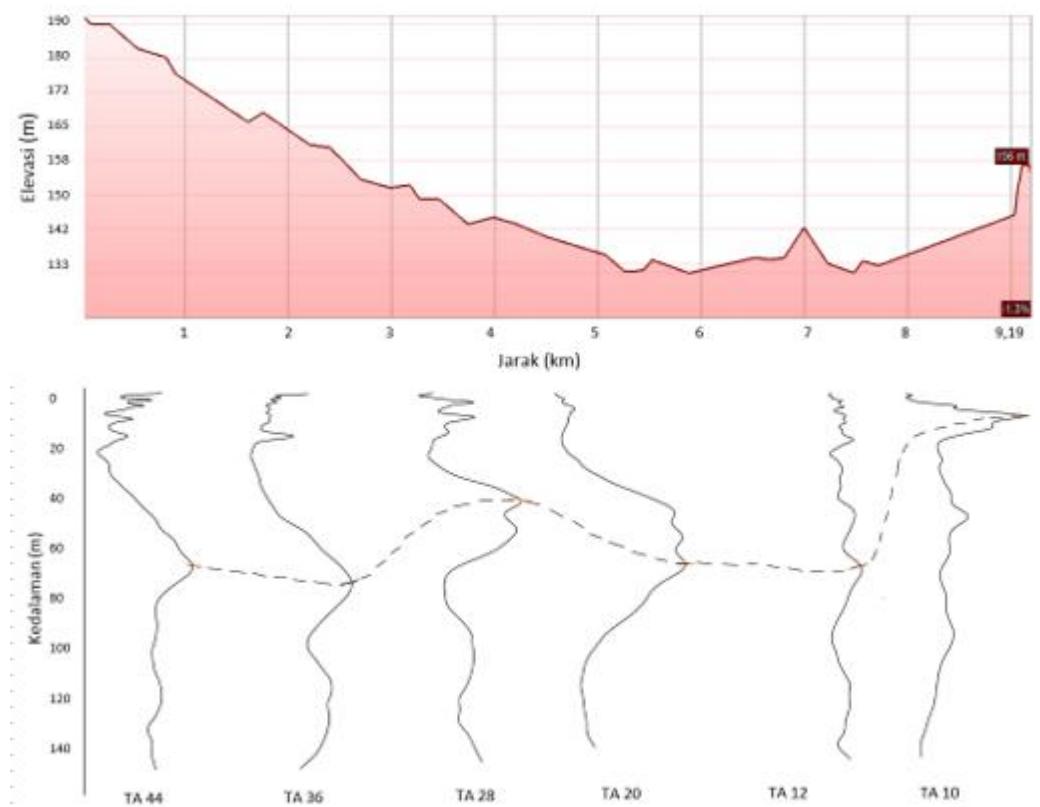


Gambar L29. Grafik lintasan A-A' pada Microsoft Excel.

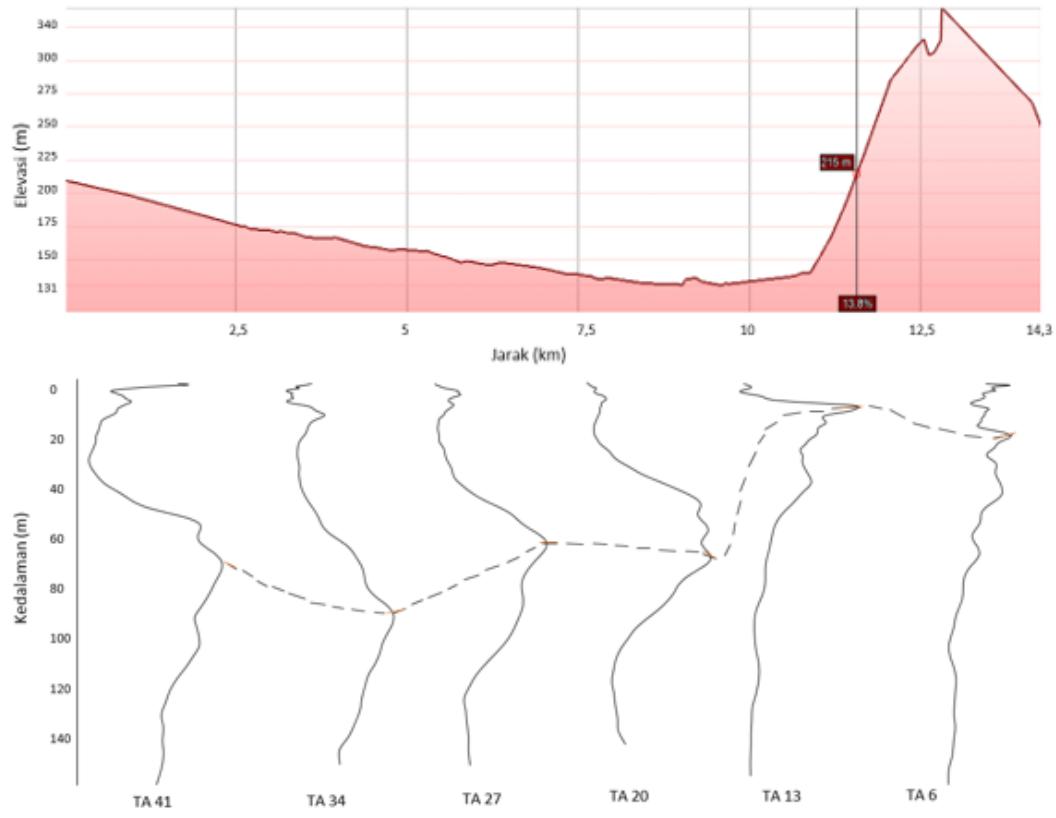


Gambar L30. Grafik lintasan B-B'.

13. Digabungkan gambar profil ketinggian dengan grafik lintasan.



Gambar L31. Penampang seismik kurva H/V lintasan A-A'



Gambar L32. Penampang seismik kurva H/V lintasan B-B'.

LAMPIRAN VI

PEMODELAN 3-DIMENSI MENGGUNAKAN SOFTWARE ROCKWORK

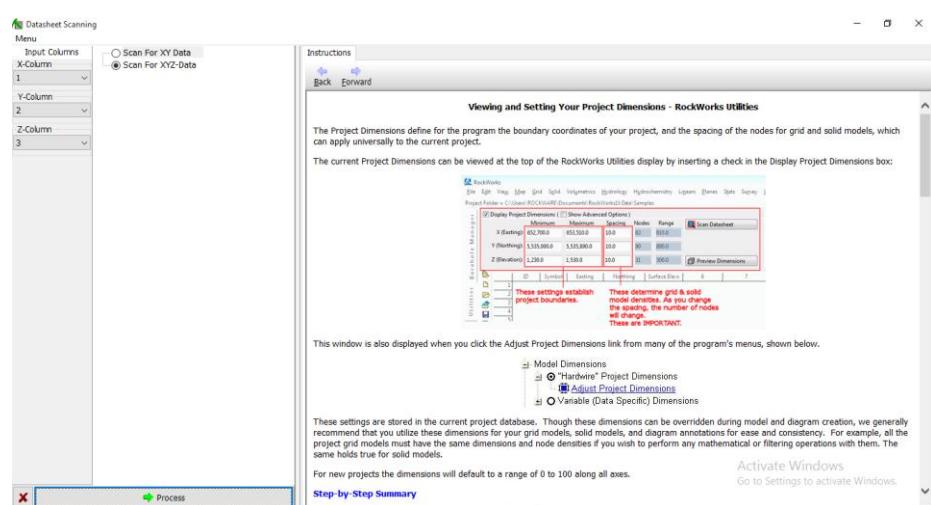
A. Pemodelan 3D Persebaran Nilai Faktor Amplifikasi (Ag)

1. Dibuka *software Rockwork v.15*, dipilih halaman *Utilities* dan dimasukkan data berupa *latitude*, *longitude*, kedalaman, dan faktor amplifikasi (Ag) pada masing-masing kolom secara berurutan, kemudian simpan dalam format .atd.

The screenshot shows the Rockwork v.15 software interface. The title bar reads "RockWorks15 Complete - Revision 2009.10.27 - (C) Copyright 1983-2009 by RockWare Incorporated". The menu bar includes File, Edit, View, Map, Grid, Solid, Volumetrics, Hydrogeology, Hydrochemistry, Liners, Planes, Statistics, Survey, Coords, Widgets, Grafis, Tools, Window, Help. The Project Folder is set to C:\User\lauus\Documents\RockWorks15 Data\New Project (2). The Utilities tab is selected. A 'Borehole Manager' section is visible on the left. In the center, there's a 'Display Project Dimensions' dialog box with checkboxes for 'Show Advanced Options' and 'Scan Datasheet'. It lists X (Easting), Y (Northing), and Z (Elevation) coordinates. Below it is a large table with columns for Row#, X, Y, Z, and other numerical values. The status bar at the bottom shows "Activate Windows", "MS Access (Jet) 34%", and "Column: 1 Row: 1 Total Rows: 3,000 D:\data_rockwork\daten.atd".

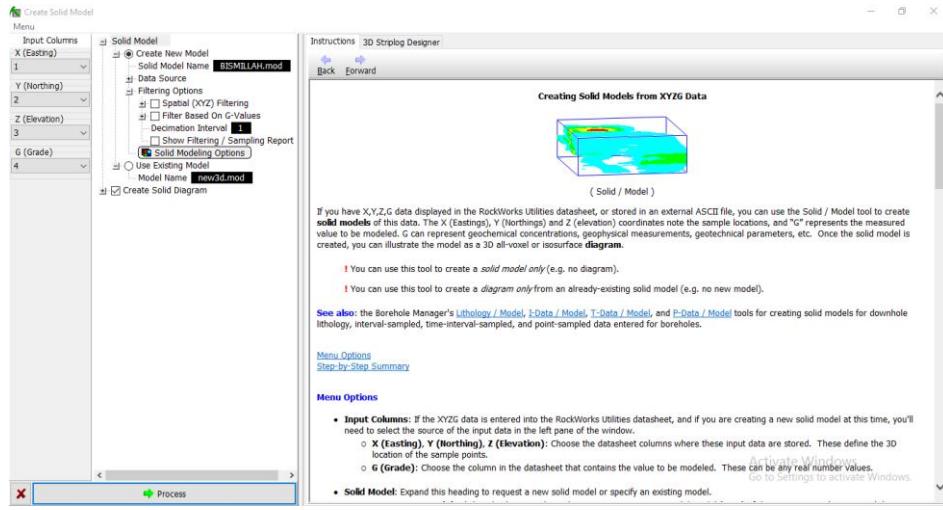
Gambar L33. Tampilan datasheet di software Rockwork v.15.

2. Klik *Scan Datasheet*, kemudian pilih *Scan for XYZ-Data* dan klik *Process*.



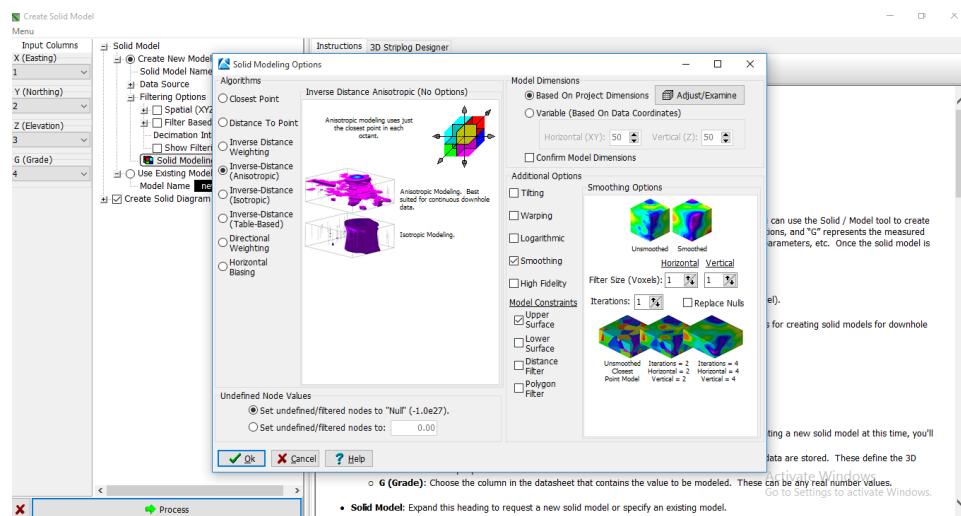
Gambar L34. Tampilan Proses Data Scanning.

3. Dipilih menu *Solid* dan klik *Model*, maka akan muncul tampilan seperti pada Gambar L35.



Gambar L35. Tampilan pembuatan *solid model*.

4. Pada pilihan *solid model*, dipilih *create new model* (dibuat pemodelan baru), lalu disimpan file pada *Solid Model Name* dalam format .mod.
5. Klik pada pilihan *Solid Modeling Option*, pilih *Smoothing* dan klik *OK* kemudian akhiri dengan klik *Process*.



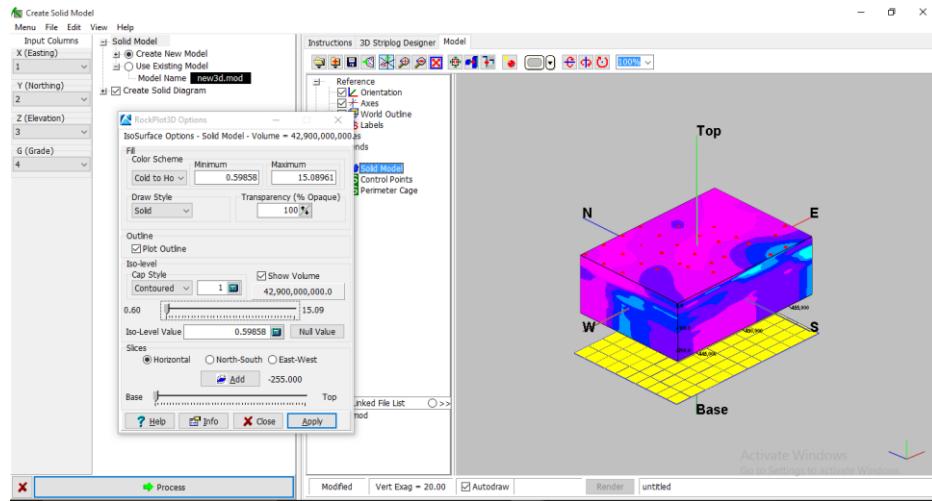
Gambar L36. Tampilan menu untuk pemilihan model 3D.

6. Kemudian akan muncul pemodelan 3D *Solid Model Amplification* seperti pada

Gambar L37.

7. Disimpan hasil pemodelan dalam format PNG dengan klik *Export* pada menu

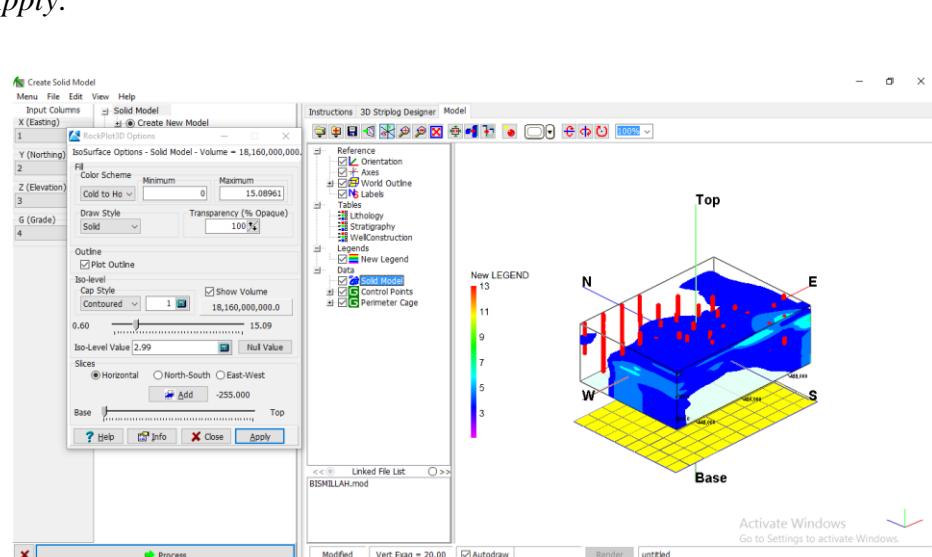
File.



Gambar L37. Hasil pemodelan 3D *Solid Model Amplification*.

8. Diklasifikasikan persebaran nilai amplifikasi dengan klik kanan pada *Solid Model* dan diubah skala nilai amplifikasi berdasarkan Tabel 2, kemudian klik

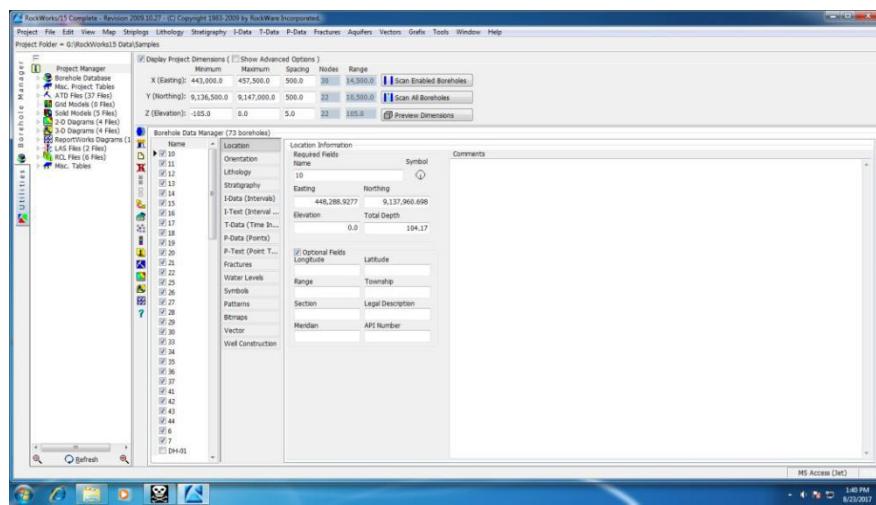
Apply.



Gambar L38. Hasil pemodelan 3D klasifikasi amplifikasi rendah (nilai $Ag < 3$).

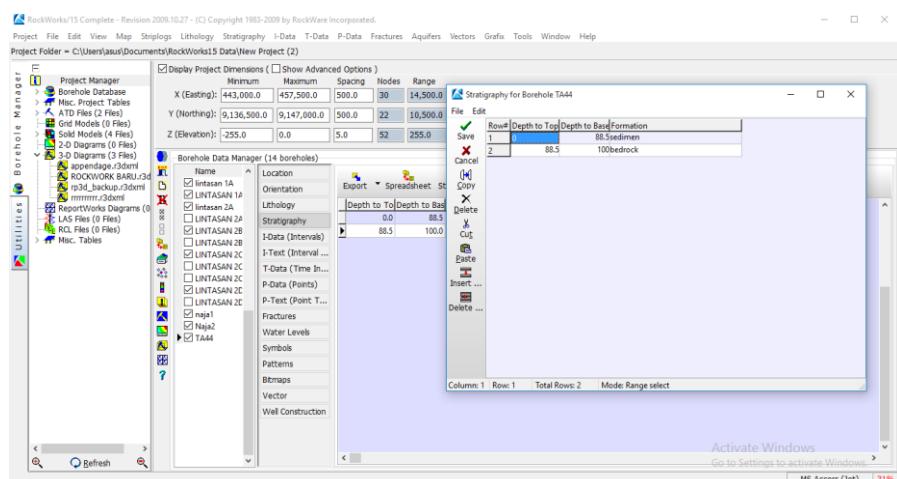
B. Pemodelan 3D Lapisan Sedimen dan Lapisan *Bedrock*

1. Dibuka software *Rockwork v.15*, dipilih halaman *Boreholes* dan diisi data *location* di kolom *Borehole*.



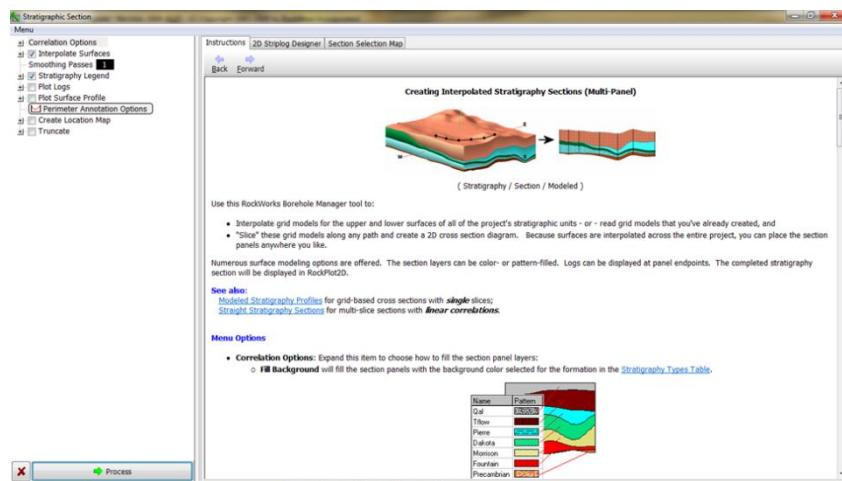
Gambar L39. Tampilan pengisian kolom *borehole* untuk data lokasi

2. Diisi data *Stratigraphy* di kolom *borehole* dan dipilih dua jenis lapisan (lapisan sedimen dan lapisan *bedrock*) dengan cara membuka pengaturan pada *Stratigraphy Types*.



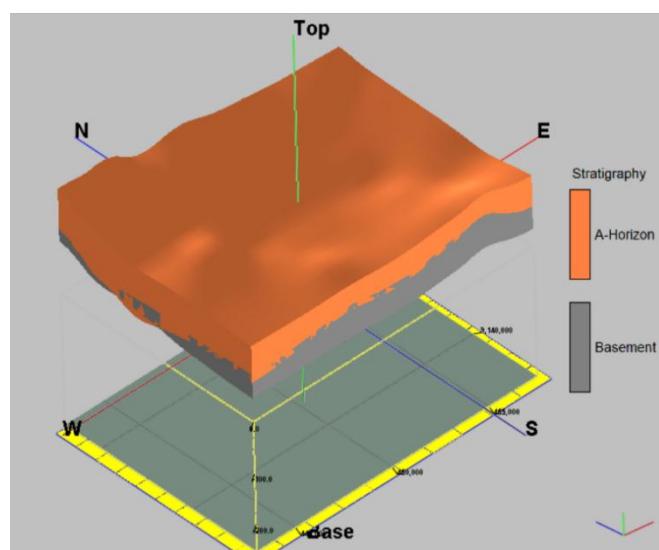
Gambar L40. Tampilan pengaturan di *Stratigraphy Types*.

3. Diisi data pada kolom *Location* dan *Stratigraphy* untuk semua titik pengukuran, kemudian klik *Scan Enabled Boreholes*.
4. Klik menu *Stratigraphy* dan pilih *Model*, maka akan muncul seperti yang ditunjukkan Gambar L41.



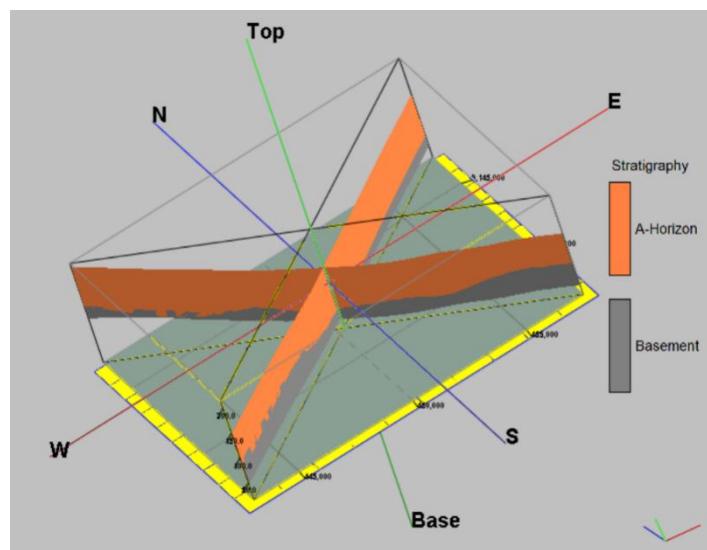
Gambar L41. Tampilan menu pengaturan.

5. Diatur pemodelan dengan memilih *Interpolate Surface* dan *Gridding*, kemudian klik *Process* dan akan muncul tampilan seperti gambar L42.



Gambar L42. Tampilan hasil pemodelan 3D lapisan sedimen dan *bedrock*.

6. Dilakukan sayatan hasil pemodelan 3D dengan cara memilih menu *Stratigraphy*, kemudian dipilih *Section – Modeled* dan dipilih model sayatan yang disesuaikan dengan persebaran titik pengukuran (*cross-X*), kemudian pilih *Process*.



Gambar L43. Tampilan hasil sayatan pemodelan 3D lapisan sedimen dan *bedrock*.

LAMPIRAN VII
DOKUMENTASI PENGAMBILAN DATA



“Halaman ini sengaja dikosongkan.”