

TUGAS AKHIR

IDENTIFIKASI TEBAL LAPISAN SEDIMEN DAN BATUAN DASAR (*BEDROCK*) DI KAPANEWON BERBAH KABUPATEN SLEMAN DENGAN MIKROTREMOR DI LAPANGAN (*IDENTIFICATION OF THICK SEDIMENT AND BEDROCK LAYERS IN BERBAH DISTRICT, SLEMAN REGENCY USING FIELD MICROTREMOR DATA*)

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**



**Muhammad Kevin Fadhilul Azyam
19511240**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2023**

TUGAS AKHIR

**IDENTIFIKASI TEBAL LAPISAN SEDIMEN DAN
LAPISAN BATUAN DASAR (*BEDROCK*) DI
KAPANEWON BERBAH KABUPATEN SLEMAN
DENGAN MIKROTREMOR DI LAPANGAN
MIKROTREMOR DI LAPANGAN
(*IDENTIFICATION OF THICK SEDIMENT AND
BEDROCK LAYERS IN BERBAH DISTRICT, SLEMAN
REGENCY USING FIELD MICROTREMOR DATA*)**

Disusun Oleh

Muhammad Kevin Fadhilul Azyam
19511240

Telah Diterima sebagai salah satu persyaratan
Untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil



Diuji pada tanggal
Oleh Dewan Penguji
Penguji I

Pembimbing 02/5/2023

Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T
NIP : 18511304

Penguji I

Malik Mushtofa, S.T., M.Eng
NIP : 18511302

Penguji II

Jafar, S.T., MURPI, M.T
NIP : 18511305

Mengesahkan



Program Studi Teknik Sipil

M. Y. Muntafi, S.T., M.T., Ph.D
NIP : 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundangundangan yang berlaku.

Yogyakarta, 6 April 2023

Yang membuat pernyataan



METERAI
TEMPEL
10000
BEKAAKX353748401

Muhammad Kevin Fadhilul Azyam

19511240

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil'aalaamiin, Puji syukur kehadiran Allah SWT atas rahmat dan karunianya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Identifikasi Tebal Lapisan Sedimen dan Lapisan Batuan Dasar (*Bedrock*) Di Kapanewon Berbah Kabupaten Sleman Dengan Mikrotremor Di Lapangan”. Selawat serta salam selalu terlimpahkan kepada junjungan kita, Nabi Muhammad SAW, yang kita nantikan syafaatnya kelak di *yaumul qiyamah*. Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini banyak hambatan yang dihadapi penulis, namun berkat saran, kritik, serta dengan dorongan semangat dari berbagai pihak penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Berkaitan dengan itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

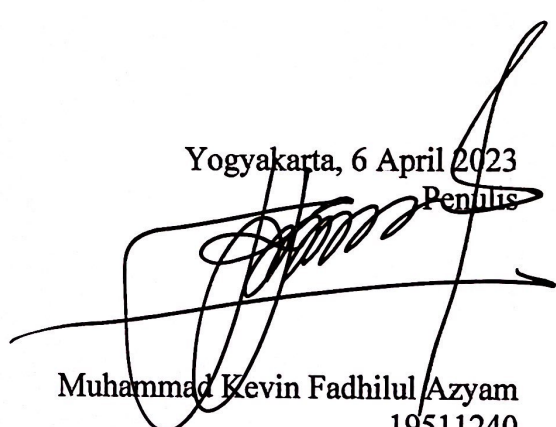
1. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta,
2. Bapak Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah banyak membimbing, memberikan nasihat, saran dan dorongan dalam pengerjaan Tugas Akhir hingga selesai,
3. Bapak Abdulloh Alwy, S.Pd, ibu Laily Umadiyah, S.Pd, dan Adiba Khansa Azzahra, Kedua orang tua serta adik penulis yang telah berkorban begitu banyak baik material maupun spiritual yang menjadikan semangat penulis untuk dapat segera menyelesaikan Tugas Akhir ini,
4. Zanzabila Rehanisya Firdhani, S.Stat. yang selalu memberikan bantuan, menjadi tempat berkeluh kesah, serta memberikan semangat dan dorongan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini,
5. Diinaa Romiizahathuuf H, S.T. partner dalam penelitian ini yang selalu menjadi motivasi untuk dapat mengejar progres Tugas Akhir hingga selesai,

6. Alhilal Mohammad F, Sabila Putri R, S.T, serta teman-teman seperjuangan kuliah “Odading” yang tidak bisa disebutkan satu persatu. Terima kasih selalu mendukung dan membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini,
7. Raihan Prasetya A, S.T dan Whisnu Wikan W yang telah mendampingi, memberikan banyak masukan dan motivasi hingga penulis dapat menyelesainya Tugas Akhir ini,
8. Fandika Ahmad Dwi S, Trio Gati Putra P, dan teman – teman kepanitiaan yang banyak memberikan support, serta teman – teman Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil 2021/2022 yang telah memberikan waktu agar dapat menyelesaikan Tugas Akhir,
9. Semua teman – teman yang sudah meluangkan waktu siang malam dalam membantu pengambilan data mikrotremor di lapangan

Akhirnya penulis berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang membacanya.

Yogyakarta, 6 April 2023

Penulis



Muhammad Kevin Fadhilul Azyam
19511240

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xiii
ABSTRAK	xv
ABSTRACT	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan masalah	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Tinjauan Umum	4
2.1.1 Estimasi Ketebalan Lapisan Sedimen Menggunakan Metode Mikrotremor	4
2.1.2 Identifikasi Lapisan Sedimen dan Bedrock Menggunakan Metode Mikrotremor	7
2.1.3 Pemetaan Ketebalan Sedimen Menggunakan Metode Mikrotremor	10
2.1.4 Karakteristik Lapisan Sedimen Berdasarkan Data Mikrotremor	11

2.2 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan	12
BAB III LANDASAN TEORI	16
3.1 Gempa Bumi	16
3.2 Gelombang Seismik	18
3.3 Seismograf	19
3.4 Metode HVSR	20
3.5 Uji Outlier	21
3.6 Site Effect	21
3.7 Faktor Amplifikasi	23
3.8 Frekuensi Dominan	25
3.9 Indeks Kerentanan Seismik	26
3.10 Ketebalan Sedimen	26
3.11 Kondisi Geologis Daerah Penelitian	27
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN	29
4.1 Lokasi Penelitian	29
4.2 Peralatan	29
4.3 Teknik Pengumpulan Data	31
4.4 Pengolahan Data	34
4.4.1 Pengolahan Data Mikrotremor	34
4.4.2 Perhitungan Ketebalan Sedimen (h)	36
4.4.3 Analisis Mikrozonasi	36
4.4.4 Analisis Penampang Seismik Kurva H/V	37
4.4.5 Pemodelan 3 Dimensi	37
4.5 Diagram Alur Penelitian	39
BAB V ANALISIS, HASIL DAN PEMBAHASAN	40
5.1 Uji Outlier	41
5.2 Analisis Data Mikrotremor	44
5.3 Inversi Kurva HVSR	47
5.4 Analisa Nilai Faktor Amplifikasi Tanah (A_g)	51
5.5 Analisa Nilai Frekuensi Dominan Tanah (F_g)	54

5.6	Analisa Nilai Indeks Kerentanan Seimik (Kg)	57
5.7	Analisa Ketebalan Sedimen (h)	59
5.8	Model 3D Lapisan Sedimen dan Bedrock	62
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		65
6.1	Kesimpulan	65
6.2	Saran	66
DAFTAR PUSTAKA		67



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang akan dilakukan	13
Tabel 3.1	Klasifikasi Nilai Faktor Amplifikasi	24
Tabel 3.2	Klasifikasi Tanah Berdasarkan Nilai Frekuensi Dominan	25
Tabel 4.1	Syarat teknis survei mikrotremor	33
Tabel 5.1	Analisa <i>Outlier Ag</i>	42
Tabel 5.2	Analisa <i>Outlier Fg</i>	43
Tabel 5.3	Rekapitulasi Nilai Vs Titik 14	49
Tabel 5.4	Rekapitulasi Nilai Vs30 di Kapanewon Berbah	49
Tabel 5.5	Nilai Amplifikasi Tanah (<i>Ag</i>) di Kapanewon Berbah	51
Tabel 5.6	Nilai Frekuensi Dominan Tanah (<i>Fg</i>) di Kapanewon Berbah	54
Tabel 5.7	Nilai Indeks Kerentanan Seismik (<i>Kg</i>) di Kapanewon Berbah	57
Tabel 5.8	Tebal Lapisan Sedimen (<i>h</i>) di Kapanewon Berbah	61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Peta persebaran Nilai Amplifikasi Desa Olak Alen	5
Gambar 2.2	Peta persebaran frekuensi Natural Desa Olak Alen	6
Gambar 2.3	Peta kontur ketebalan sedimen	7
Gambar 2.4	Peta Persebaran Frekuensi Dominan (f_0)	8
Gambar 2.5	Peta Persebaran Faktor Amplifikasi Tanah (A_g)	9
Gambar 2.6	(a) Model 3D Lapisan Sedimen Bedrock (b) Model Sayatan Lapisan Bedrock (c) Model 3D Lapisan Sedimen (d) Model 3D Lapisan Bedrock	9
Gambar 2.7	Peta ketebalan sedimen iska Alluvian fan	10
Gambar 2.8	Peta persebaran frekuensi dominan RSP Unila (f_0)	11
Gambar 2.9	Peta persebaran periode dominan RSP Unila (T_0)	12
Gambar 2.10	Peta persebaran nilai amplifikasi RSP Unila (A_g)	12
Gambar 3.1	Peta lempeng dunia	17
Gambar 3.2	Tipe Interaksi Antar Lempeng.	17
Gambar 3.3	Jenis jenis gelombang	19
Gambar 3.4	Seismograf dan Seismometer	20
Gambar 3.5	Model cekungan yang berisi material sedimen	23
Gambar 3.6	Konsep dasar amplifikasi gelombang seismik	24
Gambar 3.7	Model dua lapisan: <i>bedrock</i> dan sedimen	27
Gambar 3.8	Peta Geologi Lembar Yogyakarta dan Daerah Penelitian	28
Gambar 4.1	Lokasi penelitian Kapanewon Berbah	29
Gambar 4.2	Peralatan yang digunakan dalam penelitian	31
Gambar 4.3	Persebaran titik pengambilan data Mikrotremor	32
Gambar 4.4	Sinyal mikrotremor tiga komponen	34
Gambar 4.5	<i>Windowing</i> sinyal pada <i>software Sesarray-Geopsy</i>	35
Gambar 4.6	Grafik Kurva HVSR	36
Gambar 4.7	Peta Mikrozonasi	36

Gambar 4.8	Penampang Seismik Kurva H/V	37
Gambar 4.9	Permodelan Persebaran nilai Amplifikasi (A_g) dalam 3D	38
Gambar 4.10	Permodelan lapisan sedimen dan <i>Bedrock</i> secara 3D	38
Gambar 4.11	Diagram Alur Penelitian	39
Gambar 5.1	Kondisi Titik 29 dengan Mayoritas Bangunan Beton	41
Gambar 5.2	Kondisi Titik 30 dengan Mayoritas Tanah Lunak Persawahan	41
Gambar 5.3	Peta Persebaran Titik Pengukuran Mikrotremor	44
Gambar 5.4	Grafik Seismogram Hasil Perekaman Mikrotremor Titik 14	45
Gambar 5.5	Filtering Options untuk Windowing Sinyal Mikrotremor Titik 14	46
Gambar 5.6	Windowing Sinyal Mikrotremor Titik 14	46
Gambar 5.7	Grafik Kurva HVSR Titik 14	46
Gambar 5.8	Grafik Kurva HVSR Titik 14 Setelah Filterisasi	47
Gambar 5.9	Tampilan Dinver Titik 14	48
Gambar 5.10	<i>Ground Profile Vs</i> Titik 14	48
Gambar 5.11	Peta Persebaran Nilai Faktor Amplifikasi Tanah (A_g)	53
Gambar 5.12	Peta Persebaran Frekuensi Dominan Tanah (F_g)	56
Gambar 5.13	Peta Persebaran Nilai Indeks Kerentanan Seismik (K_g)	59
Gambar 5.14	Peta Persebaran Ketebalan Sedimen (h)	60
Gambar 5.15	Model 3D Lapisan Sedimen dan <i>Bedrock</i>	62
Gambar 5.16	Tampak Samping Model Lapisan Sedimen dan <i>Bedrock</i>	63
Gambar 5.17	Model 3D Lapisan Sedimen	63
Gambar 5.18	Model 3D Lapisan <i>Bedrock</i>	64

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Gambar Kurva HVSR	71
Lampiran 2 Grafik Inversi Kurva HVSR	84
Lampiran 3 Peta Geologi Yogyakarta	96
Lampiran 4 Dokumentasi Penelitian	97
Lampiran 5 Surat Izin Penelitian di Kapanewon Berbah	101
Lampiran 6 Balasan Surat Perizinan Penelitian dari Kapanewon Berbah	102



DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

LS	= Lintang Selatan
BT	= Bujur Timur
T_{SITE}	= <i>Site effect</i>
HVSR	= <i>Horizontal to vertical Spectral Ration</i>
T_H	= Faktor amplifikasi dari gerakan Horizontal
T_V	= Faktor amplifikasi dari gerakan Vertikal
S_{HS}	= Spektrum komponen gerak horizontal pada permukaan tanah
S_{HB}	= Spektrum komponen gerak horizontal pada dasar lapisan tanah
S_{VS}	= Spektrum komponen gerak vertikal sinyal mikrotremor pada permukaan tanah
S_{VB}	= Spektrum komponen gerak vertikal sinyal pada dasar lapisan tanah
FFT	= <i>Fast Fourier Transfor</i>
$S_{utara-selatan}$	= Gelombang seismik horizontal utara-selatan
$S_{barat-timur}$	= Gelombang seismik horizontal barat-timur
$S_{vertikal}$	= Gelombang seismik vertikal
\bar{X}	= Nilai Rata – Rata Data
$\sum X$	= Nilai dari Jumlah Data
n	= Banyaknya Data ke – n
x_i	= Da
A_g	= Nilai Amplifikasi
ρ_b	= Nilai dentitas batuan dasar (gr/ml)
ρ_s	= Nilai dentitas batuan lunak (gr/ml),
\mathcal{V}_b	= Nilai cepat rambat gelombang dari batuan dasar (m/dt)
\mathcal{V}_s	= Nilai cepat rambat gelombang pada batuan lunak (m/dt)
f_g	= Nilai dari frekuensi Dominan
K_g	= Nilai indeks kerentanan seismik

V_s = Kecepatan rata-rata gelombang
h = Ketebalah sedimen
ADC = *Analog to Digital Converter*



ABSTRAK

Tanah dengan lapisan tebal dan lunak dapat meningkatkan faktor amplifikasi gelombang gempa bumi dengan kata lain ketebalan sedimen sangat mempengaruhi besar kecilnya guncangan gempa bumi. Salah satu untuk meminimalisir dampak yang disebabkan bencana gempa bumi adalah dengan melakukan mitigasi berupa penelitian untuk mengidentifikasi lapisan sedimen menggunakan parameter nilai faktor amplifikasi (A_g), frekuensi dominan (f_g), indeks kerentanan seismik (K_g), dan ketebalan sedimen (h) dari data mikrotremor. Pengukuran mikrotremor dilakukan dengan bantuan alat *Lunitek Digital Seismic Sensor Triton 5s* pada 36 titik yang tersebar di Kapanewon Berbah. Data hasil perekaman mikrotremor tersebut dianalisis dengan metode HVSr (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) untuk mendapatkan kurva H/V yang merepresentasikan nilai A_g dan F_g , kemudian kurva H/V di inversi untuk mendapatkan nilai V_s untuk memperoleh nilai h pada daerah tersebut.

Hasil dari penelitian didapatkan nilai A_g berkisar antara 1,621 – 7,549 dengan sebagian besar daerah penelitian termasuk kedalam zona sedang dan tinggi. Nilai F_g berkisar antara 0,581 Hz – 3,523 Hz dengan rata-rata $f_g < 2,5$ Hz atau termasuk rendah. Nilai K_g berkisar antara 1,8602 – 91,0996 yang tersebar pada daerah penelitian dengan sebagian besar termasuk dalam zona bahaya. Nilai V_s rata-rata 203,21 m/s sampai dengan 397,04 m/s, sehingga diperoleh tebal lapisan sedimen (h) pada daerah penelitian 19,67 meter sampai dengan 158,68 meter. Ketebalan sedimen atau lapisan lunak pada sisi barat sangat tebal dan lapisan *bedrock* atau batuan dasar tipis. Berbeda dengan daerah penelitian sisi timur yang ketebalan sedimennya lebih tipis karena didominasi oleh *bedrock* atau batuan dasar yang lebih tebal.

Kata Kunci: Sedimen, *Bedrock*, *Ellipticity Curve*, Berbah, Mikrotremor

ABSTRACT

Soil with a thick and soft layer can increase the amplification factor of earthquake waves, in other words, the thickness of the sediment greatly affects the size of the earthquake shock. One way to minimize the impact caused by earthquakes is to carry out mitigation in the form of research to identify sediment layers using the parameters amplification factor (A_g), dominant frequency (f_g), seismic vulnerability index (K_g), and sediment thickness (h) from data microtremor. Microtremor measurements were carried out with the help of the Lunitek Digital Seismic Sensor Triton 5s at 36 points spread across Kapanewon Berbah. The data from the microtremor recordings were analyzed using the HVSr (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) method to obtain the H/V curve representing the A_g and F_g values, then the H/V curve was inverted to obtain the V_s value to obtain the h value in that area.

The results of the study obtained A_g values ranging from 1,621 – 7,549 with most of the study areas belonging to the medium and high zones. F_g values range from 0,581 Hz – 3,523 Hz with an average $f_g < 2.5$ Hz or low. K_g values range from 1,8602 – 91,0996 which are spread over the study area with most of them included in the hazard zone. The average V_s value is 203,21 m/s to 397,04 m/s, so a thick layer of sediment (h) is obtained in the study area of 19,67 meters to 158,68 +meters. The sedimentary bed or soft layer on the west side is very thick and the bedrock or bedrock layer is thin. In contrast to the east side of the study area, the thickness of the sediment is thinner because it is dominated by thicker bedrock or bedrock.

Kata Kunci: Sediment, Bedrock, *Ellipticity Curve*, Berbah, mikrotremor

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Secara geologis, Indonesia merupakan negara yang berada pada jalur cincin gunung api pasifik yang rawan terjadi aktivitas seismik. Indonesia juga merupakan wilayah dengan pertemuan tiga lempeng besar aktif dunia, yaitu Lempeng Indo-Australia, Eurasia, Pasifik. Posisi geografis ini menyebabkan timbulnya interaksi penunjaman antar lempeng yang disebut subduksi.

Wilayah dengan adanya zona subduksi menyebabkan daerah tersebut memiliki tingkat kegempaan yang tinggi. Zona subduksi di Indonesia salah satunya di selatan Jawa yang merupakan pertemuan antara pergerakan Lempeng Indo-Australia yang relatif bergerak ke Utara bertumbukan dengan Lempeng Eurasia yang relatif diam, contohnya adalah wilayah Yogyakarta. Daerah ini merupakan daerah rawan terhadap bencana gempa bumi karena aktivitas pergerakan lempeng. Selain itu, daerah ini juga rawan karena terdapatnya aktivitas sesar lokal, salah satunya adalah Sesar Opak yang menyebabkan gempa bumi pada 27 Mei 2006.

Gempa tersebut berkekuatan 6,3 SR selama 57 detik dengan episenter pusat gempa di $7,961^{\circ}$ LS – $110,446^{\circ}$ BT atau pada 37 km selatan Yogyakarta dengan kedalaman 33 km dibawah permukaan laut. Data total 5.716 korban jiwa yang terjadi karena gempa Yogyakarta 2006, korban luka sebanyak 37.927, sebanyak 156.662 rumah hancur total dan 202.031 rusak, ditaksir kerugian atas bencana ini adalah US\$ 3.134 (BAPPENAS, 2006). Gempa ini tidak hanya menimpa Daerah Yogyakarta saja melainkan juga daerah sekitarnya seperti Boyolali, Klaten, Surakarta, dan daerah lain di daerah Yogyakarta. Kapanewon Berbah merupakan wilayah paling parah di Kabupaten Sleman dengan jumlah korban tewas sebanyak 83 orang, luka berat sebanyak 307 orang, luka sedang 166 orang, luka ringan sebanyak 1.607 orang, kerusakan bangunan sebanyak 2.014 rata dengan tanah,

3.628 rusak berat, 839 rusak sedang, dan 2.508 rusak ringan (CIPTAKARYA, 2006).

Kapanewon Berbah merupakan daerah dengan formasi geologi berupa formasi Merapi Muda, batuan merapi tua, endapan material vulkanik merapi yang tersusun atas aluvial, breksi *agglomerate*, dan tuff, dimana material tersebut adalah hasil dari sedimentasi. Tebal dari lapisan sedimen ini merupakan salah satu faktor penyebab terjadinya *local site effect*. *Local site effect* merupakan sesuatu yang membahas mengenai pengaruh kondisi geologi daerah sekitar terhadap getaran tanah akibat dari gempa bumi. Daerah yang mempunyai kondisi geologi berupa tuff berpotensi bahaya berlebih terhadap efek getaran tanah karena amplifikasi dan interaksi getaran tanahnya (Nakamura, 2000). Nilai dari faktor amplifikasi (penguatan) tanah berhubungan dengan rasio kontras impedansi lapisan permukaan terhadap lapisan di bawahnya. Semakin tinggi rasio kontras impedansi dari dua lapisan tersebut, semakin tinggi juga nilai faktor amplifikasinya (Nakamura, 2000).

Tingginya nilai amplifikasi ini mempunyai potensi menimbulkan kerusakan pada bangunan disekitarnya. Maka dari itu perlu dilakukan identifikasi karakteristik dinamika tanah meliputi faktor amplifikasi, frekuensi dominan, nilai kerentanan seismik dan ketebalan sedimen. Tujuan dari penelitian ini kedepannya supaya dapat menjadi informasi dan landasan dalam mitigasi gempa bumi pada wilayah tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka rumusan masalah yang akan diangkat adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana persebaran nilai faktor amplifikasi (A_g), faktor dominan (f_g), dan nilai indeks kerentanan seismik (K_g) pada lokasi penelitian?
2. Bagaimana tebal lapisan sedimen (h) pada daerah tersebut?
3. Bagaimana hasil identifikasi lapisan sedimen dan lapisan batuan dasar berdasarkan persebaran nilai faktor amplifikasi (A_g) faktor Dominan (f_0), dan nilai indeks kerentanan seismik (K_g) di Kapanewon Berbah, Kabupaten Sleman?

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah, maka tujuan yang akan dicapai adalah sebagai berikut.

1. Untuk menentukan persebaran nilai faktor amplifikasi (A_g), faktor Dominan (f_0), dan nilai indeks kerentanan seismik (K_g) pada lokasi penelitian di Kapanewon Berbah Kabupaten Sleman.
2. Untuk mengetahui tebal lapisan sedimen pada daerah penelitian
3. Untuk mengidentifikasi lapisan sedimen dan lapisan batuan dasar berdasarkan persebaran nilai faktor amplifikasi (A_g) faktor Dominan (f_0), dan nilai indeks kerentanan seismik (K_g) di Kapanewon Berbah, Kabupaten Sleman.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Memberikan gambaran dan informasi terkait identifikasi lapisan sedimen dan batuan dasar di Kapanewon Berbah Kabupaten Sleman yang dapat dijadikan untuk mitigasi bencana gempa bumi.
2. Dapat menjadi acuan dasar pembangunan infrastruktur untuk meminimalisir kerusakan yang diakibatkan gempa bumi di Kapanewon Berbah Kabupaten Sleman.
3. Menjadi bahan literatur dan referensi untuk penelitian selanjutnya.

1.5 Batasan masalah

Penelitian ini dibatasi sebagai berikut.

1. Lokasi penelitian terletak pada Kapanewon Berbah, Kabupaten Sleman, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta.
2. Pengambilan data mikrotremor mengacu pada aturan yang ditetapkan oleh *SESAME European Research Project* (SESAME, 2004).
3. Data mikrotremor diukur menggunakan *Digital Portable Seismograph Triton 5s*.
4. Penentuan titik menggunakan *grid* dengan interval antar titik sejauh ± 1 km dan menghasilkan titik penelitian sebanyak 36 titik.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

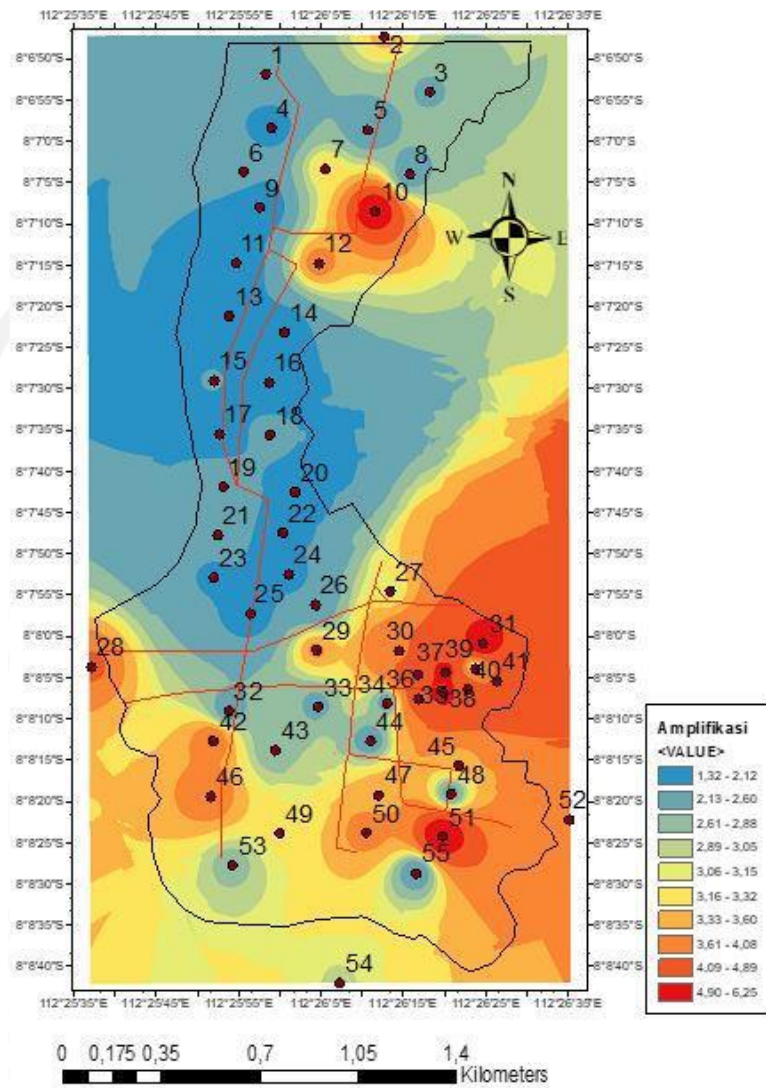
2.1 Tinjauan Umum

Dalam melakukan penelitian ini, dilakukan tinjauan terhadap penelitian penelitian terdahulu dan diperlukan teori-teori yang dapat dipertanggungjawabkan baik dari sumber data dan isinya. Penelitian tersebut mencakup 3 penelitian sebelumnya dengan topik terkait penelitian ini.

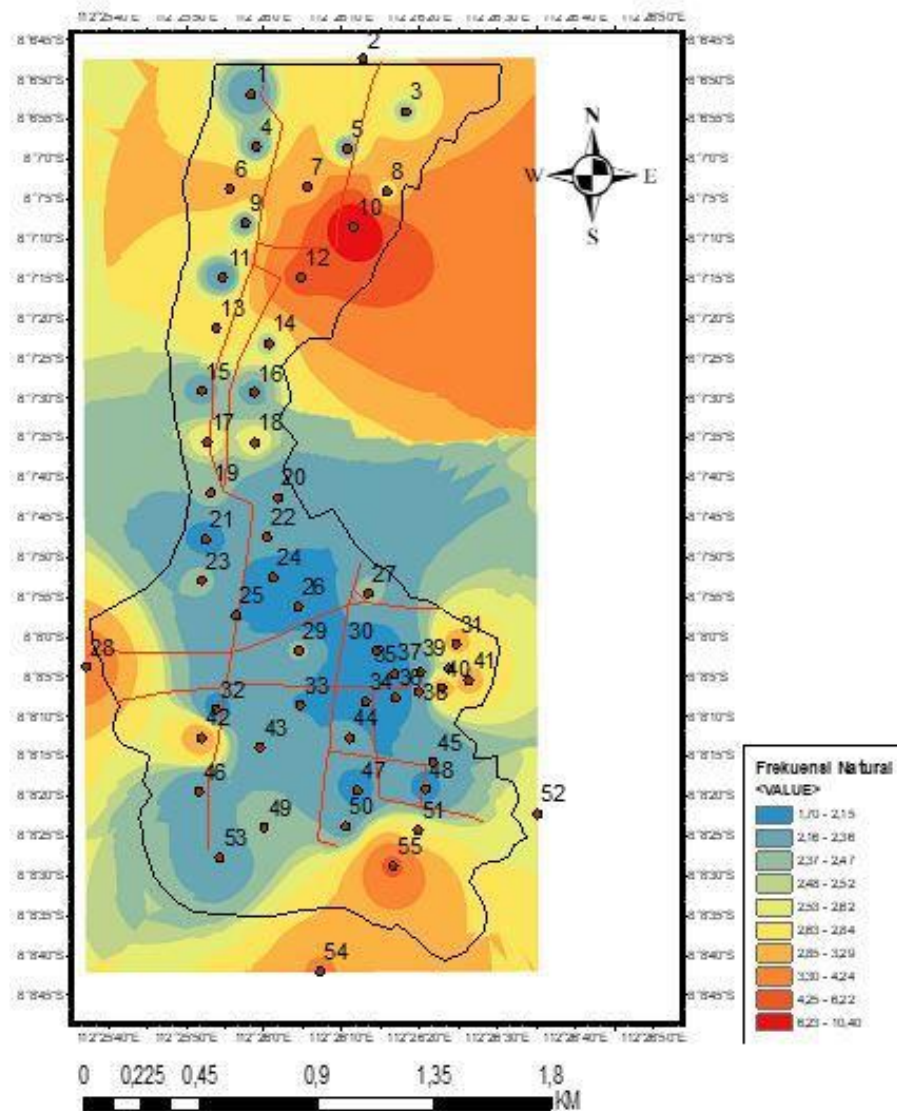
2.1.1 Estimasi Ketebalan Lapisan Sedimen Menggunakan Metode Mikrotremor

Sitorus (2017) melakukan penelitian mengenai estimasi ketebalan lapisan sedimen dan amplifikasi Desa Olak Alen Blitar menggunakan metode mikrotremor HVSR. Penelitian ini dilakukan akibat terjadinya bencana longsor di daerah tersebut pada Desember 2016. Faktor terjadinya longsor karena daerah bencana tersebut termasuk zona potensi terjadi gerakan tanah menengah berdasarkan Peta Prakiraan Potensi Terjadi Gerakan Tanah pada bulan Desember 2016. Zona potensi gerakan tanah menengah artinya apabila pada daerah ini terjadi curah hujan diatas normal, terutama pada daerah yang berbatasan dengan lembah sungai, gawir, tebing jalan dan lereng akan mengakibatkan gerakan tanah.

Penelitian menggunakan data mikrotremor dengan jumlah titik pengukuran sebanyak 55 titik yang tersebar pada seluruh Desa Olak Alen. Hasil yang dicari dalam penelitian ini adalah nilai faktor amplifikasi (A_g), frekuensi normal (f_0), dan ketebalan lapisan sedimen pada daerah tersebut. Hasil pengolahan data mikrotremor didapat nilai amplifikasi Desa Olak Alen antara 1,3 – 6,2 yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 dan frekuensi normal adalah 1,7 – 10,39 yang ditunjukkan pada Gambar 2.2.

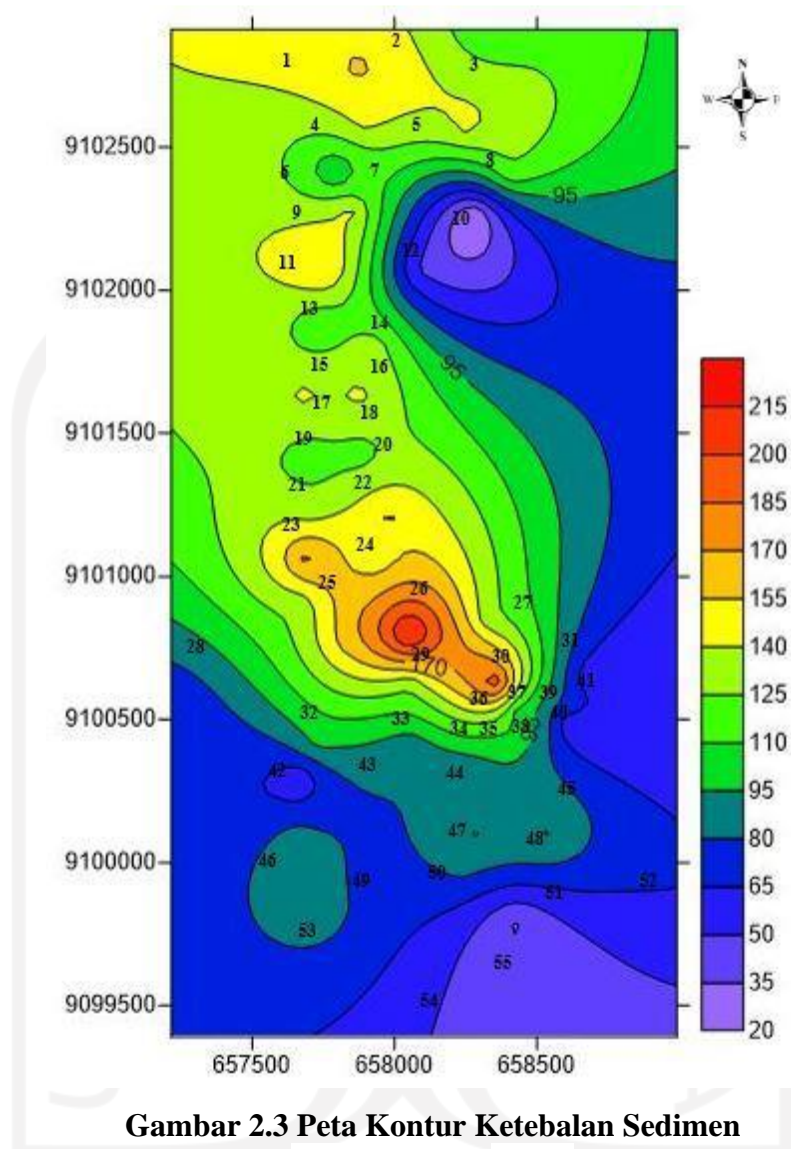


Gambar 2.1 Peta Persebaran Nilai Amplifikasi Desa Olak Alen
(Sumber: Sitorus, 2017)



Gambar 2.2 Peta Persebaran Frekuensi Natural Desa Olak Alen
(Sumber: Sitorus, 2017)

Berdasarkan hasil perhitungan, ketebalan lapisan sedimen berkisar antara 17,03 – 221,39 meter dapat dilihat dalam bentuk kontur pada Gambar 2.3.

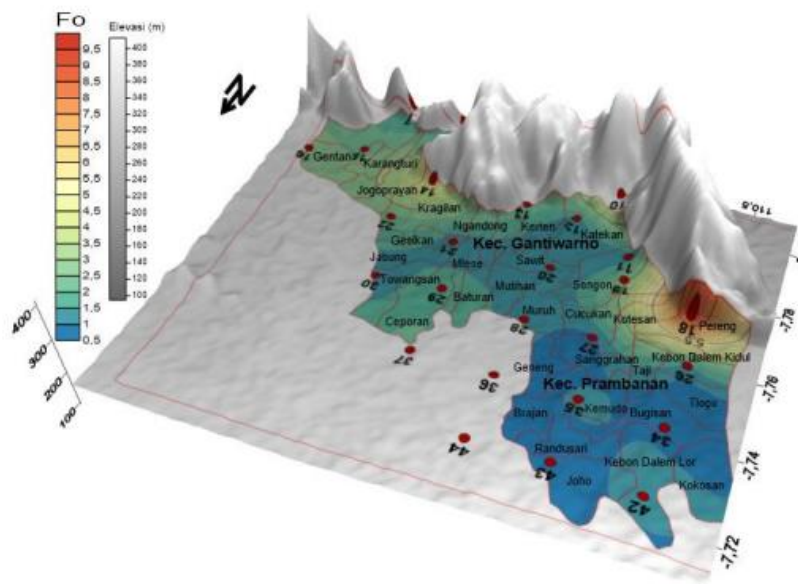


2.1.2 Identifikasi Lapisan Sedimen dan *Bedrock* Menggunakan Metode Mikrotremor

Maslikah (2020) melakukan penelitian tentang identifikasi lapisan sedimen dan lapisan *bedrock* menggunakan metode mikrotremor di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno Kabupaten Klaten. Hal yang mendasari dilakukan penelitian ini adalah adanya gempa Yogyakarta 2006 yang mengakibatkan banyak kerusakan dan korban berjatuhan di daerah tersebut. Faktor lainnya adalah karena daerah tersebut merupakan daerah yang tersusun dari endapan aluvial dengan

material yang bersumber dari proses sedimentasi, dimana ketebalan dari lapisan material sedimen tersebut mempengaruhi terjadinya *local site effect* yang merupakan salah satu faktor terjadinya gempa bumi.

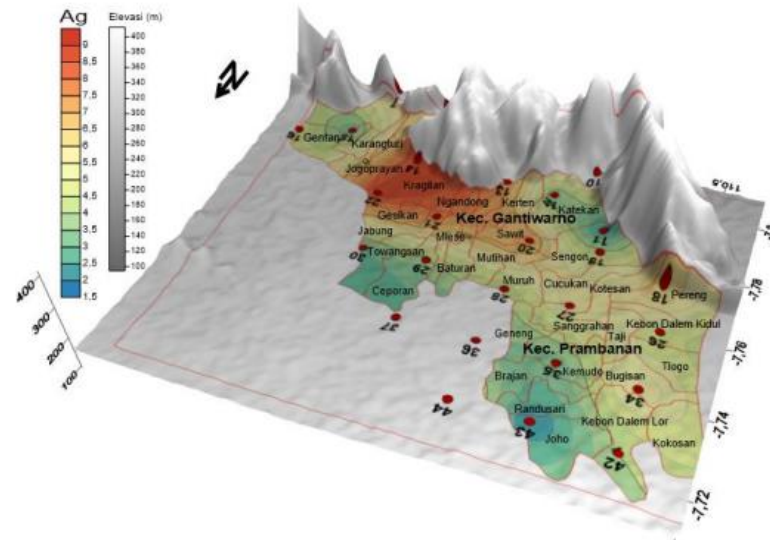
Penelitian ini dilakukan dengan pengambilan data mikrotremor, menggunakan alat *Digital Portable Seismograph* tipe TDL-303S. Pengambilan data dilakukan dengan interval 2 km dan mengambil data pada 29 titik. Hasil yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah untuk mencari nilai frekuensi Dominan (f_0). Berdasarkan hasil pengolahan data mikrotremor didapatkan nilai f_0 berkisar antara 0,7 Hz sampai dengan 9,5 Hz yang ditunjukkan pada Gambar 2.4. Pada Gambar 2.4, dapat dilihat semakin besar nilai f_0 maka ketebalan sedimen akan semakin tipis.



Gambar 2.4 Peta Persebaran Frekuensi Dominan (f_0)

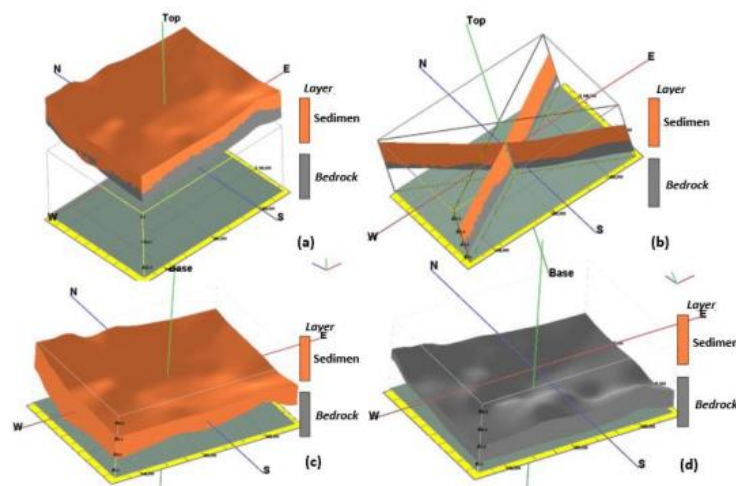
(Sumber: Malikhah, 2020)

Persebaran nilai faktor amplifikasi (A_g) di daerah tersebut, dari penelitian diperoleh nilai faktor amplifikasi berkisar antara 1,79 sampai 9,01 yang ditunjukkan pada Gambar 2.5. Perbedaan nilai tersebut dikarenakan kondisi geologi dan topografi yang berpengaruh pada karakteristik perambatan gelombang.



Gambar 2.5 Peta Persebaran Faktor Amplifikasi Tanah (A_g)
(Sumber: Malikhah, 2020)

Ketebalan sedimen akan memengaruhi bangunan yang ada apabila terjadi gempa, bangunan di atas permukaan akan teramplifikasi. Gambar 2.6 menunjukkan 3D distribusi ketebalan lapisan sedimen dan lapisan *bedrock*, gambar tersebut menunjukkan bahwa daerah tersebut didominasi dengan lapisan sedimen yang cukup tebal.



Gambar 2.6 (a) Model 3D Lapisan Sedimen *Bedrock* (b) Model Sayatan Lapisan *Bedrock* (c) Model 3D Lapisan Sedimen (d) Model 3D Lapisan *Bedrock*

(Sumber: Malikhah, 2020)

2.1.3 Pemetaan Ketebalan Sedimen Menggunakan Metode Mikrotremor

Lovro Rupar et. al (2020) melakukan penelitian mengenai pemetaan ketebalan sedimen kuarter di Slovenia Tengah menggunakan metode mikrometer. Penelitian ini didasari karena daerah Slovenia Tengah merupakan daerah eksploitasi air minum, oleh karena itu eksplorasi relatif baik dilakukan dengan menggunakan lubang bor. Dalam penelitian ini jumlah total pengukuran mikrotremor sebanyak 108 titik dengan menggunakan seismograf *Tromino portable*. Penelitian ini berguna untuk membangun model hidrogeologi yang lebih akurat di daerah tersebut.

Pada peta ketebalan sedimen, kuarter didapat dari hubungan frekuensi dan ketebalan. Pada penelitian ini ketebalan sedimen dihitung pada semua titik penelitian mikrotremor dan diinterpolasikan nilai yang diperoleh dengan *universal spherical kringing*.

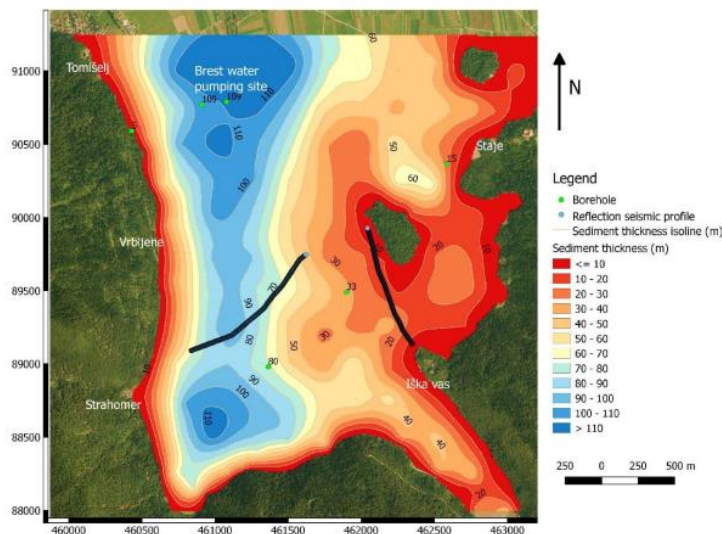


Fig. 8 Map of Quaternary sediment thickness, with boreholes and seismic reflection profiles.

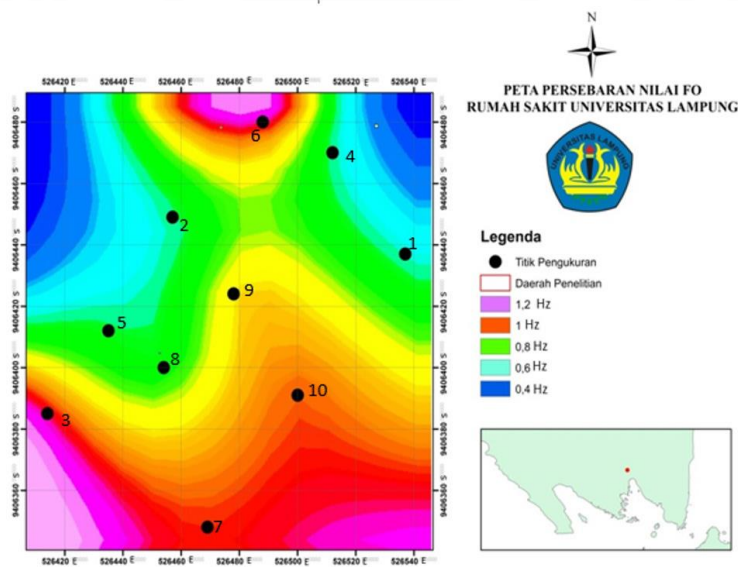
Gambar 2.7 Peta Ketebalan Sedimen Iska Alluvial Fan
(Sumber: Rupar et al, 2020)

Pada Gambar 2.7, peta menunjukkan peningkatan ketebalan dari Timur ke Barat. Lapisan sedimen tertipis berada dipinggiran iska alluvial fan (Slovenia Tengah) sesuai dengan yang diharapkan pada penelitian ini.

2.1.4 Karakteristik Lapisan Sedimen Berdasarkan Data Mikrotremor

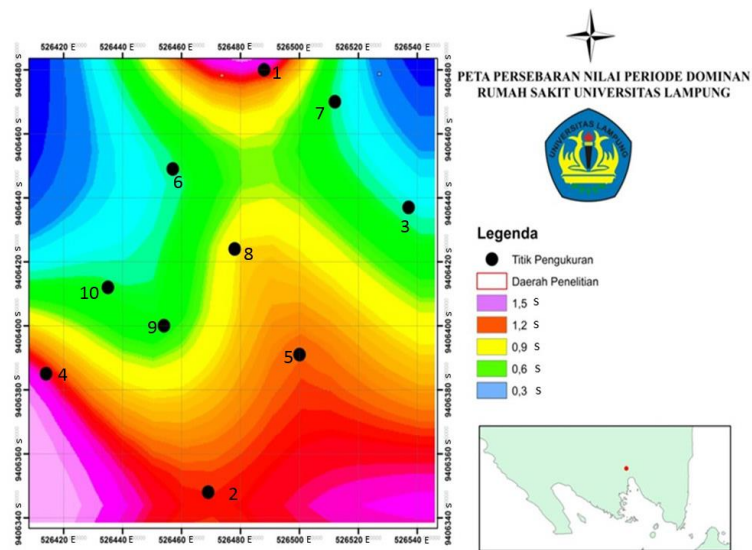
Hesti, Suharno, Mulyasari. R, Hidayatika. A (2021) melakukan penelitian tentang analisis karakteristik lapisan sedimen berdasarkan data mikrotremor di area Rumah Sakit Pendidikan Unila. Latar Belakang yang mendasari penelitian ini adalah mitigasi bencana gempa bumi untuk pembangunan Rumah Sakit Pendidikan Unila agar *sustain*. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengambilan data mikrotremor sebanyak 10 titik dan analisis HVSR.

Dilakukannya penelitian ini adalah untuk menentukan nilai frekuensi dominan (f_0), nilai periode dominan (T_0), dan nilai amplifikasi (A_g). Berdasarkan hasil penelitian tersebut didapatkan frekuensi dominan berkisar antara 0,65 – 1,2 Hz yang menunjukkan ketebalan sedimen > 30 meter yang ditunjukkan pada Gambar 2.8.

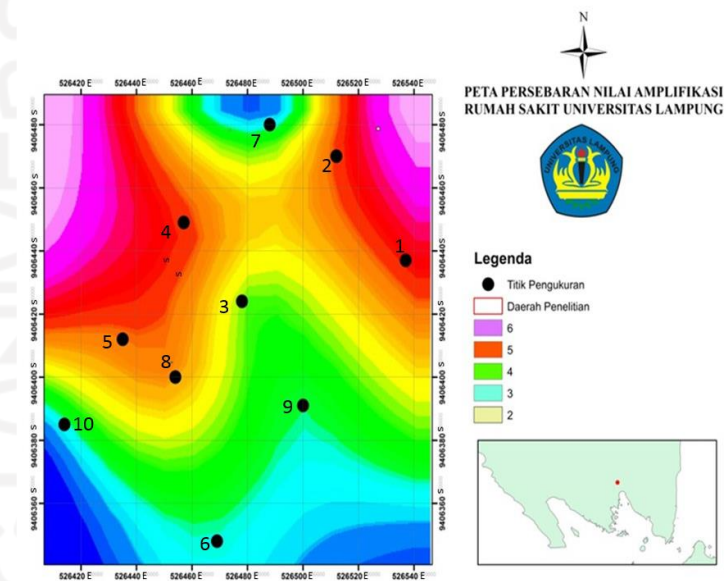


Gambar 2.8 Peta persebaran frekuensi dominan RSP Unila (f_0)
(Sumber: Hesti et al, 2021)

Nilai periode dominan didapat antara 0,6 – 1,5 detik yang ditunjukkan pada Gambar 2.9, dan nilai persebaran amplifikasi 3,33 – 5,62 kali yang ditunjukkan pada Gambar 2.10 merupakan daerah kategori sedang. Dari hasil tersebut disimpulkan bahwa daerah tersebut termasuk wilayah rentan ketika terjadi gempa bumi.



Gambar 2.9 Peta Persebaran Periode Dominan RSP Unila (T_0)
(Sumber: Hesti et al, 2021)



Gambar 2.10 Peta Persebaran Nilai Amplifikasi RSP Unila (A_g)
(Sumber: Hesti et al, 2021)

2.2 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

Dari beberapa penelitian diatas akan disajikan dalam bentuk tabel yang dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

	Penelitian Terdahulu				Penelitian Sekarang
Topik	Estimasi Ketebalan Lapisan Sedimen Menggunakan Metode Mikrotremor	Identifikasi Lapisan Sedimen dan <i>Bedrock</i> Menggunakan Metode Mikrotremor	Pemetaan Ketebalan Sedimen Menggunakan Metode Mikrotremor	Karakteristik Lapisan Sedimen Berdasarkan Data Mikrotremor	
Tahun	2017	2020	2020	2021	
Judul Penelitian	Estimasi Ketebalan Lapisan Sedimen Dan Amplifikasi Desa Olak Alen Blitar Menggunakan Metode Mikrotremor HVSR	Identifikasi Lapisan Sedimen Dan Lapisan <i>Bedrock</i> Menggunakan Metode Mikrotremor Di Kecamatan Prambanan Dan Kecamatan Gantiwarno Kabupaten Klaten	Pemetaan Ketebalan Sedimen Kuarter Pada Iska Alluvial Fan (Slovenia Tengah) Menggunakan Metode Mikrotremor	Analisis Karakteristik Lapisan Sedimen Berdasarkan Data Mikrotremor Di Area Rumah Sakit Pendidikan Unila	Identifikasi Lapisan Sedimen dan Lapisan Tanah Dasar (<i>Bedrock</i>) DO Kecamatan Berbah Kabupaten Sleman Menggunakan Metode Mikrotremor HVSR
Tujuan Penelitian	1. Menentukan ketebalan lapisan sedimen Desa Olak Alen, Kecamatan Selorejo, Blitar.	1. Menentukan distribusi nilai frekuensi Dominan (f_0) dan nilai faktor amplifikasi (A_g) di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno Kabupaten Klaten.	Daerah Iska Alluvial fan (Slovenia Tengah) merupakan daerah eksploitasi air minum, oleh karena itu banyak dilakukan eksplorasi relatif	mengetahui karakteristik lapisan batuan sedimen pada area pembangunan Rumah Sakit Pendidikan Universitas Lampung sebagai	1. Untuk menentukan persebaran nilai faktor amplifikasi (A_g) faktor Dominan (f_0) di Kecamatan Berbah Kabupaten Sleman.

	<p>2. Mengetahui hubungan antara ketebalan lapisan sedimen, elevasi, dan amplifikasi terhadap longsor di Desa Olak Alen.</p>	<p>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.</p> <p>3. Mengidentifikasi lapisan sedimen dan lapisan <i>bedrock</i> berdasarkan persebaran nilai faktor amplifikasi (A_g) di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno Kabupaten Klaten.</p>	<p>dengan menggunakan lubang bor. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk membangun model hidrogeologi yang lebih akurat.</p>	<p>bagian dari tahapan mitigasi bencana gempa bumi. Penelitian ini dilakukan sebagai upaya untuk menunjang pembangunan fasilitas umum yang berkelanjutan.</p>	<p>2. Untuk mengetahui tebal lapisan sedimen pada daerah penelitian</p> <p>3. Untuk mengetahui kedalaman lapisan <i>bedrock</i> pada daerah penelitian</p> <p>4. Untuk mengidentifikasi lapisan sedimen dan lapisan batuan dasar berdasarkan persebaran nilai faktor amplifikasi (A_g) faktor Dominan (f_0) di Kecamatan Berbah, Kabupaten Sleman.</p>
<p>Hasil Penelitian</p>	<p>1. Ketebalan lapisan sedimen Desa Olak Alen,</p>	<p>1. Nilai frekuensi Dominan (f_0) dan nilai faktor</p>	<p>Daerah Iska Alluvian fan merupakan daerah dengan</p>	<p>1. Distribusi nilai frekuensi dominan.</p>	<p>1. Persebaran nilai faktor amplifikasi (A_g) faktor</p>

	<p>Kecamatan Selorejo, Blitar.</p> <p>2. Nilai amplifikasi Desa Olak Alen.</p> <p>3. Nilai ketebalan sedimen daerah terjadinya longsor.</p>	<p>amplifikasi (A_g) di daerah penelitian.</p> <p>2. Korelasi antara topografi daerah penelitian dengan ketebalan sedimen (h) berdasarkan model penampang seismik kurva H/V di daerah penelitian.</p> <p>3. Identifikasi lapisan sedimen dan lapisan <i>bedrock</i> berdasarkan persebaran nilai faktor amplifikasi (A_g) di daerah penelitian.</p>	<p>ketebalan sedimen yang rendah sehingga cocok digunakan untuk tempat eksplorasi air minum.</p>	<p>2. Nilai periode dominan.</p> <p>3. Nilai amplifikasi pada daerah penelitian.</p> <p>4. Klasifikasi daerah penelitian termasuk daerah yang rentan.</p>	<p>Dominan (f_0) di Kecamatan Berbah Kabupaten Sleman.</p> <p>2. Tebal lapisan sedimen pada daerah penelitian.</p> <p>3. Kedalaman lapisan <i>bedrock</i> pada daerah penelitian.</p> <p>4. Mengetahui lapisan sedimen dan lapisan batuan dasar berdasarkan persebaran nilai faktor amplifikasi (A_g) faktor Dominan (f_0) di Kecamatan Berbah, Kabupaten Sleman.</p>
--	---	--	--	---	--

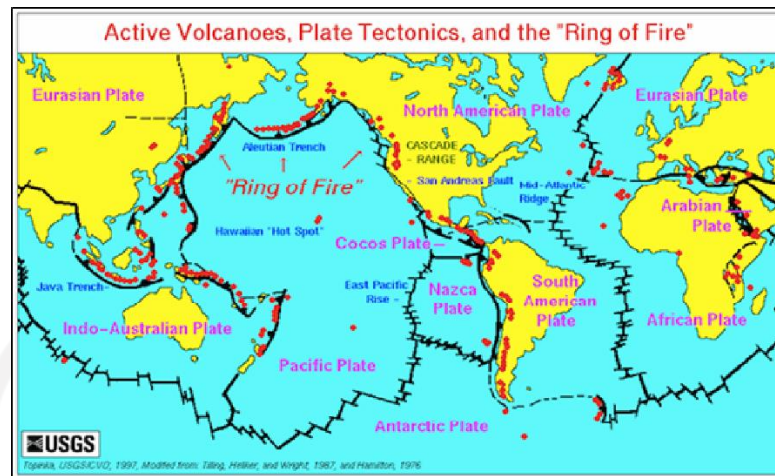
BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Gempa Bumi

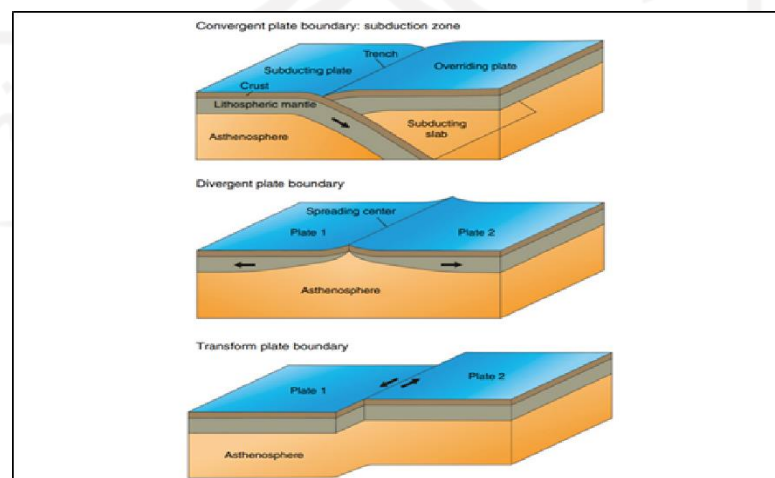
Gempa bumi merupakan peristiwa dimana bumi bergoncang atau bergetar yang dikarenakan pergeseran/pergerakan batuan di lapisan kulit bumi secara tiba – tiba akibat lempeng tektonik yang bergerak. Pergerakan tiba-tiba dari lapisan batuan di dalam bumi ini menghasilkan energi yang dipancarkan ke segala arah berupa gelombang gempa bumi atau gelombang seismik. Pada saat gelombang seismik ini sampai di permukaan bumi, getaran yang dihasilkan dapat merusak segala sesuatu yang ada di permukaan bumi contohnya bangunan, jalan dan infrastruktur lainnya, sehingga dapat menimbulkan kerugian harta benda dan korban jiwa. Dampak yang ditimbulkan oleh gempa bumi sangat dahsyat. Hal ini dikarenakan wilayah cakupannya yang sangat luas hingga menembus batas teritorial suatu negara bahkan antar benua. Sifat getaran yang dihasilkan oleh gempa bumi ini sangat kuat dan merambat ke segala arah, sehingga bencana ini sering kali diikuti oleh bencana alam lanjutan seperti tanah longsor dan tsunami (Sunarjo dkk, 2012).

Bencana gempa bumi bisa terjadi dimana dan kapan saja. Akan tetapi, pada dasarnya konsentrasi dari gempa ini cenderung terjadi di tempat tertentu saja. Lapisan kulit bumi terluar terdiri atas lempeng – lempeng tektonik yang terapung diatas batuan yang relatif tidak kaku dan bergerak satu sama lain. Daerah pertemuan antara dua lempeng disebut batas lempeng atau *plate margin* yang bisa berupa zona subduksi. Pada umumnya gempa bumi terjadi di sekitar *plate margin* yang membentuk jalur gempa bumi dunia dan sekitar sesar (Sunarjo dkk, 2012).



Gambar 3.1 Peta Lempeng Dunia
(Sumber: USGS)

Pada saat dua buah lempeng bertemu dalam satu sesar atau bidang patahan, kemungkinan pergerakan yang terjadi adalah dapat saling bergeser (*Transform*), saling mendekat (*Collision*) atau saling menjauh (*Spreading*) seperti pada Gambar 3.2. Gerakan lempeng – lempeng tersebut kadang mengalami kemacetan dan saling mengunci. Hal ini menyebabkan terjadinya pengumpulan energi sampai pada saat tidak mampu menahan *stress*, sehingga terjadi patah secara mendadak dan melepaskan energi berupa getaran yang dikenal sebagai gempa bumi (Sunarjo dkk, 2012).



Gambar 3.2 Tipe Interaksi Antar Lempeng
(Sumber: Duarte, 2016)

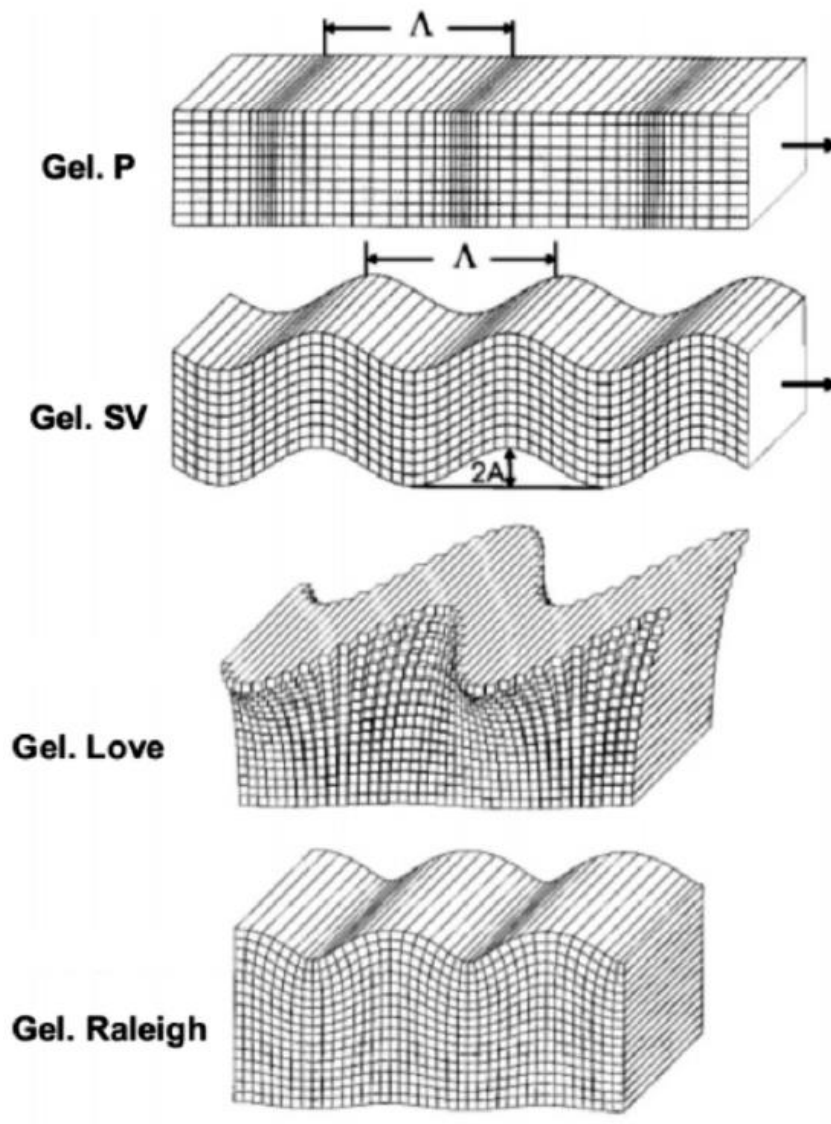
3.2 Gelombang Seismik

Gelombang Seismik merupakan gelombang elastik gempa bumi yang menjalar ke seluruh bagian dalam bumi melalui permukaan bumi (Sunarjo dkk, 2012). Gelombang ini dikatakan gelombang elastik karena medium yang dilalui adalah bumi yang bersifat elastik. Oleh sebab itu sifat penjalaran gelombang seismik ini menyesuaikan pada elastisitas batuan yang dilewati.

Cara menimbulkan gelombang seismik ada dua metode yaitu dengan metode aktif dan metode pasif. Metode aktif merupakan metode untuk menimbulkan gelombang seismik secara disengaja dengan menggunakan gangguan yang dibuat manusia. Metode pasif merupakan metode menimbulkan gelombang seismik secara alamiah seperti contohnya gempa. Gelombang seismik dapat dibedakan menjadi dua tipe, yaitu gelombang bodi (*body wave*) dan gelombang permukaan (*surface wave*) (Sitorus, 2017).

Gelombang bodi (*Body Wave*) merupakan gelombang yang memiliki arah jalaran ke segala arah di dalam bumi. Gelombang ini biasanya disebut *free wave*. Berdasarkan dan arah penjalaran dan gerak partikelnya, gelombang bodi dibedakan menjadi dua, yaitu gelombang primer (P) dan sekunder (S). Gelombang P merupakan gelombang longitudinal atau kompresional dengan arah gerak partikel sejajar dengan arah perambatannya. Gelombang ini memiliki kecepatan rambat paling besar dan dapat merambat melalui medium padat, gas, dan cair. Sedangkan gelombang S merupakan gelombang transversal atau *shear* dengan gerak partikelnya tegak lurus dengan arah perambatannya (Sunarjo dkk, 2012). Jika dibandingkan dengan gelombang P, gelombang ini lebih lambat dan hanya dapat merambat pada medium padat saja (Sitorus, 2017).

Gelombang permukaan (*surface wave*) merupakan gelombang yang menjalar di sepanjang permukaan bumi. Gelombang permukaan dibagi menjadi dua, yaitu gelombang Rayleigh (R) dan Love (L). Gelombang Rayleigh merupakan *surface wave* yang terjadi karena interferensi gelombang geser dan gelombang tekan secara konstruktif. Orbit gerakan gelombang ini adalah elips tegak lurus dengan arah penjalaran dan permukaan. Sedangkan gelombang Love merupakan gelombang transversal yang hanya bergerak pada bidang horizontal saja (Sitorus, 2017).



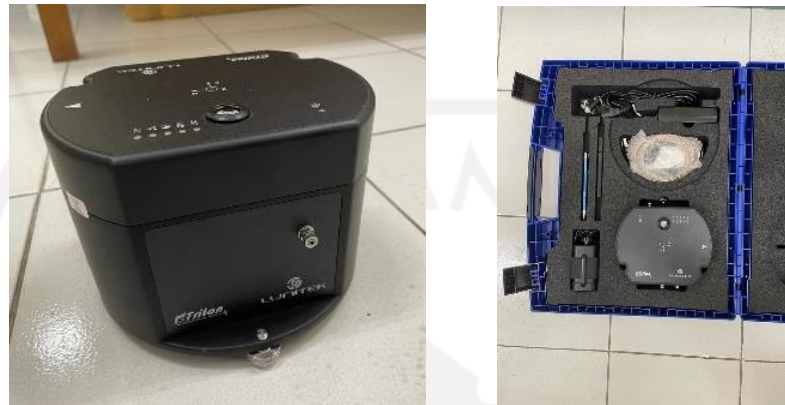
Gambar 3.3 Jenis-Jenis Gelombang

(Sumber: NMSOP, 2002)

3.3 Seismograf

Seismograf adalah instrumen yang digunakan untuk mencatat getaran dan mendeteksi gempa bumi. Hasil rekaman data dari seismograf disebut seismogram. Bagian – bagian dari seismograf antara lain: sensor (seismometer), ADC (*Analog to Digital Converter*), sistem pewaktu (*time system*), pengondisi sinyal atau *amplifier*, *recorder*, dan *power supply*. Seismometer merupakan alat yang digunakan untuk merespon getaran tanah dan menangkap sinyal yang terekam oleh

seismograf. Seismometer memiliki tiga detektor yang dapat mendeteksi getaran tanah (Arifudin, 2018).



Gambar 3.4 Seismograf dan Seismometer
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

3.4 Metode HVSR

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 (Maslikah, 2020).

Metode HVSR menggunakan data dari rekaman getaran (seismogram) mikrotremor 3 komponen, yaitu komponen horizontal N-S, horizontal E-W dan komponen vertikal. Pada seismogram tersebut dilakukan transformasi *Fourier* Cepat (*Fast Fourier Transform*) pada setiap komponennya menghasilkan spektrum *fourier* 3 komponen. Dari spektrum *fourier* ini diperoleh rasio amplitudo spektrum antara komponen horisontal terhadap vertikal (HVSR) dari sinyal rekaman mikrotremor (Sungkowo, 2016).

Teknik perbandingan antara spektrum gelombang horizontal terhadap vertikal (HVSR) berguna untuk mengidentifikasi frekuensi resonansi dominan (f_0) dan nilai amplifikasi tanah (A_g) yang mempresentasikan karakteristik dinamis lapisan sedimen. Berdasarkan analisis menggunakan metode HVSR, nilai

amplifikasi (A_g) dan nilai frekuensi Dominan (f_0) merupakan nilai pada puncak kurva HVSR. Dua nilai tersebut berkaitan dengan karakteristik geologi dan parameter fisik bawah permukaan daerah setempat yang dimodelkan dalam bentuk mikrozonasi.

3.5 Uji Outlier

Uji *outlier* adalah kondisi pengamatan suatu data dengan karakteristik yang berbeda yang relatif signifikan dengan data lainnya. Apabila terjadi *outlier* maka data tersebut dapat tidak digunakan pada analisis. Pengecekan *outlier* dapat dilakukan dengan melihat *Z score* atau nilai standar baku. Nilai *Z score* atau nilai standar baku kurang dari -3 atau lebih dari +3 maka dikategorikan menjadi data *outlier* (Ghozali, 2016).

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n} \quad (3.1)$$

$$S. \text{ Deviasi} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (3.2)$$

$$Z = \frac{\bar{x} - \text{mean}}{S. \text{ Deviasi}} \quad (3.3)$$

3.6 Site Effect

Site Effect atau efek tapak lokal merupakan variasi parameter getaran tanah yang berupa amplitudo, durasi, dan kandungan frekuensi. *Site effect* terjadi karena adanya kontras impedensi antara lapisan tanah dengan batuan dasar (*bedrock*). Pada umumnya *site effect* didefinisikan sebagai modifikasi dari karakteristik gelombang yang meliputi amplitudo, durasi, dan kandungan frekuensi terhadap kondisi lapisan bawah permukaan dengan topografi permukaan (Sungkowo, 2016).

Site effect (T_{site}) 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).

$$T_{SITE} = \frac{T_H}{T_V} \quad (3.4)$$

Faktor amplifikasi gerak horizontal dan faktor amplifikasi gerak vertikal dirumuskan oleh Nakamura (2000) dengan membandingkan antara spektrum komponen gerak horizontal pada permukaan tanah (S_{HS}) dengan spektrum komponen gerak horizontal pada dasar lapisan tanah (S_{HB}), maka diperoleh persamaan faktor amplifikasi dari gerak horizontal (T_H) sebagai berikut.

$$T_H = \frac{S_{HS}}{S_{HB}} \quad (3.5)$$

Dengan cara yang sama yaitu membandingkan spektrum komponen gerak vertikal sinyal mikrotremor pada permukaan tanah (S_{VS}) dengan spektrum komponen gerak vertikal sinyal pada dasar lapisan tanah (S_{VB}), maka diperoleh persamaan faktor amplifikasi dari gerak vertikal (T_V) sebagai berikut.

$$T_V = \frac{S_{VS}}{S_{VB}} \quad (3.6)$$

Nakamura (2000) menjelaskan mengenai efek sumber gelombang dengan efek geologi setempat menggunakan cara menormalisir spektrum komponen horizontal dan vertikal pada titik ukur yang sama. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa rekaman pada stasiun yang berbeda pada batuan keras mempunyai nilai rasio spektrum komponen horizontal terhadap komponen vertikal yang mendekati satu (Maslikah, 2020).

$$\frac{S_{HB}}{S_{VB}} \approx 1 \quad (3.7)$$

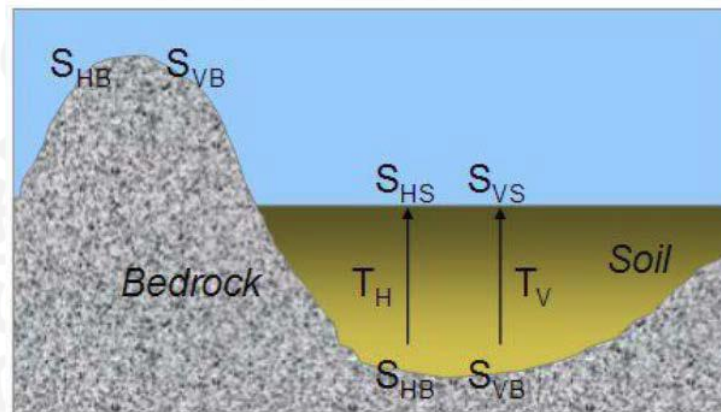
jika dibulatkan

$$\frac{S_{HB}}{S_{VB}} = 1 \text{ atau } \frac{S_{VB}}{S_{HB}} = 1 \quad (3.8)$$

Karena rasio spektrum antara komponen horizontal dan vertikal pada batuan dasar mendekati satu, maka gangguan yang terekam pada permukaan lapisan tanah yang disebabkan efek dari gelombang Rayleigh dapat dihilangkan, sehingga hanya ada pengaruh dari struktur geologi lokal atau *site effect* saja. Dengan mensubstitusi

persamaan (3.2), (3.3) dan (3.5) ke dalam persamaan (3.1) akan diperoleh persamaan yang menjadi dasar perhitungan rasio spektrum mikrotremor antara komponen horizontal terhadap komponen vertikal atau *Horizontal to Vertical Spectral Ration (HVSr)*. Persamaan tersebut dapat dimodelkan sebagai berikut.

$$HVSr = T_{SITE} = \frac{S_{HS}}{S_{VS}} = \sqrt{\frac{[(S_{utara-selatan})^2 + (S_{barat-timur})^2]}{S_{vertikal}}} \quad (3.9)$$



Gambar 3.5 Model Cekungan yang Berisi Material Sedimen
(Sumber: Arifudin, 2018)

3.7 Faktor Amplifikasi

Faktor amplifikasi tanah merupakan rasio spektrum *fourier* yang dihasilkan dari pengolahan data rekaman mikrotremor di titik ukur pada permukaan tanah menggunakan metode HVSr (Arifudin, 2018). Menurut Nakamura (2000), amplifikasi dapat terjadi akibat adanya perbesaran gelombang seismik karena perbedaan yang signifikan antar lapisan bawah permukaan yang artinya gelombang seismik akan mengalami perbesaran jika merambat melalui medium yang lebih lunak daripada medium awal. Secara matematis, nilai amplifikasi dapat dirumuskan pada persamaan (3.7) (Aki, K et. al. 2002).

$$A_g = \frac{\rho_b \cdot v_b}{\rho_s \cdot v_s} \quad (3.10)$$

Dimana A_0 pada persamaan (3.7) merupakan nilai amplifikasi, ρ_b merupakan nilai densitas batuan dasar (gr/ml), ρ_s merupakan nilai densitas batuan lunak (gr/ml), v_b

merupakan nilai cepat rambat gelombang dari batuan dasar (m/dt) dan V_s merupakan cepat rambat gelombang pada batuan lunak (m/dt).

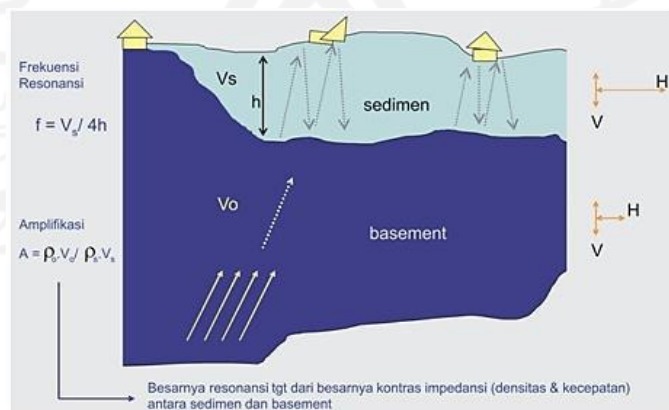
Menurut Setiawan (2008), nilai faktor amplifikasi tanah hasil dari pengukuran mikrotremor yang berbeda pada suatu daerah dapat diklasifikasikan berdasarkan tinggi rendahnya seperti yang terdapat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Klasifikasi Nilai Faktor Amplifikasi

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

(Sumber: Setiawan, 2008)

Pada persamaan (3.7) sudah dijelaskan mengenai persamaan nilai amplifikasi, sehingga dari hasil persamaan tersebut dapat digunakan untuk mengetahui daerah tersebut termasuk klasifikasi zona apa. Apabila suatu daerah masuk kedalam klasifikasi zona rendah berarti perbedaan antar lapis lebih kecil, begitu pula sebaliknya pada zona dengan klasifikasi sangat tinggi maka perbedaan antar lapisan sangat signifikan.



Gambar 3.6 Konsep Dasar Amplifikasi Gelombang Seismik

(Sumber: Nakamura, 1989)

3.8 Frekuensi Dominan

Nilai frekuensi Dominan atau fekuensi natural merupakan hasil pengolahan HVSR yang menyatakan frekuensi alami pada daerah tersebut. Apabila terjadi gangguan yang berupa getaran dengan fekuensi yang sama dengan frekuensi Dominan atau frekuensi natural, maka akan terjadi resonansi yang mengakibatkan amplifikasi gelombang seismik pada daerah tersebut. Faktor yang mempengaruhi frekuensi Dominan adalah ketebalah sedimen (h) dan besarnya kecepatan rata-rata (V_s), dimana frekuensi Dominan berbanding lurus dengan besarnya kecepatan rata-rata dan berbanding terbalik dengan ketebalan sedimen, sehingga nilai dari frekuensi Dominan dapat dituliskan seperti pada persamaan 3.8 berikut.

$$f_0 = \frac{V_s}{4H} \quad (3.11)$$

Berdasarkan besar frekuensi Dominan, perbedaan karakteristik tanah pada daerah penelitian dapat diketahui seperti pada Tabel 3.2 sebagai berikut.

Tabel 3.2 Klasifikasi Tanah berdasarkan Nilai Frekuensi Dominan

Klasifikasi Tanah	Frekuensi Dominan	Klasifikasi Kanai	Deskripsi
Jenis I	6,67 – 20,0	Batuan tersier atau lebih tua. Terdiri dari <i>hard sandy gravel</i> .	Ketebalan sedimen permukaan sangat tipis, didominasi oleh batuan keras.
Jenis II	4,00 – 6,67	Batuan alluvial dengan ketebalan 5 m terdiri dari <i>sandy gravel, sandy hard clay, loam</i> , dll.	Ketebalan sedimen permukaan masuk dalam kategori menengah sekitar 5-10m.
Jenis III	2,50 – 4,00	Batuan alluvial yang hampir sama dengan tanah jenis II, hanya dibedakan oleh adanya formasi yang belum diketahui.	Ketebalan sedimen permukaan masuk dalam kategori tebal sekitar 10 – 30 m.
Jenis IV	< 2,5	Batuan alluvial yang terbentuk dari sedimentasi delta, <i>top soil</i> , lumpur, tanah lunak, dll dengan kedalaman 30 m.	Ketebalan sedimen permukaannya sangat tebal.

(Sumber : Arifin dkk, 2014)

3.9 Indeks Kerentanan Seismik

Indeks kerentanan seismik (Kg) merupakan parameter yang berhubungan erat dengan tingkat kerentanan tanah atau kerawanan suatu wilayah saat terjadi bencana gempa bumi. Ada beberapa faktor yang memengaruhi indeks kerentanan seismik diantaranya adalah sedimen yang berusia kuartar karena memiliki tingkat soliditas yang rendah, sedangkan batuan yang berisi tersier cenderung memiliki tingkat soliditas yang tinggi dan stabil. Sedimen dengan tingkat soliditas yang rendah nantinya akan berpengaruh terhadap faktor amplifikasi tanah saat terjadi bencana gempa bumi. Nilai indeks kerentanan seismik tinggi biasanya dijumpai pada daerah yang memiliki frekuensi dominan yang rendah (Saaduddin, et. al. 2015). Hal ini berarti pada lapisan sedimen yang cenderung tebal memiliki indeks kerentanan seismik yang tinggi. Pada daerah dengan lapisan sedimen yang tebal, apabila disertai dengan penguatan faktor amplifikasi yang besar, maka indeks kerentanan seismik yang dihasilkan akan besar juga. Hubungan antara indeks kerentanan seismik (Kg), faktor amplifikasi (Ag), dan frekuensi dominan (fg) dapat dituliskan pada persamaan berikut.

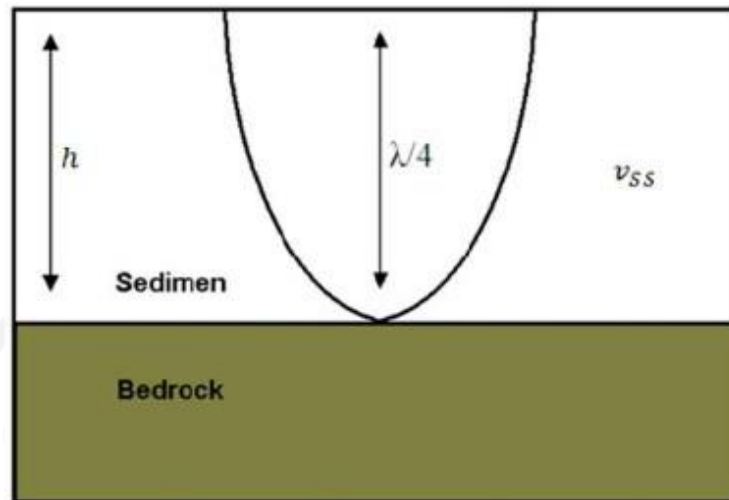
$$Kg = \frac{Ag^2}{Fg} \quad (3.12)$$

3.10 Ketebalan Sedimen

Ketebalan sedimen mempunyai hubungan dengan frekuensi Dominan seperti pada persamaan (3.8). Frekuensi Dominan dari pengukuran mikrotremor dapat digunakan untuk mengestimasi ketebalan sedimen seperti pada persamaan berikut.

$$h = \frac{Vs}{4f_0} \quad (3.13)$$

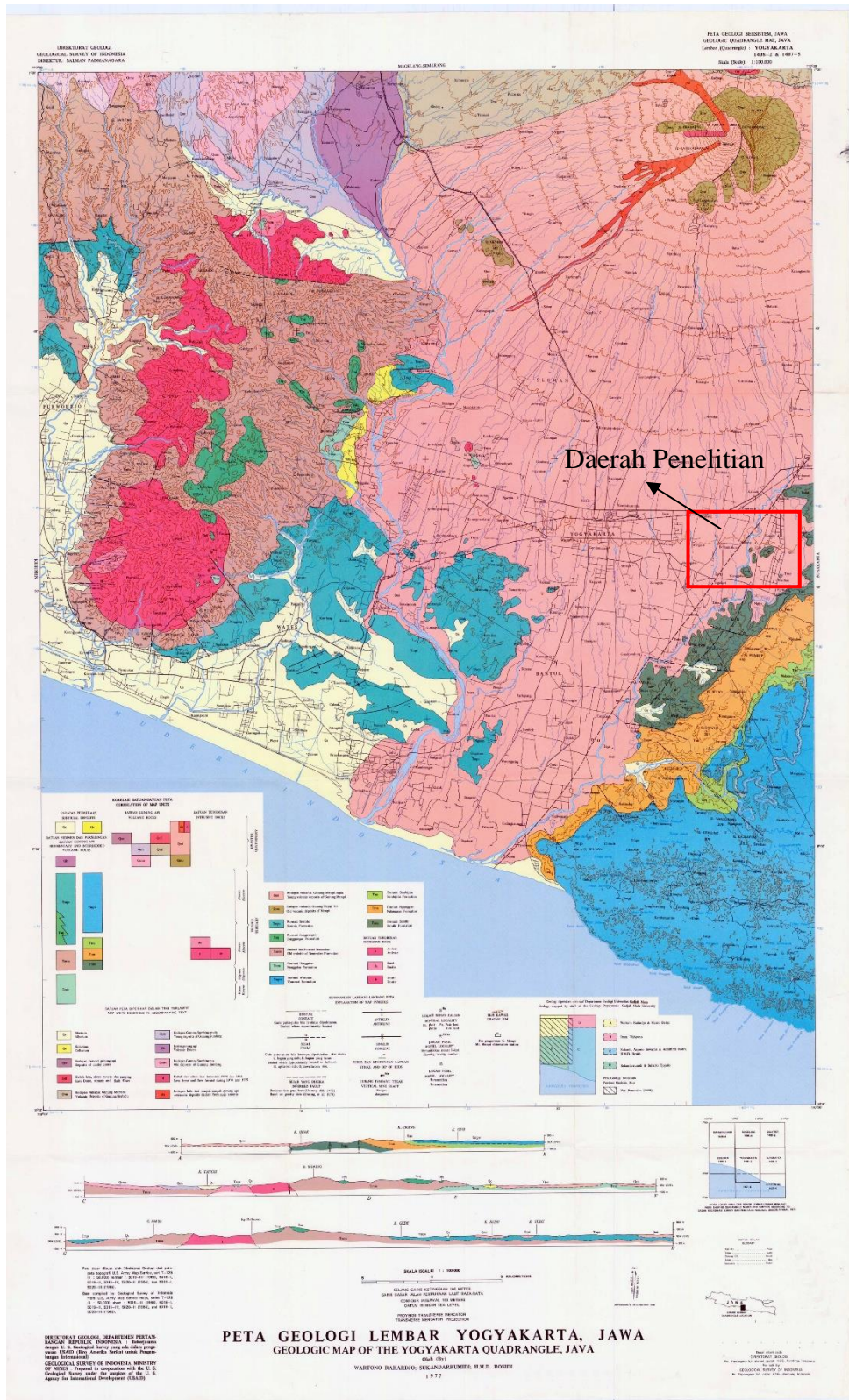
Perbandingan frekuensi Dominan pengamatan dengan numerik juga menunjukkan adanya hubungan pengukuran mikrotremor yang tergantung pada kedalaman dan kecepatan gelombang geser. Ilustrasi sederhananya berupa model struktur tanah dua lapis yaitu *bedrock* yang tertutupi oleh sedimen yang memiliki ketebalan (h) dan kecepatan gelombang geser rata – rata (Vs) pada lapisan sedimen.



Gambar 3.7 Model Dua Lapisan: *Bedrock* dan *Sedimen*
(Sumber: Arifudin, 2018)

3.11 Kondisi Geologis Daerah Penelitian

Lokasi penelitian ini berada di Kapanewon Berbah, salah satu Kapanewon di kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. Secara umum, daerah Berbah dikontrol oleh Sesar Opak yang menghasilkan sungai utama di daerah tersebut yaitu Kali Opak. Secara fisiografis, Kapanewon Berbah merupakan daerah perbukitan kecil – kecil dengan ketinggian 100 meter yang tersusun atas batuan gunung api tersier penyusun pegunungan selatan. Di sekitar perbukitan tersebut berupa persawahan subur yang tersusun atas endapan alluvial. Kapanewon Berbah merupakan daerah daerah yang tertutup klastik endapan resen Merapi muda yang pada umumnya bersifat lunak dan terdiri dari piroklastik dan breksi dengan ketebalan ± 150 m. Daerah ini juga berada pada daerah Formasi Semilir yang terdiri dari persilangan breksi-tuff, tuff dasit breksi batu apung, tuff andesit serta batu lempeng tufan. Persebaran batuan dapat dilihat pada Gambar 3.8.



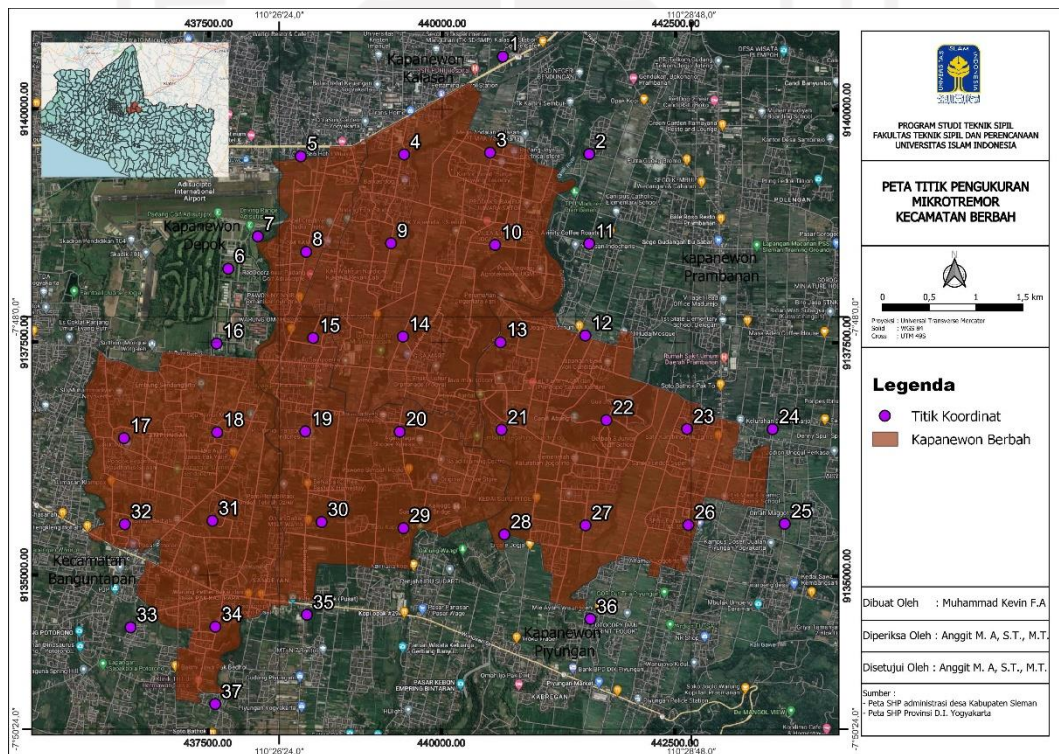
Gambar 3.8 Peta Geologi Lembar Yogyakarta dan Daerah Penelitian (Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi)

BAB IV

METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian terletak di Kapanewon Berbah, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta yang terletak pada koordinat geografis antara $-7^{\circ}46'28,98''$ LS sampai $-7^{\circ}50'17,21''$ LS dan $110^{\circ}25'26,51''$ BT sampai $110^{\circ}29'18,03''$ BT. Daerah tersebut meliputi 4 Desa yaitu: Desa Jagaltirto, Kalitirto, Sendangtirto, dan Tegaltirto yang ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Lokasi Penelitian Kapanewon Berbah

4.2 Peralatan

Peralatan atau instrumen yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari perangkat lunak (*Software*) dan perangkat keras (*Hardware*)

1. Perangkat Lunak (*Software*)

Adapun perangkat lunak atau *software* yang digunakan adalah sebagai berikut.

- a. *QGIS 3.24.1* berfungsi untuk membuat peta desain penelitian.
- b. *Google Maps* berfungsi untuk menentukan titik lokasi penelitian dan penunjuk arah.
- c. *Microsoft Excel 365* berfungsi untuk konversi koordinat yang akan dipindahkan ke *google maps*.
- d. *Microsoft Word 365* berfungsi untuk menyusun laporan.
- e. *Web Lunitek* berfungsi untuk mengatur instrument.
- f. *Sesarray-Geopsy* berfungsi untuk menginversi dan menganalisis kurva H/V yang mengandung faktor amplifikasi (A_g) dan frekuensi Dominan (f_0).
- g. *Surfer 21* berfungsi untuk membuat desain survei dan kontur karakteristik peta persebaran nilai faktor amplifikasi dan frekuensi Dominan.
- h. *Rockwork 16* berfungsi untuk memodelkan lapisan sedimen dan lapisan batuan dasar dalam visualisasi 3 dimensi.

2. Perangkat Keras (*Hardware*)

Adapun perangkat lunak atau *software* yang digunakan adalah sebagai berikut.

- a. *Digital Seismic Sensor Triton 5s* berfungsi mengukur dan menyimpan getaran tanah pada setiap titik penelitian.
- b. *Blue Suitcase* berfungsi untuk menyimpan dan mengamankan *Digital Seismic Sensor* agar terhindar dari guncangan saat dibawa.
- c. *WIFI Antenna* atau *Ethernet cable* berfungsi untuk penghubung antar instrument.
- d. *USB* berfungsi untuk menyimpan data penelitian.
- e. *Adaptor + power cable to AC*.
- f. *GPS Antenna* berfungsi untuk menentukan posisi titik penelitian.
- g. *Battery type 18650 3400mAh 3,7V* berfungsi sebagai sumber daya.

h. Laptop berfungsi untuk sarana penghubung dan analisis data.



Gambar 4.2 Peralatan yang Digunakan dalam Penelitian

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

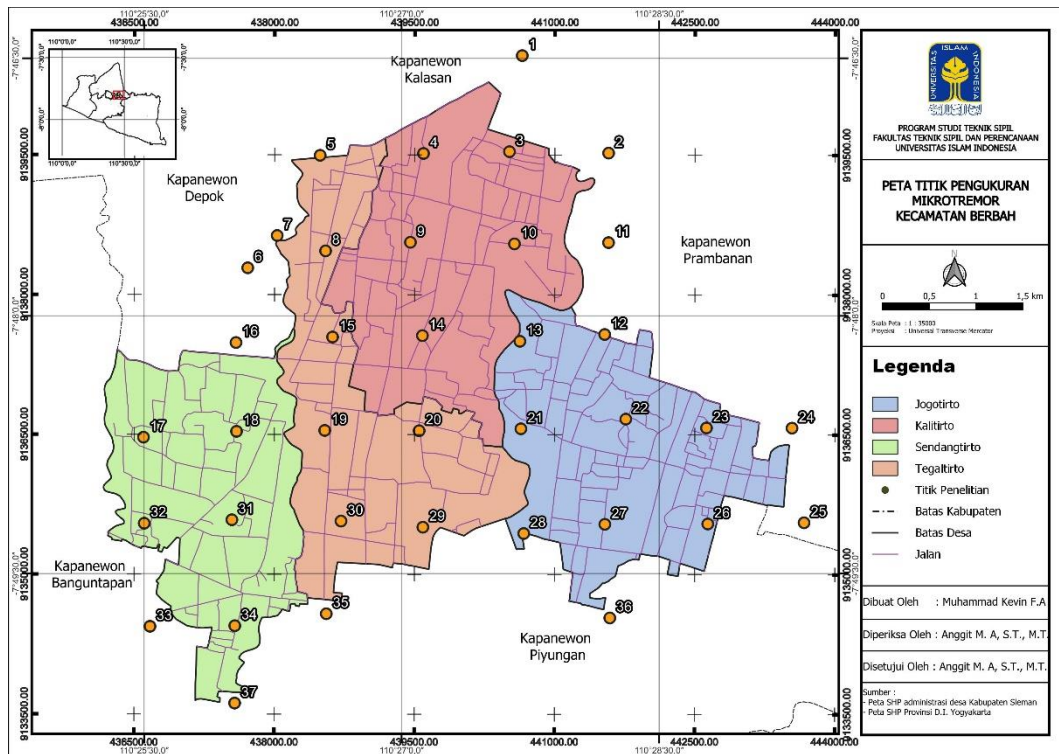
4.3 Teknik Pengumpulan Data

Data yang digunakan untuk penelitian ini adalah data pengukuran mikrotremor di lapangan. Teknik penentuan rencana lokasi titik penelitian adalah menggunakan *grid* dengan interval antar titik adalah ± 1 km. pengukuran ini dilakukan menggunakan Triton 5s *Digital Portable Seismograph*.

Proses pengumpulan data meliputi tahap survei dan tahap pengambilan data

1. Tahap Survei

Tujuan dari tahap survei adalah untuk mengetahui secara langsung topografi daerah penelitian. Pada tahap ini dimulai dengan membuat desain survei untuk menentukan titik – titik lokasi pengambilan data mikrotremor. Titik lokasi pengambilan data mikrotremor di Kapanewon Berbah dapat ditentukan menggunakan *Software Google Earth*. Penentuan diawal dilakukan menggunakan metode grid dengan interval antar titik sejauh ± 1 km. Hal ini bertujuan untuk mewakili seluruh daerah penelitian.



Gambar 4.3 Persebaran Titik Pengambilan Data Mikrotremor

2. Tahap Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan dengan mengukur sinyal mikrotremor menggunakan frekuensi *sampling* 100 Hz selama ± 30 menit pada setiap titik penelitian. Data yang didapat berasal dari getaran tanah yang terekam pada *Digital Portable Seismograph* dan akan menghasilkan tiga jenis gelombang, yaitu gelombang seismik vertikal, gelombang seismik *horizontal north-south*, dan gelombang seismik *horizontal east-west* dengan format data SHE.mseed, SHN.mseed, dan SHZ.mseed. Pengambilan data didasarkan pada syarat yang ditetapkan oleh *SESAME European Research Project* yang terdapat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Syarat Teknis Survei Mikrotremor

Jenis Parameter	Saran yang Diajukan	
	f_g minimum yang diharapkan (Hz)	Durasi pencatatan minimum yang disarankan (menit)
Durasi Pencatatan	0,2	30
	0,5	20
	1	10
	2	5
	5	3
	10	2
	<i>Coupling soil-sensor</i> alami (insitu)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Letakkan sensor langsung pada permukaan tanah. 2. Hindari meletakkan sensor seismigraf pada permukaan lunak (lumpur, semak-semak) atau tanah lunak setelah hujan.
<i>Coupling soil-sensor</i> buatan atau artifisial	<ol style="list-style-type: none"> 1. Hindari lempengan yang terbuat dari material lunak seperti karet atau busa. 2. Pada kemiringan yang curam dimana sulit untuk 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"> 1. Hindari pengukuran dekat dengan bangunan, gedung bertingkat, dan pohon yang tinggi, jika tiupan angin di atas ± 5 m/s. Kondisi ini sangat mempengaruhi hasil analisa HVSR yang ditunjukkan dengan munculnya frekuensi rendah pada kurva. 	
Kondisi cuaca	<ol style="list-style-type: none"> 1. Angin : lindungi sensor dari angin (lebih cepat dari 5m/s). 2. Hujan : hindari pengukuran pada saat hujan lebat. 3. Suhu : mengecek kondisi sensor dan mengikuti instruksi pabrik. 	
Gangguan	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sumber Monokromik : hindari pengukuran mikrotremor dekat dengan mesin, industri, pompa air, generator yang sedang beroperasi. 2. Sumber sementara : jika terdapat sumber getar <i>transient</i> (jejak langkah kaki, mobil lewat, motor lewat), tingkatkan durasi pengukuran untuk memberikan jendela yang cukup untuk analisis setelah gangguan tersebut hilang. 	

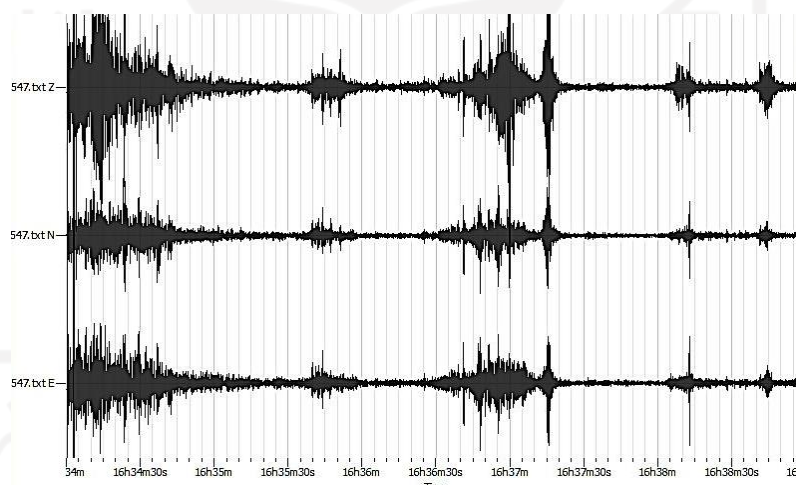
(Sumber: SESAME, 2004)

4.4 Pengolahan Data

Data yang didapat dari hasil pengukuran mikrotremor kemudian diolah menggunakan *software Sesarray-Geopsy* dengan memilih *channels* sesuai dengan format data mikrotremor. Lalu tekan *input* pada *windows seedlink* dan *software* akan mengolah sinyal dengan otomatis. Untuk memperoleh kurva HVSR sesuaikan *windows* untuk menyeleksi secara otomatis parameter yang dipilih. Proses selanjutnya dapat dilanjutkan dengan menginver hasil kurva H/V.

4.4.1 Pengolahan Data Mikrotremor

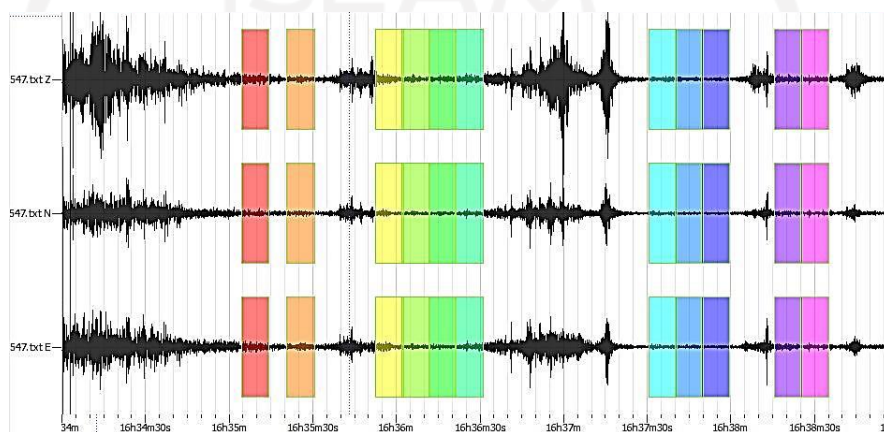
Hasil pengukuran mikrotremor lapangan diolah menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR)*. Hasil pengukuran mikrotremor diproses menggunakan *software Sesarray-Geopsy* dalam domain waktu. Berikut adalah contoh komponen dari pengolahan data mikrotremor yang dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Sinyal Mikrotremor Tiga Komponen
(Sumber: Ambarsari, 2017)

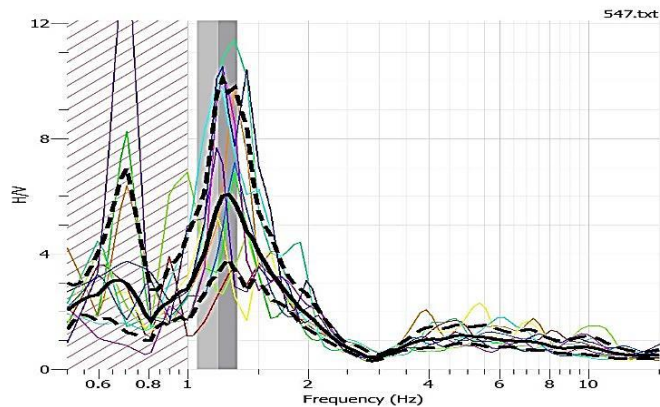
Dalam pengolahan data perlu dilakukan proses pemilihan *window* yang berupa sinyal konstan atau sinyal stasioner. Hal ini disebabkan sinyal tersebut bukan hanya bersumber dari aktivitas getaran tanah saja, namun bisa juga disebabkan gangguan lain atau *noise*, sehingga perlu dihindari (Nakamura, 2000). Berikut merupakan tahapan pengolahan data menggunakan *software Sesarray-Geopsy*.

1. Buka *software Sesarray-Geopsy*, lalu pilih *file* dan atur *seed stream* dengan IP *instrument* 192.168.0.100 (*WIFI*) atau 192.168.1.100 (*Ethernet*).
2. Sambungkan dan pilih *channels* sesuai dengan format data SHE, SHN, dan SHZ.
3. Pada *windows seedlink* sinyal *loader geopsy*, pilih *start* atau input data, lalu tekan tombol pada *toolbar*. *Software* akan menyeleksi *windows* waktu sinyal secara otomatis. Pengolahan tahap ini dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Windowing Sinyal pada *Software Sesarray-Geopsy*
(Sumber: Ambarsari, 2017)

4. Pilih *time window* yang meliputi panjang (*length*), *range* waktu yaitu waktu mulai dan waktu maksimum *window*. Dengan cara klik kanan data tiga komponen, pilih *exactly* pada kolom *length*, dan pilih *anti triggers on raw signal*, kemudian *select* pilihan auto dan klik *start*.
5. Proses pengolahan data dilanjutkan dengan menyesuaikan *windows* untuk menyeleksi parameter yang dibutuhkan dengan menekan *start* untuk memulai perhitungan HVSR.
6. Simpan hasil kurva H/V dengan *extension* HV, contoh kurva pada Gambar 4.6.



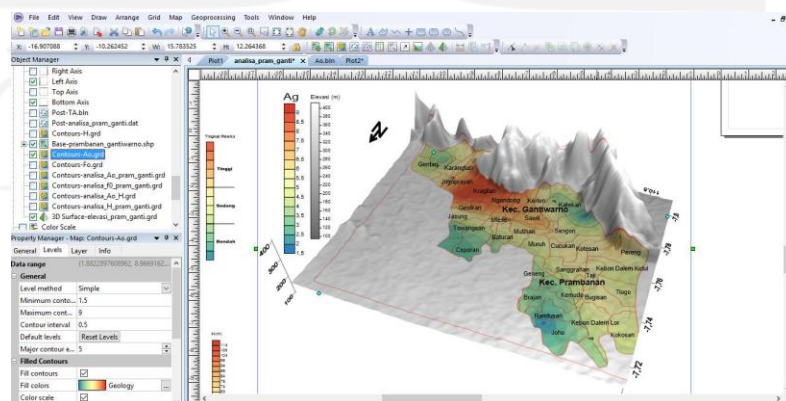
Gambar 4.6 Grafik Kurva HVSR
(Sumber: Ambarsari, 2017)

4.4.2 Perhitungan Ketebalan Sedimen (h)

Nilai ketebalan sedimen dihitung dengan persamaan (3.13). nilai dari V_s yang digunakan adalah nilai invers HVSR disetiap titik pengukuran. Pada peta distribusi kecepatan gelombang geser setiap titik ukur mikrotremor mempunyai nilai V_s , nilai ini yang digunakan untuk perhitungan ketebalan sedimen di masing-masing titik penelitian. Sehingga didapatkan distribusi nilai ketebalan di setiap titik penelitian.

4.4.3 Analisis Mikrozonasi

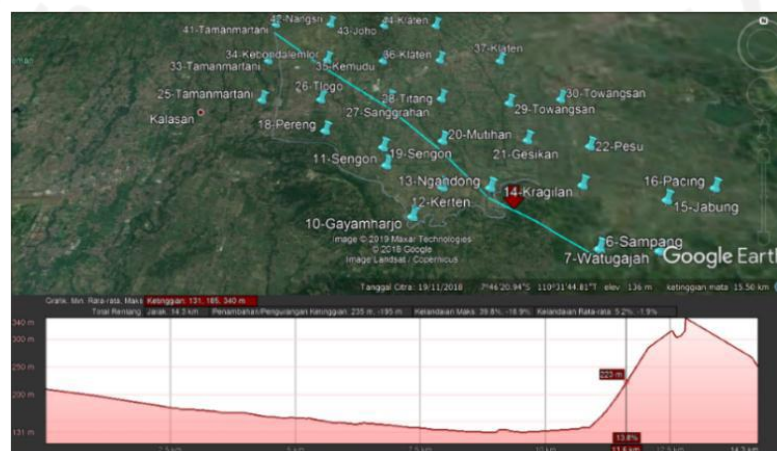
Persebaran nilai amplifikasi dan nilai frekuensi Dominan dianalisis dengan melakukan mikrozonasi di daerah penelitian dengan *software Surfer* seperti pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Peta Mikrozonasi
(Sumber: Malikhah, 2020)

4.4.4 Analisis Penampang Seismik Kurva H/V

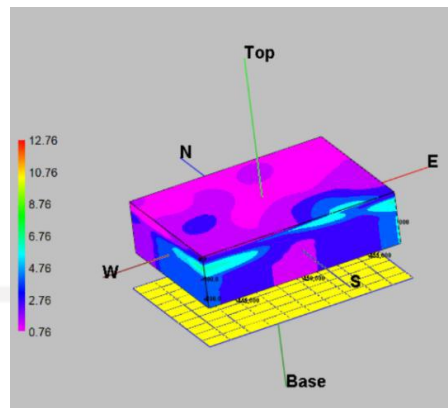
Penampang seismik kurva H/V dianalisis dengan mengkorelasikan topografi daerah penelitian dengan grafik ketebalan lapisan sedimen dan dibuat jalur potong melalui wilayah penelitian. Topografi ketinggian daerah penelitian didapatkan dari *software Google Earth* sedangkan grafik ketebalan sedimen dibuat menggunakan *software Microsoft Excel*. Kedua data ini digabung seperti pada Gambar 4.8. dan dianalisis dengan informasi pada peta geologi wilayah penelitian.



Gambar 4.8 Penampang Seismik Kurva H/V
(Sumber: Malikhah, 2020)

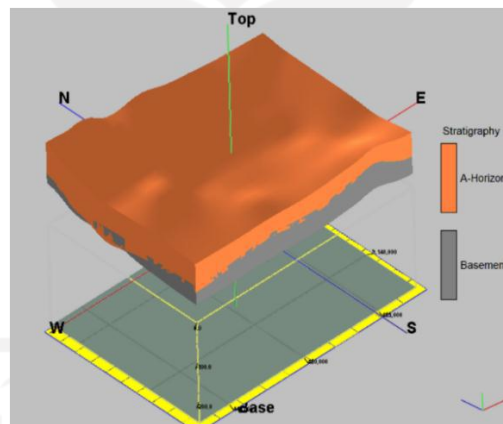
4.4.5 Pemodelan 3 Dimensi

Pemodelan 3 Dimensi nilai amplifikasi (A_g) dibuat dengan acuan pada Tabel 3.1. dengan menggunakan *software Rockwork*. Tujuan dari pemodelan ini adalah untuk mengetahui persebaran nilai amplifikasi pada daerah penelitian apakah memiliki tingkat kerusakan rendah hingga tinggi akibat gempa bumi seperti pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Pemodelan Persebaran nilai Amplifikasi (A_g) dalam 3D
(Sumber: Malikhah, 2020)

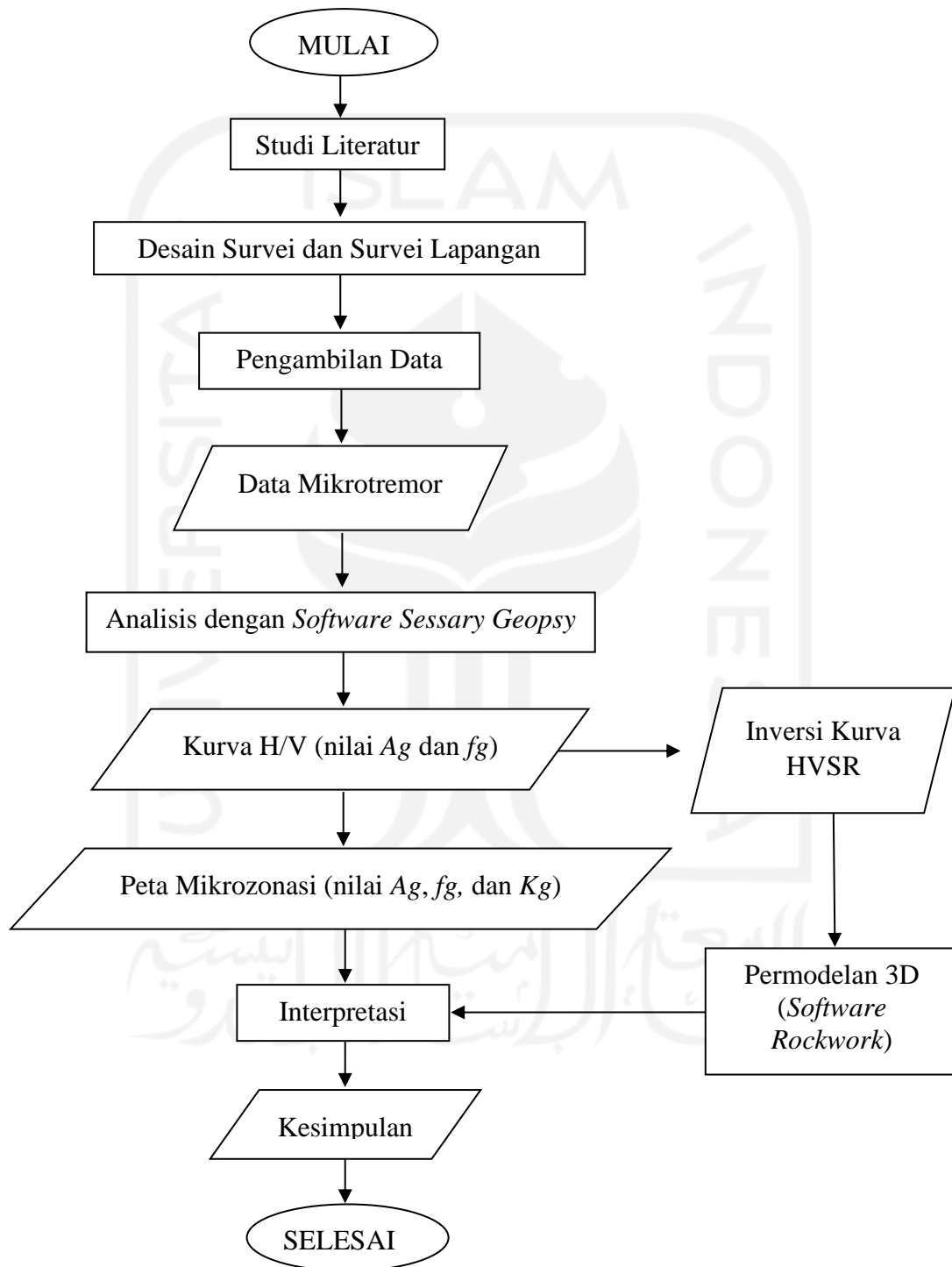
Pemodelan 3 Dimensi lapisan sedimen dan lapisan batuan dasar (*bedrock*) bawah permukaan menggunakan *software Rockwork*. Data diinput yang dipakai adalah data nilai V_s dan data kedalaman hasil *Ground Profiles*. Model lapisan sedimen dan *bedrock* ditunjukkan pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Pemodelan Lapisan Sedimen dan *Bedrock* secara 3D
(Sumber: Malikhah, 2020)

4.5 Diagram Alur Penelitian

Diagram alur penelitian ditunjukkan pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Diagram Alur Penelitian

BAB V

ANALISIS, HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian identifikasi tebal lapisan sedimen dan batuan dasar (*bedrock*) di Kapanewon Berbah Kabupaten Sleman menggunakan data mikrotremor lapangan menghasilkan beberapa parameter yaitu : faktor amplifikasi tanah (A_g), frekuensi dominan (F_g), nilai indeks kerentanan (K_g), kecepatan geser tanah (V_s), dan ketebalan sedimen (h). Tahap pertama dalam pengambilan data di lapangan yaitu melakukan pengaturan alat *Lunitek Digital Seismic Sensor Triton 5s* pada titik yang telah ditentukan seperti pada Gambar 4.1. Pasang komponen alat seperti *wifi*, *GPS*, dan baterai. Nyalakan alat hingga terdengar bunyi “*beep*” pertama yang menandakan alat sudah menyala, lalu tunggu hingga terdengar bunyi “*beep*” kedua yang menandakan alat sudah mulai merekam. Data yang dihasilkan dari perekaman alat mikrotremor tersebut berupa 3 jenis gelombang yaitu gelombang seismik vertikal, gelombang seismik *horizontal north-south*, dan gelombang seismik *horizontal east-west* dengan format masing – masing data *SHZ.mseed*, *SHE.mseed*, dan *SHN.mseed*. Kriteria penentuan tempat pengambilan data di lapangan sesuai dengan syarat yang tertera pada Tabel 4.1.

Data hasil perekaman diolah menggunakan *software geopsy* untuk mendapatkan kurva HVSR. Dari kurva HVSR tersebut diperoleh nilai A_g dan F_g . Pada saat perekaman data nilai A_g dan F_g terdapat 2 data yang nilainya berbeda signifikan dari data lain yaitu pada titik 29 dan 30. Untuk membuktikan kevalidan data tersebut dilakukan pengujian outlier. Lokasi titik 29 yang berada pada bendung seperti pada Gambar 5.1 dengan sebagian besar termasuk bangunan beton membuat data yang dihasilkan memiliki nilai F_g yang sangat tinggi. Begitu pula pada titik 30 terletak pada persawahan seperti Gambar 5.2 yang dikelilingi aliran irigasi dan tanah yang cenderung mengandung banyak air sehingga didapatkan nilai A_g yang sangat tinggi juga



Gambar 5.1 Kondisi Titik 29 dengan Mayoritas Bangunan Beton



Gambar 5.2 Kondisi Titik 30 dengan Mayoritas Tanah Lunak Persawahan

5.1 Uji Outlier

Outlier merupakan pengamatan dimana muncul nilai yang menyimpang jauh dari nilai pada pengamatan lainnya. Uji *outlier* merupakan pengujian yang dilakukan sebelum melaksanakan suatu analisis lebih lanjut dalam penelitian. Pengecekan *outlier* dapat dilakukan dengan melihat *Z score* atau nilai standar baku. Syarat *Z score* atau nilai standar baku yang digunakan untuk batas pengujian adalah kurang dari -3 atau lebih dari +3. Analisa *outlier* pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 5.1 dan Tabel 5.2 berikut.

Tabel 5.1 Analisa *Outlier* Ag

No	Ag	Rata - Rata	Standar Deviasi Populasi	Zscore	Keputusan
1	4,065922	5,024899714	2,268596296	0,422719	OK
2	4,136946			0,391411	OK
3	4,656597			0,162348	OK
4	3,462123			0,688874	OK
5	2,592111			1,072376	OK
6	3,184418			0,811287	OK
7	4,103485			0,406161	OK
8	4,060801			0,424976	OK
9	3,215695			0,797499	OK
10	3,915671			0,488949	OK
11	7,548865			1,112567	OK
12	7,187201			0,953145	OK
13	7,187201			0,953145	OK
14	6,387165			0,600488	OK
15	6,373095			0,594286	OK
16	4,126161			0,396165	OK
17	3,805514			0,537507	OK
18	4,167455			0,377963	OK
19	4,755784			0,118627	OK
20	6,283162			0,554643	OK
21	3,846655			0,519372	OK
22	1,621223			1,500345	OK
23	5,983471			0,422539	OK
24	5,021374			0,001554	OK
25	4,546910			0,210699	OK
26	4,175543			0,374398	OK
27	7,038442			0,887572	OK
28	4,872600			0,067134	OK
29	2,176825			1,255435	OK
30	15,81028			4,75421	OUTLIER
31	4,753406			0,119675	OK
32	4,237822			0,346945	OK
33	4,526606			0,219649	OK
34	5,270356			0,108198	OK
35	6,353365			0,585589	OK
36	5,593535			0,250655	OK
37	4,877499			0,064974	OK

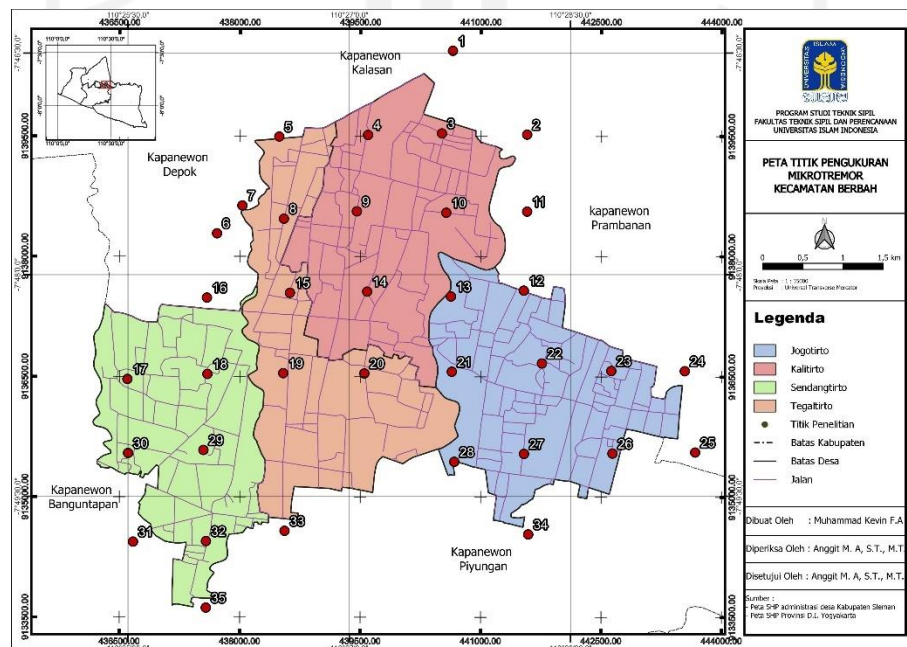
Tabel 5.2 Analisa *Outlier Fg*

No	Fg	Rata - Rata	Standar Deviasi Populasi	Zscore	Keputusan
1	0,610271	1,643655683	2,930467549	0,352635	OK
2	0,641166			0,342092	OK
3	0,762145			0,300809	OK
4	0,800728			0,287643	OK
5	0,641166			0,342092	OK
6	0,762145			0,300809	OK
7	1,103813			0,184217	OK
8	1,103813			0,184217	OK
9	0,725420			0,313341	OK
10	0,762145			0,300809	OK
11	0,625528			0,347429	OK
12	1,521618			0,041644	OK
13	1,521618			0,041644	OK
14	0,762145			0,300809	OK
15	0,951814			0,236086	OK
16	1,248863			0,13472	OK
17	0,580865			0,362669	OK
18	1,248863			0,13472	OK
19	0,951814			0,236086	OK
20	0,928599			0,244008	OK
21	3,523036			0,641325	OK
22	1,412974			0,078718	OK
23	1,412974			0,078718	OK
24	1,378511			0,090479	OK
25	1,378511			0,090479	OK
26	1,188685			0,155255	OK
27	1,000000			0,219643	OK
28	2,432500			0,269187	OK
29	18,88600			5,88382	OUTLIER
30	0,442703			0,409816	OK
31	1,344889			0,101952	OK
32	1,103813			0,184217	OK
33	1,248863			0,13472	OK
34	1,598650			0,015358	OK
35	0,883854			0,259277	OK
36	1,131408			0,174801	OK
37	2,193349			0,187579	OK

Dari hasil *outlier* pada Tabel 5.1 dan Tabel 5.2 diperoleh bahwa terdapat 1 *outlier* pada variabel Ag pada titik 30 dengan nilai *Z-score* sebesar 4,75421 dan 1 *outlier* pada variabel Fg pada titik 29 dengan nilai *Z-score* sebesar 5,88382. Kedua data tersebut memiliki *Z-score* lebih dari 3 sehingga termasuk kedalam *outlier*. Selain itu, karena lokasi pada titik 29 yang berada pada bendung yang sebagian besar termasuk bangunan beton. Begitu pula pada titik 30 yang terletak pada persawahan yang dikelilingi aliran irigasi dan tanah yang cenderung mengandung banyak air. Jika data yang mengandung *outlier* dilakukan analisis, maka akan berpengaruh terhadap keakuratan hasil analisis, sehingga pada penelitian ini terdapat 2 data yang mengandung *outlier* tidak digunakan pada analisis.

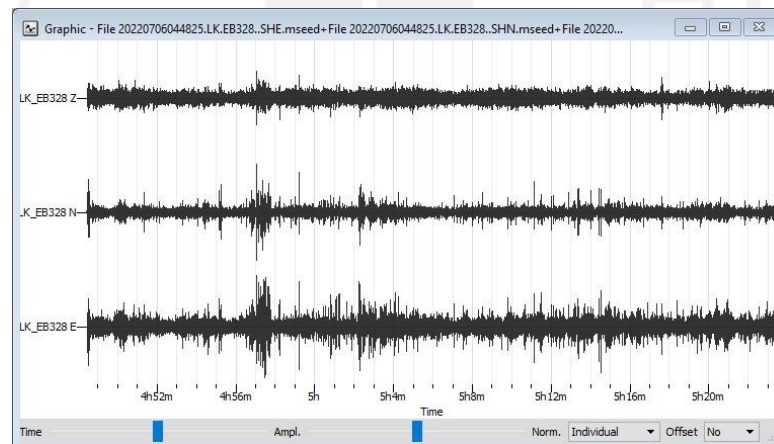
5.2 Analisis Data Mikrotremor

Penelitian mengenai identifikasi tebal lapisan sedimen dan lapisan batuan dasar (*bedrock*) di Kapanewon Berbah Kabupaten Sleman dengan mikrotremor lapangan dilakukan pada 37 titik lokasi pengukuran dan terdapat 2 data *outlier*, sehingga total data yang dapat digunakan sebanyak 35 titik pengukuran yang ditunjukkan pada Gambar 5.3 berikut



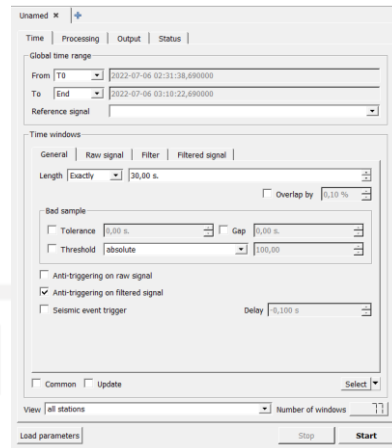
Gambar 5.3 Peta Persebaran Titik Pengukuran Mikrotremor

Pengambilan data mikrotremor lapangan dilakukan dengan bantuan *Lunitek Digital Seismic Sensor Triton 5s* yang akan merekam getaran. Perekaman data diawali dengan meletakkan *Digital Seismic Sensor Triton 5s* pada lokasi yang sesuai Tabel 4.1. Rata – rata waktu dalam perekaman data mikrotremor 1 titik adalah 35 menit. Hasil dari perekaman mikrotremor lapangan ini adalah data mentah berupa gelombang seismik vertikal, gelombang seismik horizontal *north-south*, dan gelombang seismik *horizontal east-west* dengan format data SHE.mseed, SHN.msedd, dan SHZ.mseed. Contoh seismogram hasil perekaman mikrotremor lapangan di Kapanewon Berbah Kabupaten Sleman pada Gambar 5.4 sebagai berikut.

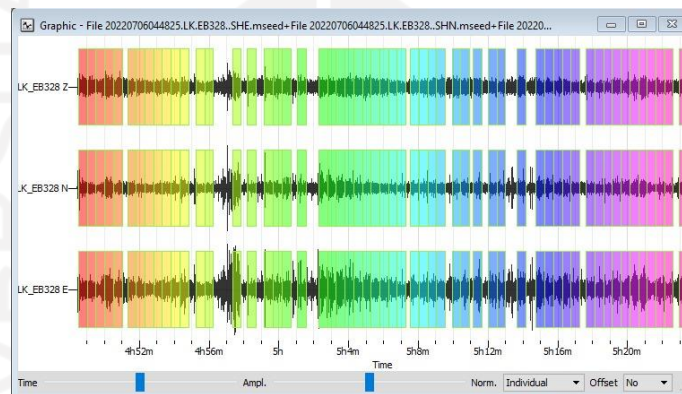


Gambar 5.4 Grafik Seismogram Hasil Perekaman Mikrotremor Titik 14

Dalam penelitian ini pengolahan data mentah hasil perekaman mikrotremor lapangan menggunakan bantuan *software Geopsy*. Untuk mendapatkan grafik kurva HVSR tahap selanjutnya adalah *windowing* atau pemilihan gelombang yang tidak sesuai. Hal ini dilakukan karena dalam pelaksanaan di lapangan, getaran yang terekam tidak hanya dari getaran tanah saja, namun getaran yang disebabkan oleh aktivitas manusia juga memungkinkan untuk terekam. Pada penelitian ini pemilihan *window* dilakukan dengan metode *auto select* dan panjang kotak 30 detik. Satu warna dalam grafik mewakili satu *window* dengan panjang kotak dalam satuan detik (Arifudin, 2018). Contoh proses *windowing* seperti pada Gambar 5.5. dan Gambar 5.6.

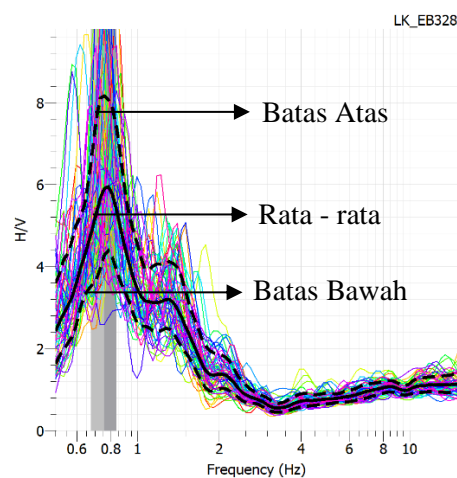


Gambar 5.5 *Filtering options* untuk *windowing* Sinyal Mikrotremor Titik 14



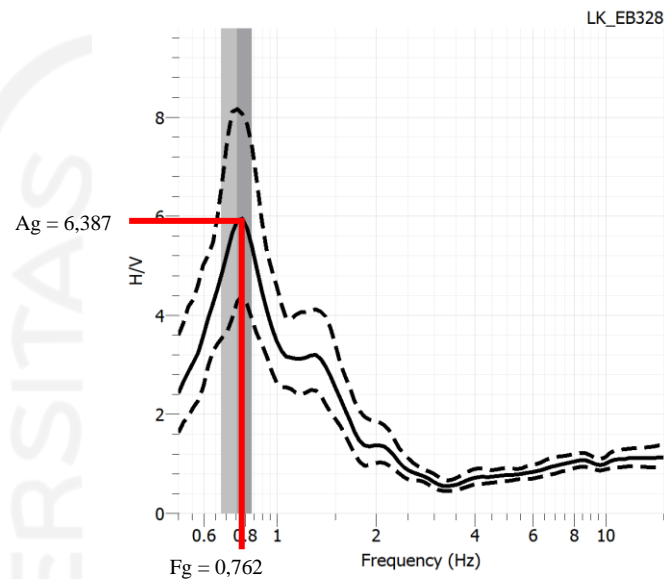
Gambar 5.6 *Windowing* Sinyal Mikrotremor Titik 14

Hasil dari *windowing* ini akan membentuk Kurva HVSR seperti pada Gambar 5.7



Gambar 5.7 Grafik Kurva *HVSR* Titik 14

Kurva HVSR yang telah didapat akan menghasilkan nilai frekuensi dominan dan amplifikasi yang didapat dari pembacaan puncak grafik kurva warna hitam seperti pada Gambar 5.8. Sedangkan kurva dengan garis putus – putus menunjukkan simpangan kurva HVSR (Arifudin, 2018).



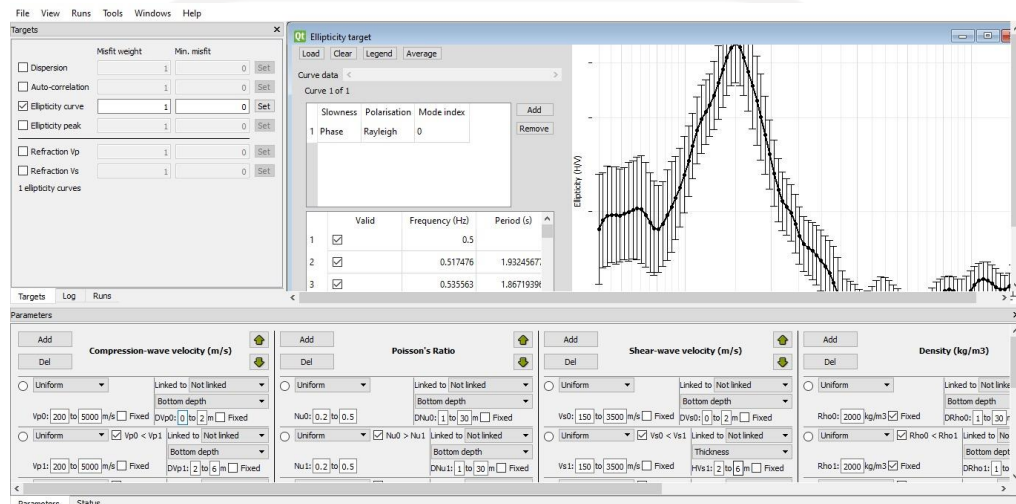
Gambar 5.8 Grafik Kurva HVSR Titik 14 setelah Filterisasi

5.3 Inversi Kurva HVSR

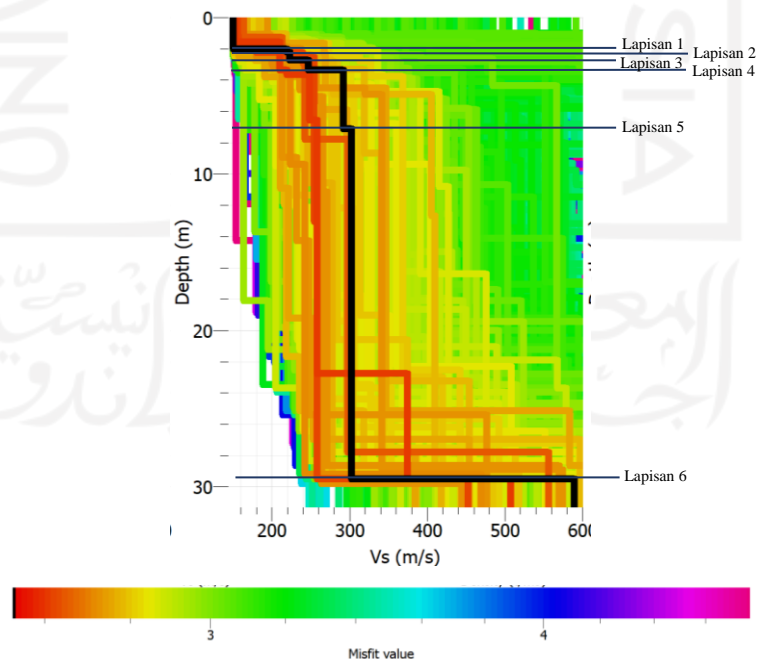
Perkiraan nilai kecepatan gelombang geser (V_s) pada umumnya dilakukan dengan teknik survei langsung di lapangan seperti teknik *borehole* atau pengeboran. Akan tetapi metode tersebut relatif mahal dan membutuhkan waktu yang cukup lama. Alternatif perkiraan nilai kecepatan gelombang geser (V_s) adalah menggunakan mikrotremor. Metode ini relatif murah dan tidak membutuhkan waktu yang lama jika dibandingkan dengan metode yang bersifat aktif *invasif*. Pada penelitian ini metode perkiraan nilai kecepatan gelombang geser (V_s) menggunakan mikrotremor yang diperoleh dari analisis kurva H/V menggunakan metode *ellipticity curve* dengan bantuan *software Dinver Geopsy*.

Hasil dari metode *ellipticity curve* adalah *ground profile* kecepatan gelombang geser (V_s). Estimasi menggunakan *software Dinver* ini diawali dengan memasukkan parameter – parameter tanah yang akan ditinjau yaitu *Compression – wave velocity*, *Shear – wave velocity*, *Density*, dan *Poisson's Ratio*. Parameter

tersebut diasumsikan sama untuk semua titik dari data sekunder *borlog* di Daerah Adi Sucipto yang terdiri dari 6 lapisan. Tampilan *software dinver* pada saat inversi HVSR titik 14 dapat dilihat pada Gambar 5.9, setelah memasukkan parameter tinjauan lalu melakukan *running* permodelan. Hasil dari inversi kurva HVSR titik 14 dapat dilihat pada Gambar 5.10.



Gambar 5.9 Tampilan Dinver Titik 14



Gambar 5.10 Ground Profile Vs Titik 14

Pada Gambar 5.10 di atas didapatkan nilai V_s dan ketebalan titik 14 pada setiap lapisan yang ditunjukkan oleh garis hitam pada grafik sebagai model terbaik dengan nilai *misfit* terkecil, sehingga didapatkan nilai V_s setiap lapisan seperti ditunjukkan pada Tabel 5.3. Untuk hasil estimasi nilai V_s dari inversi kurva HVSR semua titik dapat dilihat pada Tabel 5.4.

Tabel 5.3 Rekapitulasi Nilai v_s Titik 14

Tebal Lapisan (m)	V_s (m/s)
1,94	168
0,3	221
0,62	228
0,55	258
3,84	294
22,17	312

Kemudian dihitung nilai V_s sampai kedalaman 30 pada titik 14 dengan persamaan SNI 1726-2019 sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 V_{s30} &= \frac{30}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{V_{si}}} \\
 &= \frac{30}{\frac{1,94}{168} + \frac{0,3}{221} + \frac{0,62}{228} + \frac{0,55}{258} + \frac{3,84}{294} + \frac{22,17}{312}} \\
 &= 294,478 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

Untuk hasil estimasi nilai V_{s30} dari inversi kurvas HVSR semua titik dapat dilihat pada Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Rekapitulasi Nilai V_{s30} di Kapanewon Berbah

Titik	X	Y	V_s 30
Titik 1	440647,71	9140566,59	203,214
Titik 2	441573,80	9139522,12	370,623
Titik 3	440512,29	9139535,93	346,420
Titik 4	439591,86	9139515,73	319,459

Lanjutan Tabel 5.4 Rekapitulasi Nilai Vs30 di Kapanewon Berbah

Titik	X	Y	Vs 30
Titik 5	438485,63	9139494,49	284,805
Titik 6	437712,00	9138286,64	340,630
Titik 7	438026,99	9138634,09	257,593
Titik 8	438544,98	9138469,50	307,184
Titik 9	439453,06	9138562,67	243,568
Titik 10	440566,81	9138546,97	355,305
Titik 11	441574,12	9138561,62	397,035
Titik 12	441533,79	9137576,08	333,679
Titik 13	440626,47	9137501,96	248,542
Titik 14	439582,70	9137561,54	294,478
Titik 15	438621,07	9137545,57	319,085
Titik 16	437587,49	9137484,94	367,485
Titik 17	436598,10	9136468,59	307,161
Titik 18	437594,28	9136532,29	254,526
Titik 19	438538,48	9136543,17	288,334
Titik 20	439548,86	9136540,84	357,860
Titik 21	440638,14	9136563,14	277,128
Titik 22	441760,84	9136668,37	353,555
Titik 23	442624,69	9136574,48	243,782
Titik 24	443540,24	9136573,61	343,299
Titik 25	443670,68	9135559,10	382,863
Titik 26	442640,07	9135544,57	328,891
Titik 27	441538,22	9135539,55	234,692
Titik 28	440670,12	9135439,83	287,612
Titik 29	437545,61	9135583,54	335,608
Titik 30	436607,30	9135545,13	223,617
Titik 31	436670,77	9134439,54	354,735
Titik 32	437578,45	9134447,18	298,036
Titik 33	438557,40	9134576,73	290,474
Titik 34	441592,63	9134535,33	263,966
Titik 35	437577,80	9133617,13	289,014

5.4 Analisa Nilai Faktor Amplifikasi Tanah (A_g)

Efek yang diakibatkan gempa berupa kerusakan bangunan dipengaruhi oleh nilai amplifikasi tanah. Nilai faktor amplifikasi (A_g) merupakan gambaran dari sifat fisik sedimen yang didapatkan dari pembacaan puncak grafik HVSR (Arifudin, 2018). Menurut teorinya, nilai faktor amplifikasi tanah (A_g) berbanding terbalik dengan tingkat kekerasan lapisan tanah suatu daerah. Semakin tinggi nilai faktor amplifikasi tanah maka sedimen di daerah tersebut semakin lunak, begitu pula sebaliknya, semakin rendah nilai faktor amplifikasi tanah maka sedimen di daerah tersebut semakin keras. Dengan demikian, dapat ditarik kesimpulan bahwa hubungan nilai faktor amplifikasi tanah dengan potensi kerusakan adalah berbanding lurus, karena apabila nilai faktor amplifikasi tanah suatu daerah tersebut semakin tinggi maka sedimen di daerah tersebut semakin lunak yang menyebabkan potensi kerusakan semakin besar juga.

Nilai faktor amplifikasi tanah (A_g) di Kapanewon Berbah Kabupaten Sleman berkisar antara 1,621 sampai dengan 7,549 seperti pada Tabel 5.5 berikut.

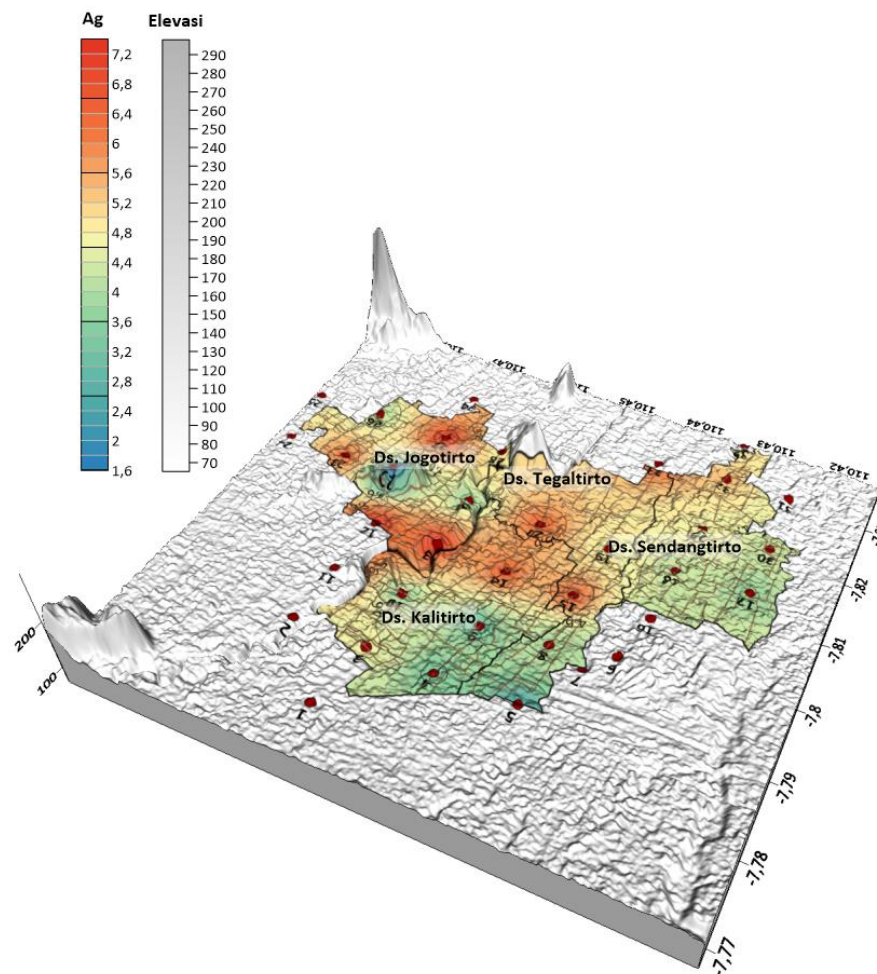
Tabel 5.5 Nilai Amplifikasi Tanah (A_g) di Kapanewon Berbah

Titik	X	Y	A_g
Titik 1	440647,71	9140566,59	4,0659
Titik 2	441573,80	9139522,12	4,1369
Titik 3	440512,29	9139535,93	4,6566
Titik 4	439591,86	9139515,73	3,4621
Titik 5	438485,63	9139494,49	2,5921
Titik 6	437712,00	9138286,64	3,1844
Titik 7	438026,99	9138634,09	4,1035
Titik 8	438544,98	9138469,50	4,0608
Titik 9	439453,06	9138562,67	3,2157
Titik 10	440566,81	9138546,97	3,9157
Titik 11	441574,12	9138561,62	7,5489
Titik 12	441533,79	9137576,08	7,1872
Titik 13	440626,47	9137501,96	7,1872
Titik 14	439582,70	9137561,54	6,3872
Titik 15	438621,07	9137545,57	6,3731
Titik 16	437587,49	9137484,94	4,1262

Lanjutan Tabel 5.5 Nilai Amplifikasi Tanah (A_g) di Kapanewon Berbah

Titik	X	Y	A_g
Titik 17	436598,10	9136468,59	3,8055
Titik 18	437594,28	9136532,29	4,1675
Titik 19	438538,48	9136543,17	4,7558
Titik 20	439548,86	9136540,84	6,2832
Titik 21	440638,14	9136563,14	3,8467
Titik 22	441760,84	9136668,37	1,6212
Titik 23	442624,69	9136574,48	5,9835
Titik 24	443540,24	9136573,61	5,0214
Titik 25	443670,68	9135559,10	4,5469
Titik 26	442640,07	9135544,57	4,1755
Titik 27	441538,22	9135539,55	7,0384
Titik 28	440670,12	9135439,83	4,8726
Titik 29	437545,61	9135583,54	4,7534
Titik 30	436607,30	9135545,13	4,2378
Titik 31	436670,77	9134439,54	4,5266
Titik 32	437578,45	9134447,18	5,2704
Titik 33	438557,40	9134576,73	6,3534
Titik 34	441592,63	9134535,33	5,5935
Titik 35	437577,80	9133617,13	4,8775

Berdasarkan nilai faktor amplifikasi tanah (A_g) yang diperoleh dari hasil perekaman mikrotremor lapangan di Kapanewon Berbah, dapat dibuat peta persebaran nilai faktor amplifikasi tanah (A_g) dengan mengklasifikasikan tipe dan jenis A_g sesuai dengan Tabel 3.1 maka diperoleh peta persebaran nilai faktor amplifikasi tanah di Kapanewon Berbah seperti pada Gambar 5.11 berikut.



Gambar 5.11 Peta Persebaran Nilai Faktor Amplifikasi Tanah (A_g)

Berdasarkan Tabel 3.1 terkait klasifikasi nilai faktor amplifikasi, persebaran pada wilayah penelitian ini berada pada zona dengan nilai yang relatif rendah hingga sangat tinggi. Daerah dengan nilai faktor amplifikasi tanah (A_g) rendah berada pada Kelurahan Tegaltirto (titik 5) dan Kelurahan Jogotirto (titik 22) dengan nilai A_g kurang dari 3 ($A_g < 3$). Daerah dengan nilai faktor amplifikasi tanah (A_g) sedang berada pada Kelurahan Kalitirto (titik 1, 2, 3, 4, 9, dan 10), Kelurahan Tegaltirto (titik 5, 7, 8, 19, 29 dan 34), Kelurahan Sendangtirto (titik 6, 16, 17, 18, 30, 31, dan 32), Kelurahan Jogotirto (titik 21, 23, 24, 25, 26, 28 dan 35) dengan nilai A_g lebih dari sama dengan 3 dan kurang dari 6 ($3 \leq A_g < 6$). Daerah dengan nilai amplifikasi tanah (A_g) tinggi berada pada Kelurahan Kalitirto (titik 11 dan 14), Kelurahan Jogotirto (titik 12, 13, dan 27), Kelurahan Tegaltirto (titik 15 dan 20),

Kelurahan Sendangtirto (titik 33) dengan nilai A_g lebih dari sama dengan 6 dan kurang dari 9 ($6 \leq A_g < 9$). Nilai faktor amplifikasi tanah (A_g) berbeda antara satu titik dengan titik lain walaupun dalam satu kelurahan dipengaruhi oleh kondisi geologi dan topologi yang bervariasi akibat dari gempa bumi, hal ini yang dapat mempengaruhi karakteristik perambatan gelombang didalam tanah.

5.5 Analisa Nilai Frekuensi Dominan Tanah (F_g)

Frekuensi merupakan banyaknya gelombang yang terjadi dalam satuan waktu. Frekuensi dominan tanah adalah frekuensi yang terjadi pada saat kurva HVSR mencapai puncak. Besar frekuensi dominan dipengaruhi oleh besarnya ketebalan sedimen (h) dan besarnya kecepatan gelombang geser tanah (V_s). Keras lunaknya lapisan dibawah permukaan berpengaruh terhadap besar nilai kecepatan gelombang geser tanah. Frekuensi dominan berbanding lurus dengan kecepatan gelombang geser tanah dan berbanding terbalik dengan ketebalan sedimen. Nilai frekuensi dominan tanah di Kapanewon Berbah Kabupaten Sleman berkisar antara 0,5809 Hz sampai dengan 3,5230 Hz. Hasil selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut.

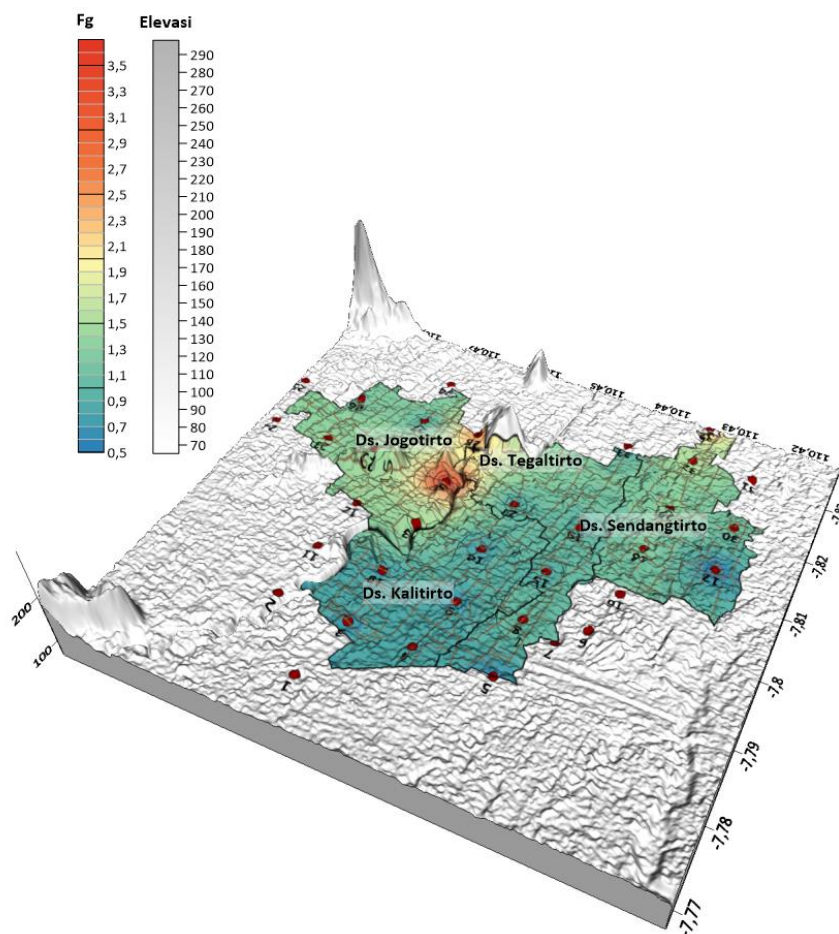
Tabel 5.6 Nilai Frekuensi Dominan Tanah (F_g) di Kapanewon Berbah

Titik	X	Y	F_g
Titik 1	440647,71	9140566,59	0,6103
Titik 2	441573,80	9139522,12	0,6412
Titik 3	440512,29	9139535,93	0,7621
Titik 4	439591,86	9139515,73	0,8007
Titik 5	438485,63	9139494,49	0,6412
Titik 6	437712,00	9138286,64	0,7621
Titik 7	438026,99	9138634,09	1,1038
Titik 8	438544,98	9138469,50	1,1038
Titik 9	439453,06	9138562,67	0,7254
Titik 10	440566,81	9138546,97	0,7621
Titik 11	441574,12	9138561,62	0,6255
Titik 12	441533,79	9137576,08	1,5216

Lanjutan Tabel 5.6 Nilai Frekuensi Dominan Tanah (F_g) di Kapanewon Berbah

Titik	X	Y	F_g
Titik 13	440626,47	9137501,96	1,5216
Titik 14	439582,70	9137561,54	0,7621
Titik 15	438621,07	9137545,57	0,9518
Titik 16	437587,49	9137484,94	1,2489
Titik 17	436598,10	9136468,59	0,5809
Titik 18	437594,28	9136532,29	1,2489
Titik 19	438538,48	9136543,17	0,9518
Titik 20	439548,86	9136540,84	0,9286
Titik 21	440638,14	9136563,14	3,5230
Titik 22	441760,84	9136668,37	1,4130
Titik 23	442624,69	9136574,48	1,4130
Titik 24	443540,24	9136573,61	1,3785
Titik 25	443670,68	9135559,10	1,3785
Titik 26	442640,07	9135544,57	1,1887
Titik 27	441538,22	9135539,55	1,0000
Titik 28	440670,12	9135439,83	2,4325
Titik 29	437545,61	9135583,54	1,3449
Titik 30	436607,30	9135545,13	1,1038
Titik 31	436670,77	9134439,54	1,2489
Titik 32	437578,45	9134447,18	1,5987
Titik 33	438557,40	9134576,73	0,8839
Titik 34	441592,63	9134535,33	1,1314
Titik 35	437577,80	9133617,13	2,1933

Berdasarkan nilai frekuensi dominan tanah yang diperoleh dengan mengklasifikasikan sesuai dengan Tabel 3.2 maka diperoleh persebaran nilai faktor amplifikasi tanah seperti pada Gambar 5.12 berikut.



Gambar 5.12 Peta Persebaran Frekuensi Dominan Tanah (F_g)

Berdasarkan Tabel 3.2 terkait klasifikasi nilai frekuensi dominan tanah, daerah yang memiliki nilai frekuensi dominan rendah tersebar hampir pada seluruh wilayah penelitian yaitu 34 titik pengukuran dari jumlah total 35 titik pengukuran. Daerah ini termasuk dalam klasifikasi nilai frekuensi dominan Tipe I Jenis IV dengan nilai frekuensinya kurang dari 2,5 Hz dan ketebalan sedimen termasuk dalam kategori sangat tebal (lebih dari 30 meter). Daerah yang memiliki frekuensi dominan sedang yaitu berada pada Kelurahan Jogotirto tepatnya pada titik 21. Daerah ini termasuk dalam klasifikasi nilai frekuensi dominan Tipe II Jenis III dengan nilai frekuensinya antara 2,5 Hz sampai dengan 4,0 Hz dan ketebalan sedimen termasuk dalam kategori tebal (sekitar 10 sampai dengan 30 meter). Daerah yang memiliki frekuensi dominan tinggi dan termasuk dalam klasifikasi Tipe II Jenis II dengan nilai frekuensinya antara 4,00 Hz sampai dengan 6,67 Hz

dan ketebalan sedimen termasuk kategori menengah (sekitar 10 sampai dengan 30 meter) tidak dijumpai dalam penelitian ini. Akan tetapi, terdapat daerah dengan klasifikasi Tipe I Jenis IV dengan frekuensi antara 6,67 Hz sampai dengan 20,0 Hz berada pada Kelurahan Jogotirto tepatnya pada titik 28. Pada daerah ini ketebalan sedimen termasuk dalam kategori sangat tipis dan didominasi oleh batuan keras.

5.6 Analisa Nilai Indeks Kerentanan Seismik (K_g)

Nilai indeks kerentanan seismik (K_g) didapatkan berdasarkan nilai faktor amplifikasi tanah dan nilai frekuensi dominan tanah dengan contoh perhitungan pada titik 7 sebagai berikut.

$$\begin{aligned} K_g &= \frac{A_g^2}{F_g} \\ &= \frac{4,1035^2}{1,1038} \\ &= 15,2549 \end{aligned}$$

Tinggi rendahnya nilai indeks kerentanan seismik dipengaruhi oleh nilai faktor amplifikasi tanah dan nilai frekuensi dominan tanah. Nilai indeks kerentanan seismik yang tinggi diperoleh pada daerah penelitian yang memiliki nilai faktor amplifikasi tanah yang tinggi dan nilai frekuensi dominan tanah rendah. Sedangkan nilai indeks kerentanan seismik yang rendah diperoleh dari daerah penelitian yang memiliki faktor amplifikasi tanah yang rendah dan frekuensi dominan yang tinggi. Nilai amplifikasi tinggi dan frekuensi dominan rendah ini berkaitan dengan daerah yang memiliki ketebalan sedimen yang tinggi pula. Daerah tersebut kemungkinan berada pada dataran rendah dan bukan pada daerah perbukitan.

Hasil penelitian pada Daerah Kapanewon Berbah menunjukkan nilai indeks kerentanan seismik tanah berkisar antara 1,8602 sampai dengan 91,0996. Hasil selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.7 sebagai berikut.

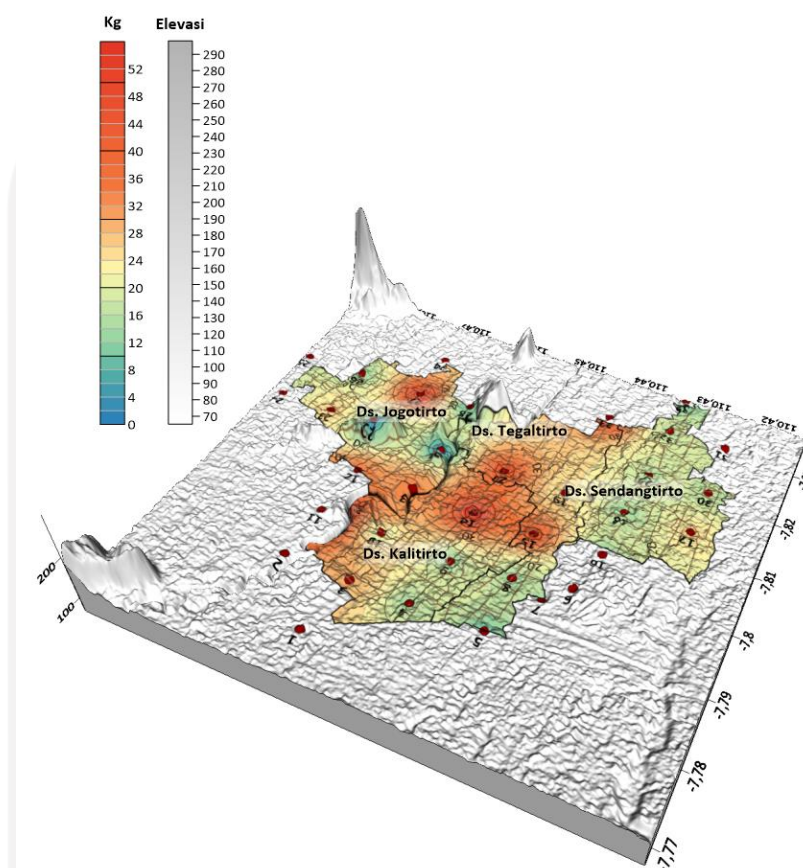
Tabel 5.7 Nilai Indeks Kerentanan Seismik (K_g) di Kapanewon Berbah

Titik	X	Y	A0
Titik 1	440647,71	9140566,59	27,0892
Titik 2	441573,80	9139522,12	26,6925

Lanjutan Tabel 5.7 Nilai Indeks Kerentanan Seismik (K_g) di Kapanewon Berbah

Titik	X	Y	A0
Titik 3	440512,29	9139535,93	28,4512
Titik 4	439591,86	9139515,73	14,9692
Titik 5	438485,63	9139494,49	10,4794
Titik 6	437712,00	9138286,64	13,3052
Titik 7	438026,99	9138634,09	15,2549
Titik 8	438544,98	9138469,50	14,9392
Titik 9	439453,06	9138562,67	14,2548
Titik 10	440566,81	9138546,97	20,1175
Titik 11	441574,12	9138561,62	91,0996
Titik 12	441533,79	9137576,08	33,9480
Titik 13	440626,47	9137501,96	33,9480
Titik 14	439582,70	9137561,54	53,5277
Titik 15	438621,07	9137545,57	42,6725
Titik 16	437587,49	9137484,94	13,6326
Titik 17	436598,10	9136468,59	24,9317
Titik 18	437594,28	9136532,29	13,9068
Titik 19	438538,48	9136543,17	23,7625
Titik 20	439548,86	9136540,84	42,5136
Titik 21	440638,14	9136563,14	4,2000
Titik 22	441760,84	9136668,37	1,8602
Titik 23	442624,69	9136574,48	25,3380
Titik 24	443540,24	9136573,61	18,2909
Titik 25	443670,68	9135559,10	14,9976
Titik 26	442640,07	9135544,57	14,6676
Titik 27	441538,22	9135539,55	49,5397
Titik 28	440670,12	9135439,83	9,7604
Titik 29	437545,61	9135583,54	16,8005
Titik 30	436607,30	9135545,13	16,2701
Titik 31	436670,77	9134439,54	16,4071
Titik 32	437578,45	9134447,18	17,3751
Titik 33	438557,40	9134576,73	45,6696
Titik 34	441592,63	9134535,33	27,6537
Titik 35	437577,80	9133617,13	10,8464

Sebaran nilai indeks kerentanan seismik di Kapanewon Berbah ditunjukkan pada Gambar 5.13. Menurut Daryono, dkk (2009), nilai $Kg < 10$ memiliki indeks kerentanan seismik rendah, $10 < Kg < 20$ memiliki indeks kerentanan seismik sedang, dan $Kg > 20$ memiliki indeks seismik dalam zona bahaya.



Gambar 5.13 Peta Persebaran Nilai Indeks Kerentanan Seismik (Kg)

5.7 Analisa Ketebalan Sedimen (h)

Untuk dapat menentukan nilai ketebalan sedimen (h) dapat dihitung menggunakan rumus seperti dalam persamaan (3.9). Dalam penelitian ini ketebalan sedimen dihitung menggunakan kecepatan gelombang geser (V_s) dari inversi kurva HVSr. Metode ini masih relatif murah jika dibandingkan dengan penggunaan metode – metode yang bersifat aktif atau pengukuran secara langsung seperti *borehole*, *crosshole*, *downhole*, dll. Metode yang digunakan untuk mendapatkan estimasi nilai kecepatan gelombang geser (V_s) dari pengukuran mikrotremor lapangan adalah metode *ellipticity curve* dengan bantuan *software Dinver*. Hasil

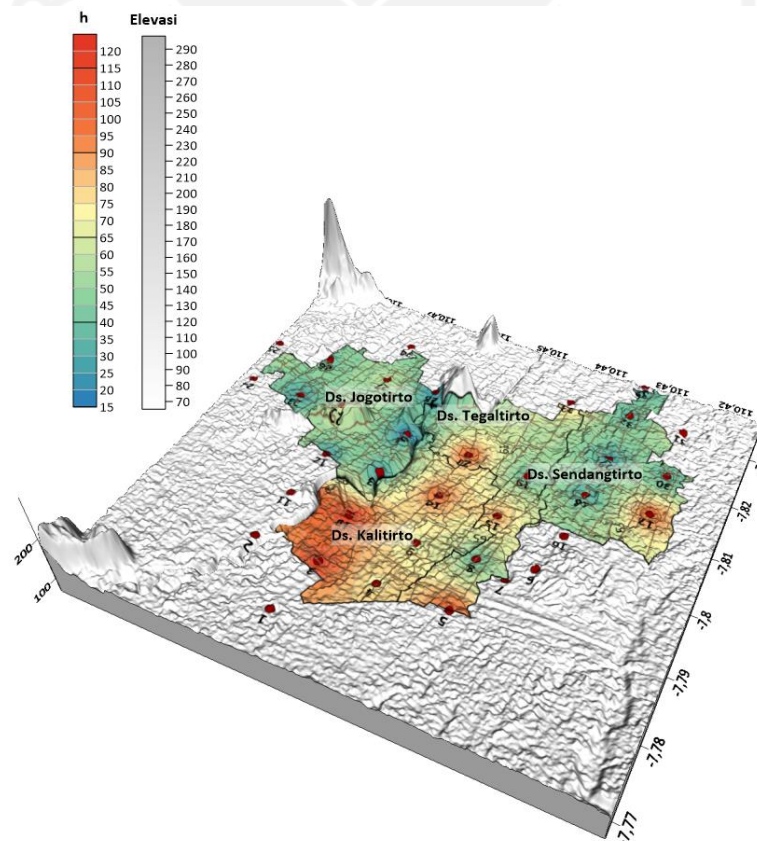
dari model tersebut berupa *ground profiles* dan grafik V_s . Model yang akan digunakan adalah model dengan hasil *misfit* terendah karena termasuk sebagai model terbaik. dengan Nilai V_s rata – rata dari inversi kurva HVSR pada daerah penelitian berkisar antara 203,21 m/s sampai dengan 379,04 m/s. setelah mendapatkan nilai V_s maka dapat dimasukkan dalam persamaan (3.13) dengan contoh perhitungan pada titik 14 sebagai berikut. Hasil perhitungan tebal lapisan sedimen selengkapanya dapat dilihat pada Tabel 5.8.

$$h = \frac{V_s}{4 \times Fg}$$

$$= \frac{294,478}{4 \times 0,7621}$$

$$= 96,60 \text{ m}$$

sehingga dapat diperoleh nilai ketebalan sedimen antara 19,67 meter sampai dengan 158,68 meter seperti Gambar 5.14 berikut.



Gambar 5.14 Peta Persebaran Ketebalan Sedimen (h)

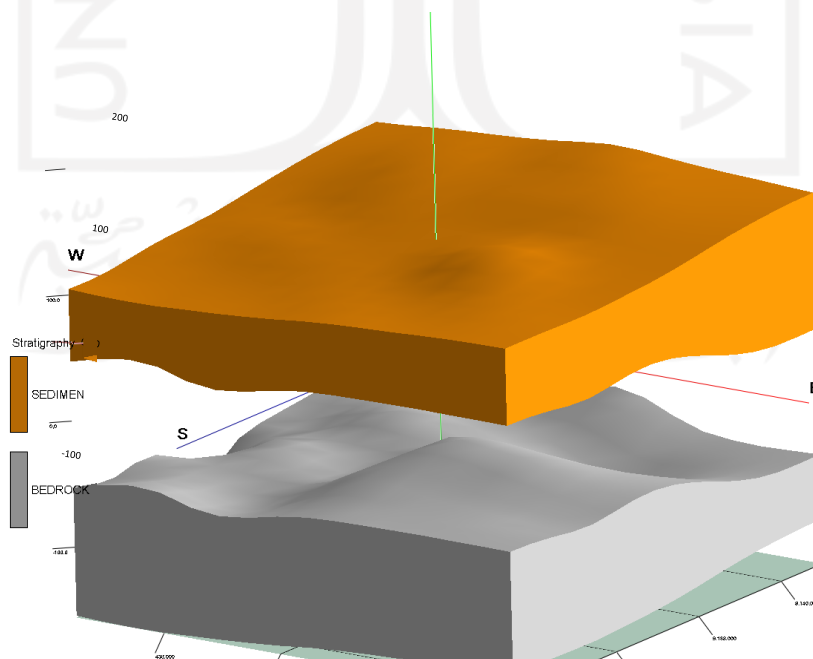
Tabel 5.8 Tebal Lapisan Sedimen (*h*) di Kapanewon Berbah

Titik	X	Y	h
Titik 1	440647,71	9140566,59	83,2473
Titik 2	441573,80	9139522,12	144,5114
Titik 3	440512,29	9139535,93	113,6334
Titik 4	439591,86	9139515,73	99,7401
Titik 5	438485,63	9139494,49	111,0496
Titik 6	437712,00	9138286,64	111,7341
Titik 7	438026,99	9138634,09	58,3416
Titik 8	438544,98	9138469,50	69,5733
Titik 9	439453,06	9138562,67	83,9404
Titik 10	440566,81	9138546,97	116,5476
Titik 11	441574,12	9138561,62	158,6802
Titik 12	441533,79	9137576,08	54,8231
Titik 13	440626,47	9137501,96	40,8 351
Titik 14	439582,70	9137561,54	96,5953
Titik 15	438621,07	9137545,57	83,8097
Titik 16	437587,49	9137484,94	73,5639
Titik 17	436598,10	9136468,59	132,2001
Titik 18	437594,28	9136532,29	50,9515
Titik 19	438538,48	9136543,17	75,7327
Titik 20	439548,86	9136540,84	96,3440
Titik 21	440638,14	9136563,14	19,6655
Titik 22	441760,84	9136668,37	62,5551
Titik 23	442624,69	9136574,48	43,1328
Titik 24	443540,24	9136573,61	62,2590
Titik 25	443670,68	9135559,10	69,4341
Titik 26	442640,07	9135544,57	69,1711
Titik 27	441538,22	9135539,55	58,6730
Titik 28	440670,12	9135439,83	29,5594
Titik 29	437545,61	9135583,54	62,3859
Titik 30	436607,30	9135545,13	50,6465
Titik 31	436670,77	9134439,54	71,0115
Titik 32	437578,45	9134447,18	46,6074
Titik 33	438557,40	9134576,73	82,1611
Titik 34	441592,63	9134535,33	58,3268
Titik 35	437577,80	9133617,13	32,9421

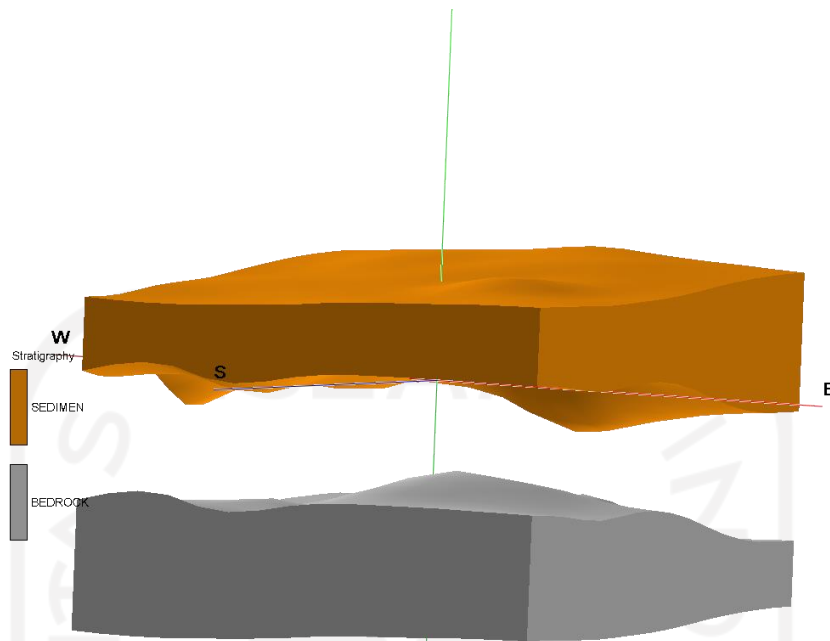
5.8 Model 3D Lapisan Sedimen dan *Bedrock*

Model 3D lapisan sedimen dan *bedrock* merupakan model 3 dimensi yang menggambarkan ketebalan sedimen dan lapisan *bedrock* dari hasil pengukuran dan perhitungan yang telah dilaksanakan pada daerah penelitian. Hal ini dapat menjadi acuan untuk menentukan area – area yang memiliki potensi rawan gempa bumi. Permodelan lapisan pada penelitian ini dibagi menjadi 2 bagian, yaitu lapisan lunak (lapisan sedimen) dan lapisan keras (lapisan *bedrock*) yang berada dibawah lapisan sedimen. Permodelan 3D lapisan sedimen dan *bedrock* dapat dilihat pada Gambar 5.15.

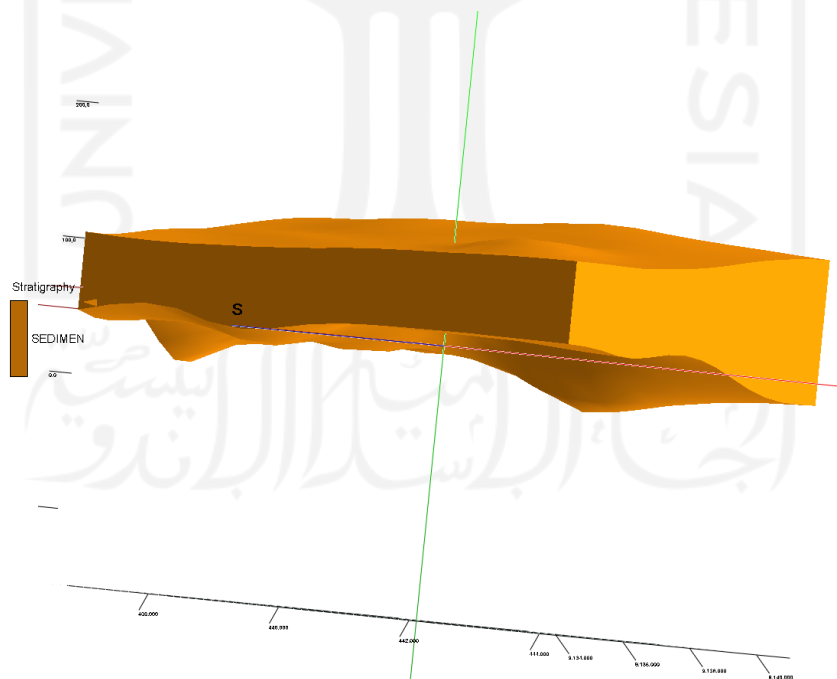
Terdapat korelasi antara kedalaman sedimen, frekuensi dominan dan faktor amplifikasi. Pada saat kedalaman sedimen menunjukkan nilai tinggi akan didapatkan nilai faktor amplifikasi tanah yang besar juga sedangkan nilai frekuensi dominan akan rendah. Hal ini dikarenakan pada kondisi kedalaman sedimen menunjukkan nilai yang tinggi, gelombang gempa akan terjebak dan terjadi perlambatan gelombang pada daerah tersebut. Kondisi itulah yang membuat nilai faktor amplifikasi tanah menjadi tinggi sehingga daerah yang memiliki kedalaman sedimen tinggi akan memiliki potensi kerusakan yang besar terhadap guncangan gempa bumi.



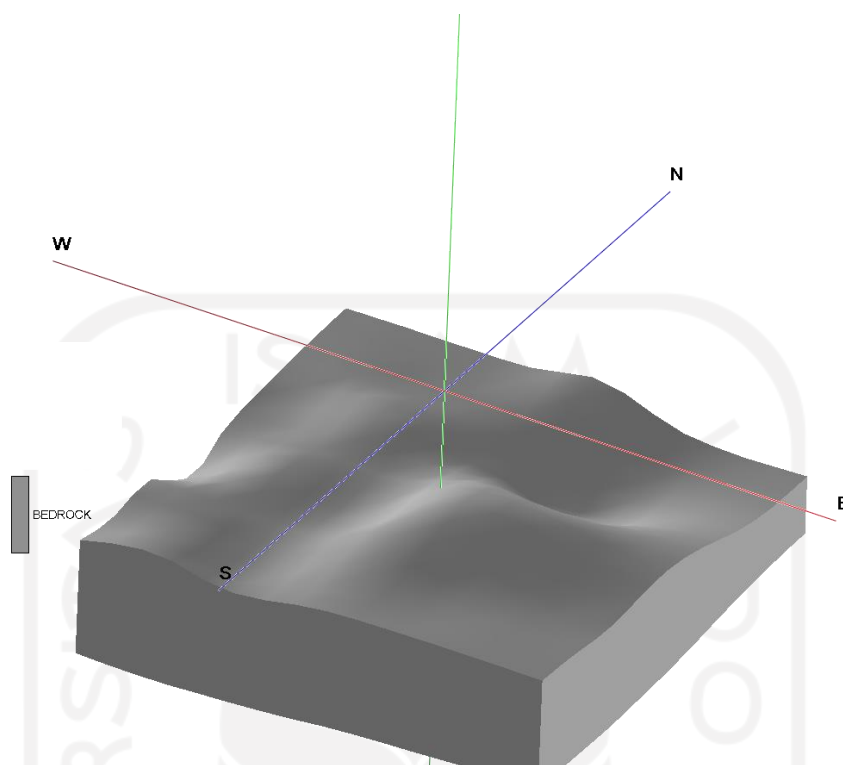
Gambar 5.15 Model 3D Lapisan Sedimen dan *Bedrock*



Gambar 5.16 Tampak Samping Model Lapisan Sedimen dan *Bedrock*



Gambar 5.17 Model 3D Lapisan Sedimen



Gambar 5.18 Model 3D Lapisan *Bedrock*

Pada Gambar 5.16 memperlihatkan tampak samping model 3D untuk mengetahui distribusi ketebalan daerah penelitian bagian tengah model. Hasil tampak samping tersebut menunjukkan bahwa daerah penelitian sisi utara dan timur tersebut dominan memiliki lapisan sedimen yang cukup tebal. Gambar 5.17 memperlihatkan model 3D lapisan sedimen Kapanewon Berbah. Dilihat dari model 3D tersebut dapat diketahui bahwa beberapa daerah penelitian bagian selatan memiliki ketebalan sangat tinggi seperti di Kelurahan Tegaltirto bagian selatan dan di Kelurahan Sendangtirto bagian selatan. Hal ini dikarenakan daerah tersebut tersusun dari endapan aluvial vulkanik dan terletak pada formasi merapi muda. Ketebalan tersebut menurun pada sisi timur daerah penelitian yang didominasi dataran tinggi seperti pada Kelurahan Tegaltirto bagian Timur, Kelurahan Kalitirto, dan Kelurahan Jogotirto bagian Barat. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 5.18 yang menunjukkan lapisan *bedrock* pada daerah tersebut.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil penelitian identifikasi latipisan sedimen dan *bedrock* di Kapanewon Berbah Kabupaten Sleman menggunakan Mikrotremor Lapangan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Persebaran nilai faktor amplifikasi tanah (A_g) pada daerah penelitian berkisar antara 1,621 sampai 7,549 dengan klasifikasi daerah sebagian besar termasuk kedalam zona sedang dan tinggi. Nilai frekuensi dominan (f_g) pada daerah daerah penelitian berkisar antara 0,5809 Hz sampai dengan 3,523 Hz dengan rata – rata nilai frekuensi termasuk rendah atau kurang dari 2,5 Hz yang tersebar di sebagian besar daerah penelitian. Nilai indeks kerentanan seismik (k_g) pada daerah penelitian berkisar antara 1,8602 sampai dengan 91,0996 dengan rata – rata daerah penelitian termasuk dalam kategori zona bahaya.
2. Hasil inversi kurva HVSR menggunakan metode *ellipticity curve* menghasilkan nilai V_s rata - rata 203,21 m/s sampai dengan 379,04 m/s, sehingga diperoleh tebal lapisan sedimen (h) pada daerah penelitian 19,67 meter sampai dengan 158,68 meter.
3. Berdasarkan hasil persebaran nilai faktor amplifikasi tanah, frekuensi dominan, dan ketebalan sedimen diketahui bahwa ketebalan sedimen atau lapisan lunak pada sisi utara sangat tebal hingga 158,68 meter karena tersusun oleh formasi merapi muda yang didominasi oleh *tuff* dan endapan abu vulkanik. Berbeda dengan daerah penelitian sisi selatan yang ketebalan sedimennya lebih tipis hingga 19,67 meter karena didominasi oleh *bedrock* atau batuan dasar yang tebal.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilaksanakan, maka diperoleh beberapa saran untuk penelitian selanjutnya, antara lain sebagai berikut.

1. Perlu dilakukan pengambilan data bor untuk mengetahui lapisan – lapisan penyusun bawah permukaan yang digunakan pada inversi kurva HVSR dengan metode *ellipticity curve* secara lebih akurat.



DAFTAR PUSTAKA

- Aki, K, dan Richards, P. G. 2002. *Quantitative Seismology (second edition)* University Science Saisaito, CA: University Science Books.
- Ambarsari, Deviana. 2017. *Analisis Mikrotremor Dengan Metode HVSR Untuk Mikrozonasi Kabupaten Gunungkidul Yogyakarta*. Surabaya: Skripsi, Institut Teknologi Sepuluh November.
- Arifin, Satria S., Mulyatno, Bagus S., Marjityono, dan Setianegara, Roby. 2014. “Penentuan Zona Rawan Guncangan Bencana Gempa Bumi Berdasarkan Analisis Nilai Amplifikasi HVSR Mikrotremor dan Analisis Periode Dominan Daerah Liwa dan Sekitarnya” dalam *jurnal Geofisika Eksplorasi Vol. 2/No. 1* (Hlm 30-46) Lampung: Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas teknik, Universitas Lampung.
- Arifudin. Anggit Mas. 2018. *Karakteristik Situs Dan Kerentanan Seismik Di Kabupaten Klaten Dengan Metode Horizontal To Vertical Spectral Ratio (HVSR) Dari Data Mikrotremor*. Yogyakarta: Tesis, Universitas Islam Indonesia.
- Badan Perencanaan dan Pembangunan Nasional (BAPPENAS). 2006. *Penilaian Awal Kerusakan dan Kerugian Bencana Alam di Yogyakarta dan Jawa Tengah*. Jakarta
- Ciptakarya, 2006, Program Rehabilitasi Gempa DI. Yogyakarta dan Jawa Tengah. <http://ciptakarya.pu.go.id/dok/gempa/main.htm>. Diakses pada 14 Mei 2022.
- Daryono, Sutikno, Sartohadi, J., Dulbahri, & Brotopuspito, K.S. (2009). Efek tapak lokal di Graben Bantul berdasarkan pengukuran mikrotremor, *International Conference Earth Science and Technology*, Yogyakarta:UGM
- Datyono, Sutikno, Prayitni, dan Setio. B. 2009. *Local Site Effect of Graben Bantul Using Microtemor Measurement, Proceedings of International Conference Earht Science and Technology*, Yogyakarta: Department of Geological Engineering, Gajah Mada University.

- Duarte, dkk. Introduction to Plate Boundaries and Natural Hazards. 2016. USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Hesti, Suharno, Mulyasari. R, dan Hidayatika. A. 2021. "Analisis Karakteristik Lapisan Sedimen Berdasarkan Data Mikrotremor di Area Rumah Sakit Pendidikan UNILA" dalam *JGE (Jurnal Geofisika Eksplorasi) Vol. 07 no. 02* (hlm 150-159) Lampung: Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas teknik, Universitas Lampung.
- Maslikhah, Khariza.Nurul. 2020. *Identifikasi lapisan sedimen dan lapisan bedrock menggunakan metode mikrotremor di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno Kabupaten Klaten*. Yogyakarta: Skripsi, Universitas Negeri Yogyakarta.
- Nakamura, Y. 1989. *A Method for dynamic characteristics estimation of surface layers using microtremor on the surface*, RTRI Report 4, 18-27.
- Nakamura Y. 2000. *Clear Identification of Fundamental Idea of Nakamura's Technique and Its Applications*. Japan: System and Data Research.
- Rupar. L and Gosar. A. 2020. "Mapping The Thickness Of Quaternary Sediments In The Iška Alluvial Fan (Central Slovenia) Using Microtremor Method." *Acta Geodyn. Geomater.*, Vol. 17, No. 2 (198), 177–190.
- Saaduddin, Sismanto, Marjiyono, 2015. Pemetaan indeks kerentanan seismik Kota Padang dan korelasinya dengan titik kerusakan gempa bumi 30 September 2009. Prosiding Seminar Nasional Kebumihan ke-8, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta, 459-466.
- SESAME. 2004. *Guidelines for the Implementation of the H/V Spectral Ratio technique on Ambient Vibrations*. Europe: SESAME European Research Project.
- Setiawan, Budi, Rosid, Muhammad Syamsu. 2008. *Pemetaan Tingkat kekerasan Batuan Menggunakan Metode Seismik Refraksi*. Jakarta: Skripsi, Universitas Indonesia
- Sitorus, Nomensen.M.H. 2017. *Estimasi ketebalan lapisan sedimen dan amplifikasi Desa Olak Alen, Blitar*. Surabaya: Skripsi, Institut Teknologi Sepuluh November.

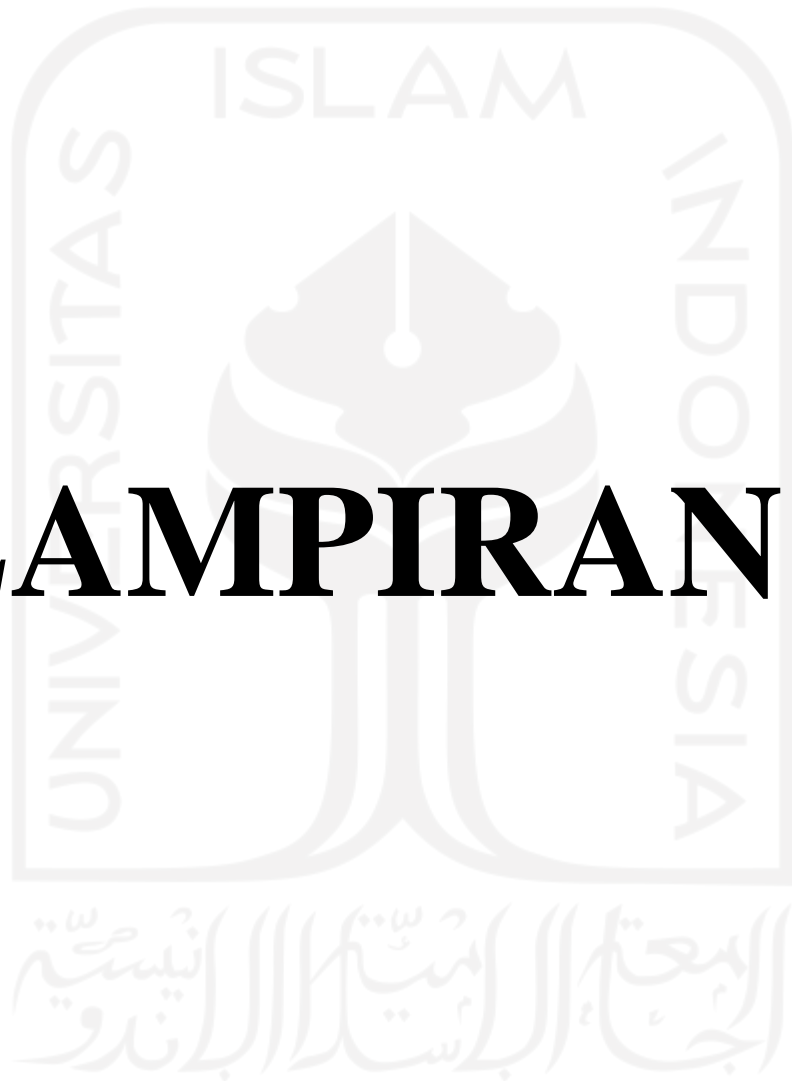
Sunarjo, Gunawan. M. T dan Pribadi. S. 2012. *Gempa Bumi Edisi Populer*. Jakarta: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.

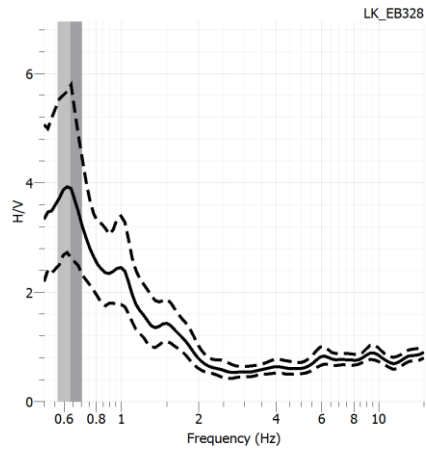
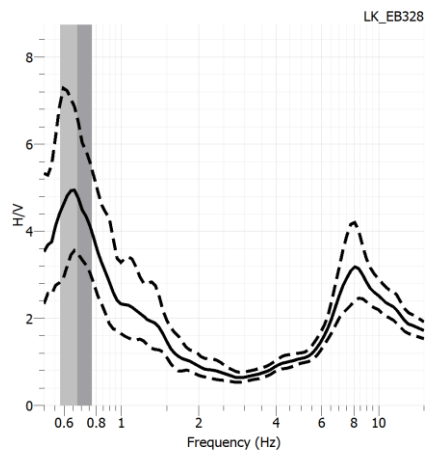
Sungkowo. A. 2016. *Studi Kerentanan Seismik dan Karakteristik Dinamik Tanah di Kota Yogyakarta dari Data Mikrotremor*. Yogyakarta: Tesis, Universitas Islam Indonesia

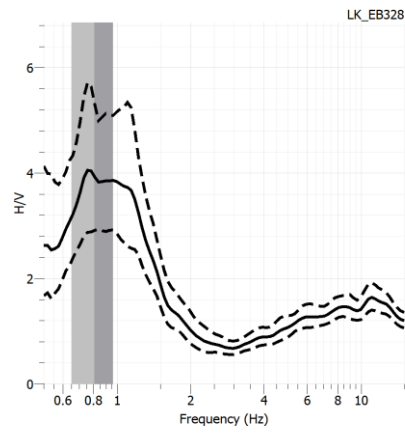
USGS, 2016, This Dynamic Earth: The Story of Plate Tectonics <https://pubs.usgs.gov/gip/dynamic/dynamic.html>. Diakses pada 14 Mei 2022



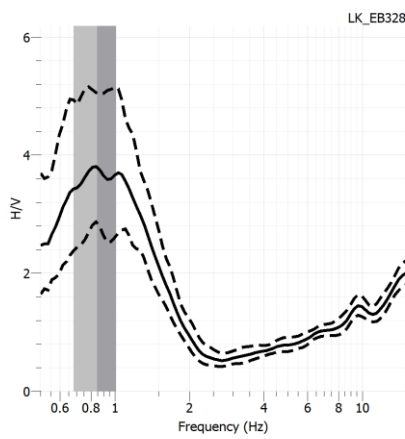
LAMPIRAN



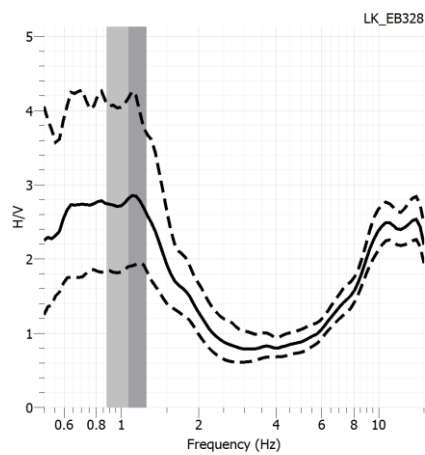
Lampiran 1 Gambar Kurva HVSR**Gambar L-1.1 Kurva HVSR Titik 1****Gambar L-1.2 Kurva HVSR Titik 2**



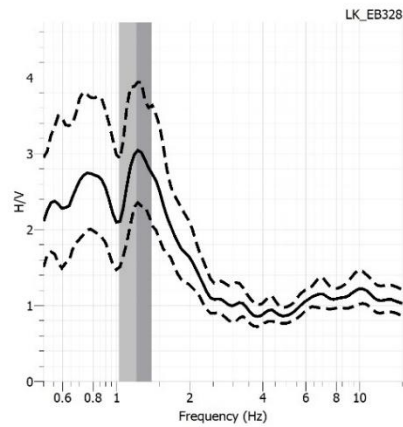
Gambar L-1.3 Kurva HVSR Titik 3



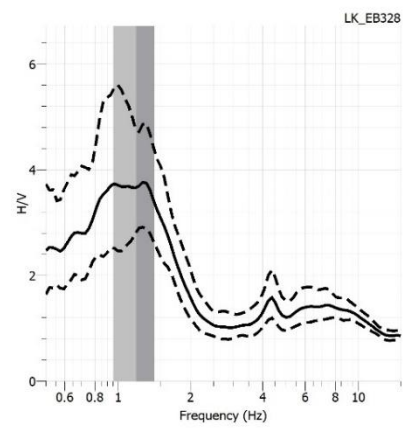
Gambar L-1.4 Kurva HVSR Titik 4



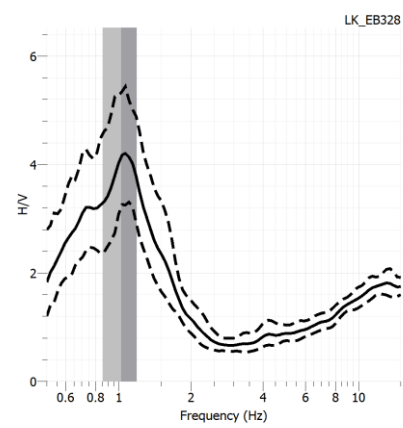
Gambar L-1.5 Kurva HVSR Titik 5



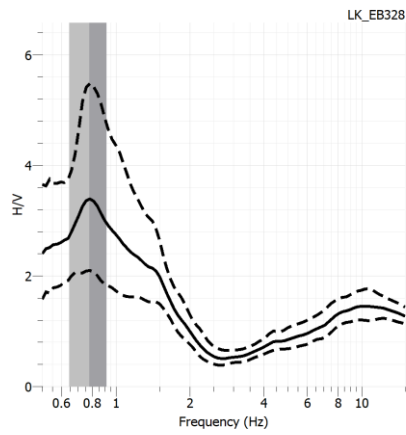
Gambar L-1.6 Kurva HVSr Titik 6



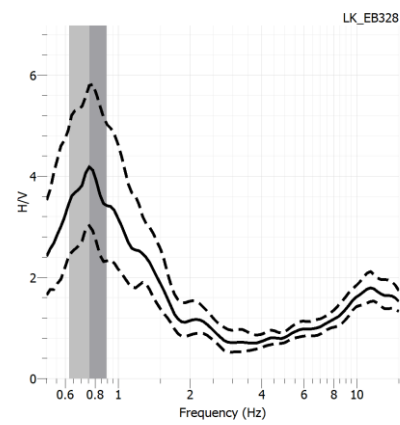
Gambar L-1.7 Kurva HVSr Titik 7



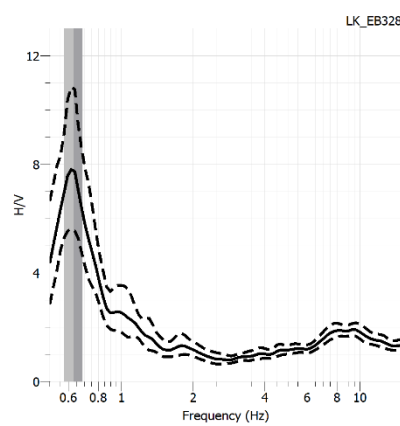
Gambar L-1.8 Kurva HVSr Titik 8



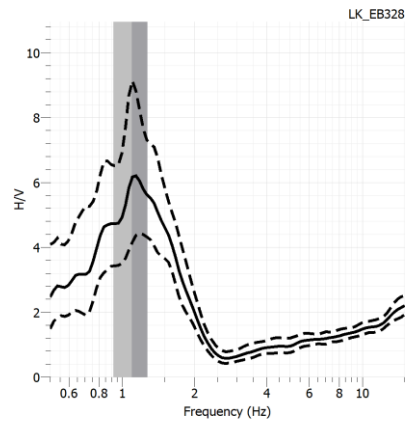
Gambar L-1.9 Kurva HVSr Titik 9



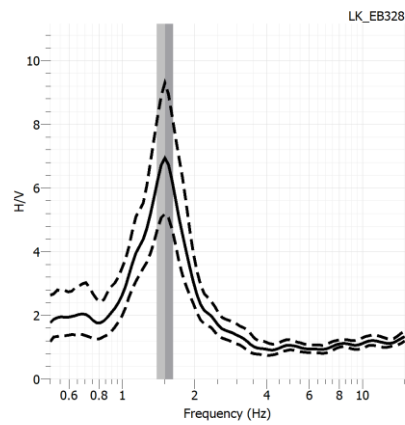
Gambar L-1.10 Kurva HVSr Titik 10



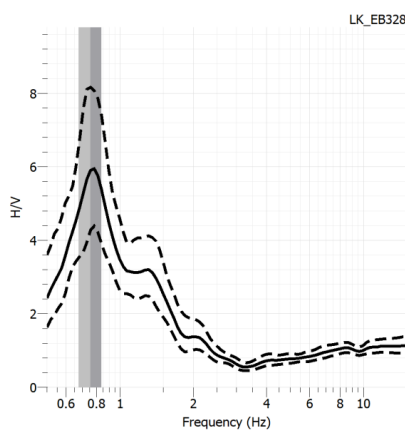
Gambar L-1.11 Kurva HVSr Titik 11



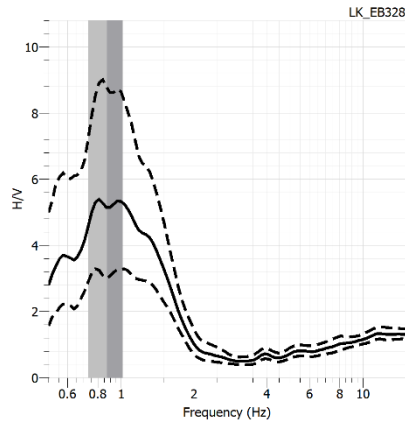
Gambar L-1.12 Kurva HVSr Titik 12



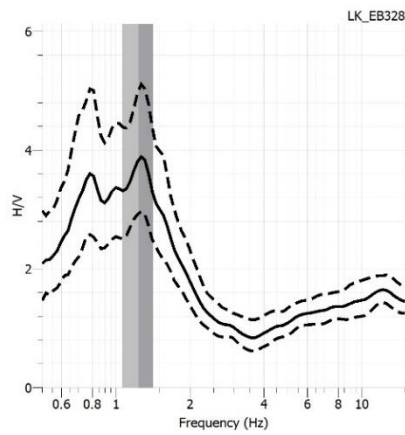
Gambar L-1.13 Kurva HVSr Titik 13



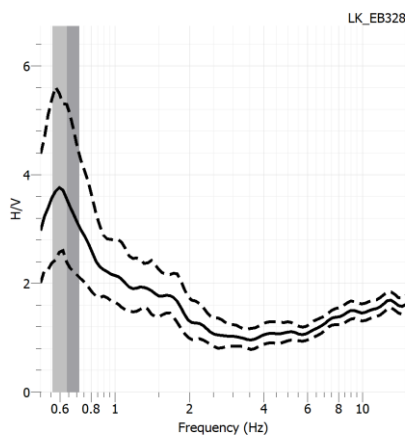
Gambar L-1.14 Kurva HVSr Titik 14



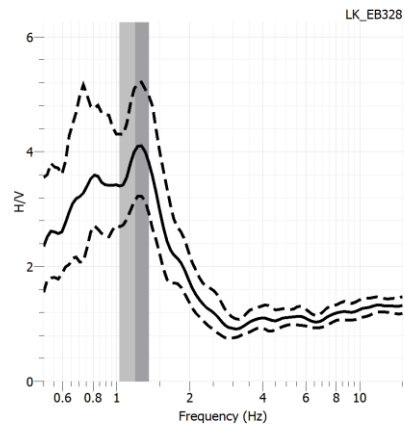
Gambar L-1.15 Kurva HVSR Titik 15



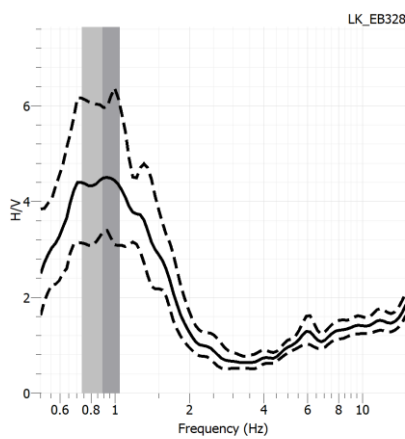
Gambar L-1.16 Kurva HVSR Titik 16



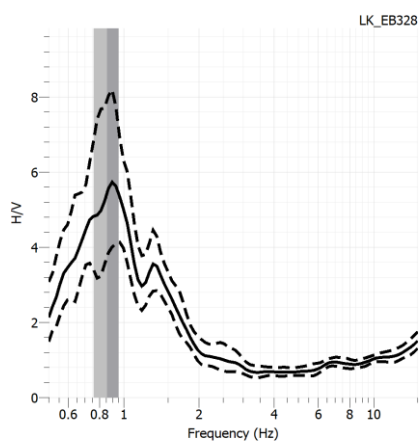
Gambar L-1.17 Kurva HVSR Titik 17



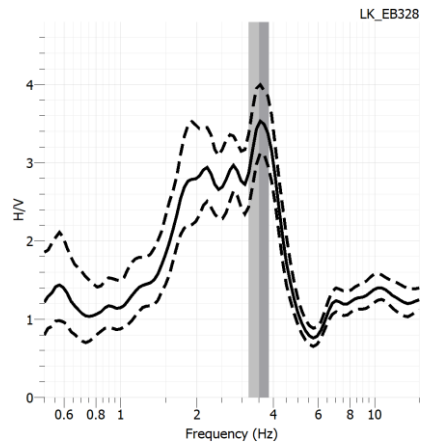
Gambar L-1.18 Kurva HVSR Titik 18



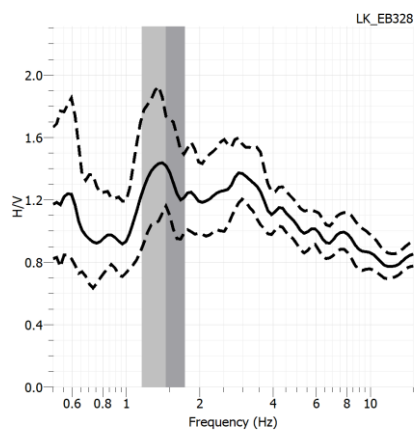
Gambar L-1.19 Kurva HVSR Titik 19



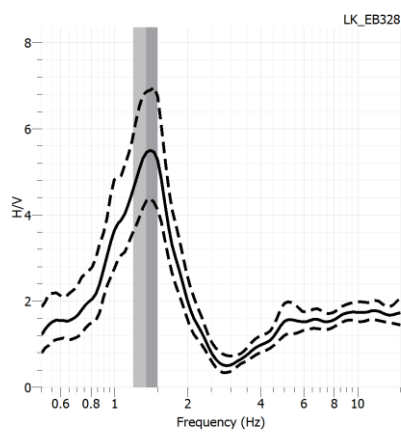
Gambar L-1.20 Kurva HVSR Titik 20



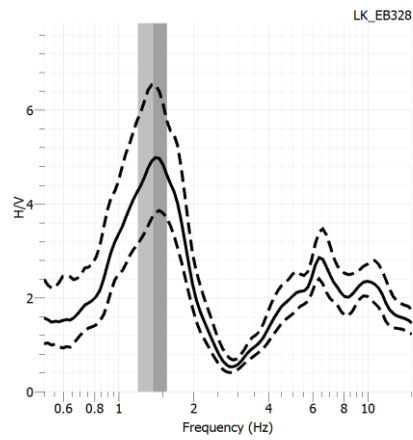
Gambar L-1.21 Kurva HVSr Titik 21



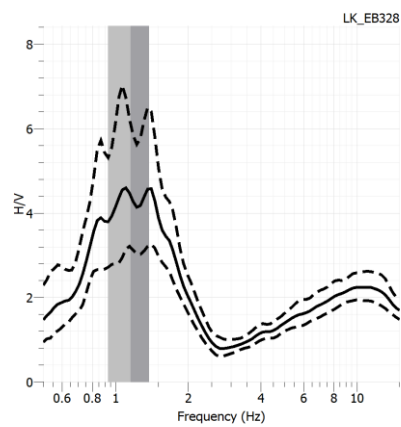
Gambar L-1.22 Kurva HVSr Titik 22



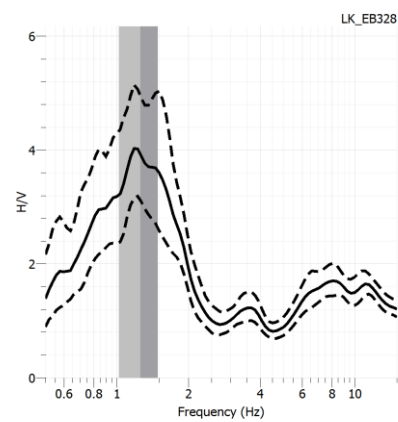
Gambar L-1.23 Kurva HVSr Titik 23



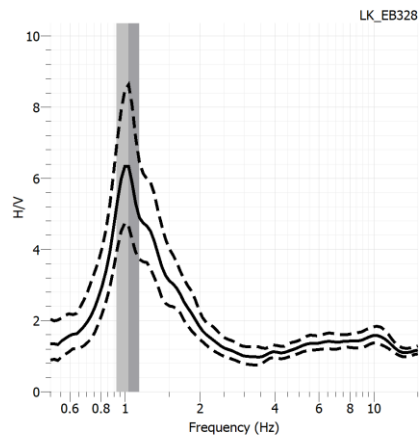
Gambar L-1.24 Kurva HVSr Titik 24



Gambar L-1.25 Kurva HVSr Titik 25



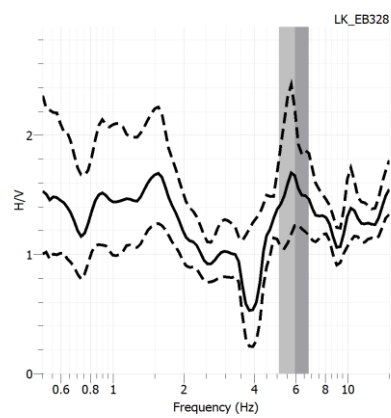
Gambar L-1.26 Kurva HVSr Titik 26



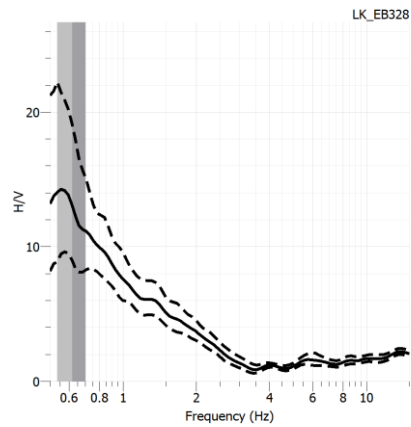
Gambar L-1.27 Kurva HVSr Titik 27



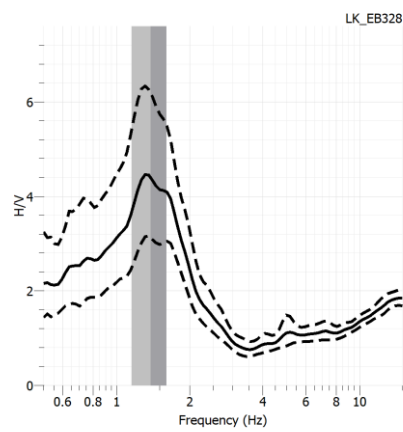
Gambar L-1.28 Kurva HVSr Titik 28



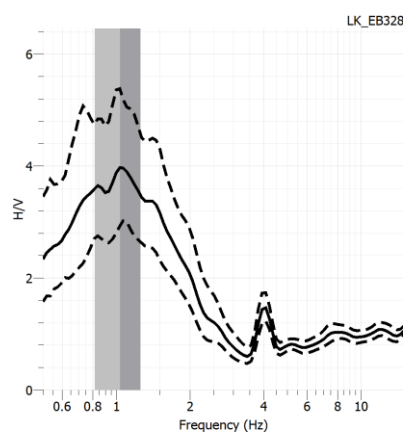
Gambar L-1.29 Kurva HVSr Titik 29



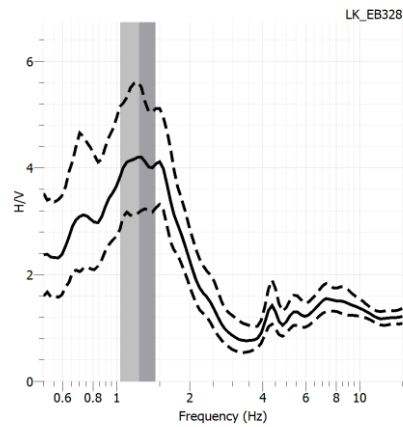
Gambar L-1.30 Kurva HVSr Titik 30



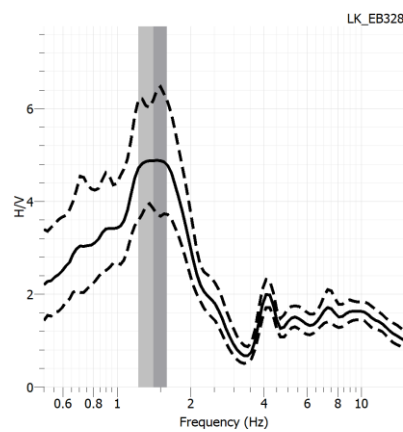
Gambar L-1.31 Kurva HVSr Titik 31



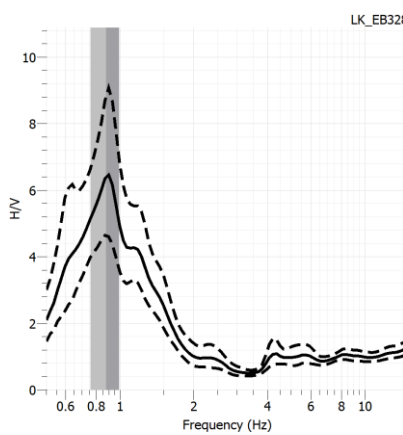
Gambar L-1.32 Kurva HVSr Titik 32



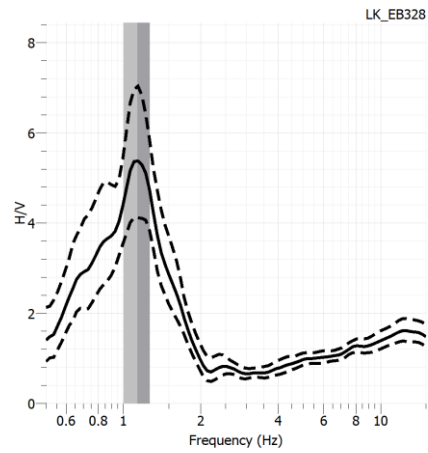
Gambar L-1.33 Kurva HVSR Titik 33



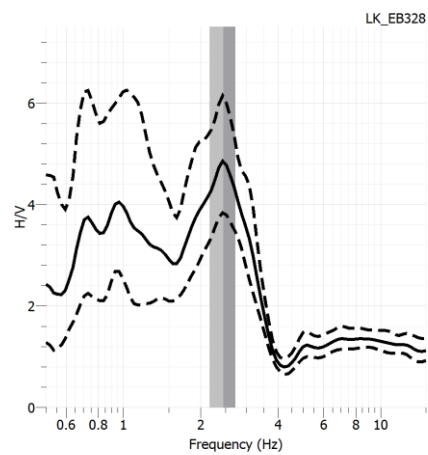
Gambar L-1.34 Kurva HVSR Titik 34



Gambar L-1.35 Kurva HVSR Titik 35



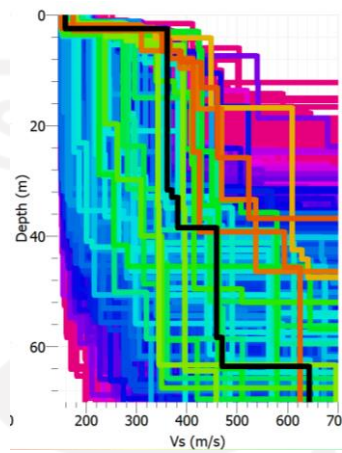
Gambar L-1.36 Kurva HVSr Titik 36



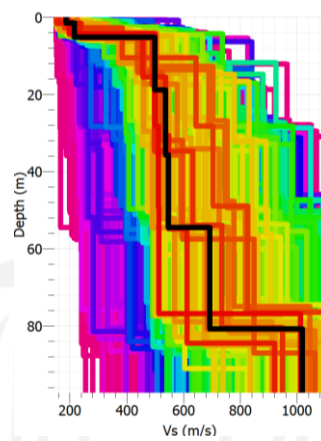
Gambar L-1.37 Kurva HVSr Titik 37

الجمهورية الإسلامية اندونيسية

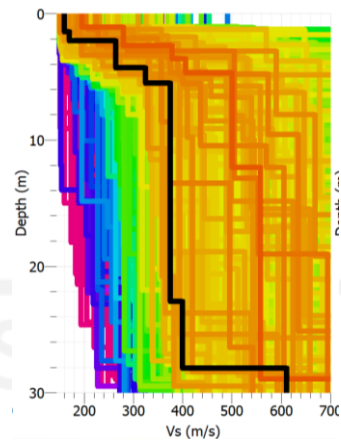
Lampiran 2 Grafik Inversi Kurva HVSR



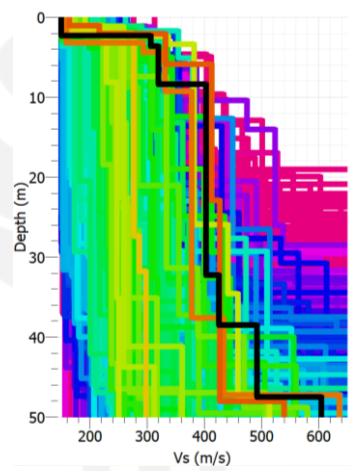
Gambar L-2.1 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 1



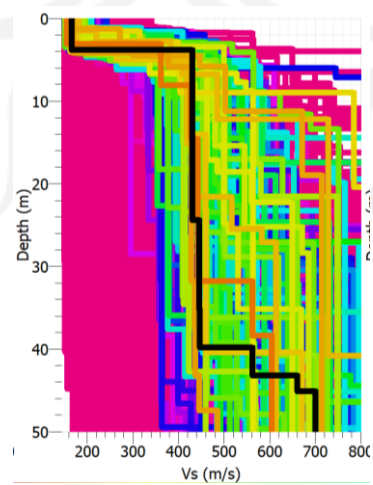
Gambar L-2.2 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 2



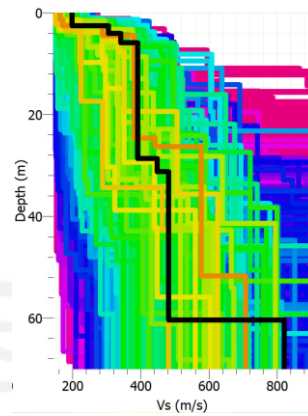
Gambar L-2.3 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 3



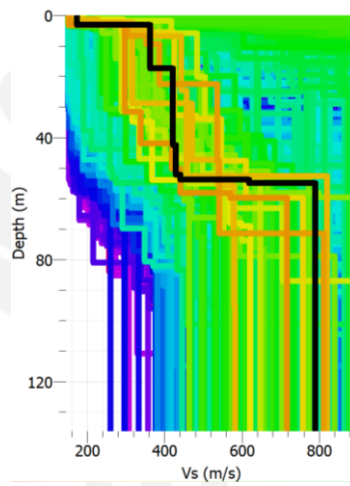
Gambar L-2.4 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 4



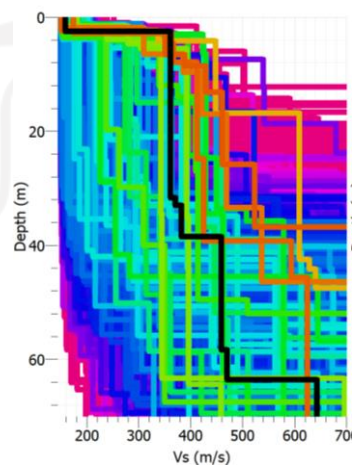
Gambar L-2.5 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 5



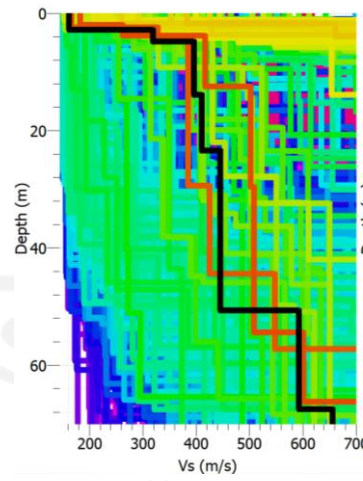
Gambar L-2.6 Grafik Inversi Kurva HVSr Titik 6



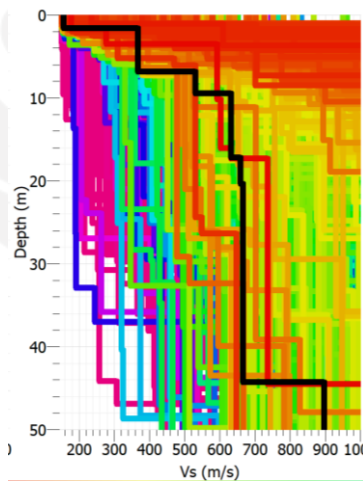
Gambar L-2.7 Grafik Inversi Kurva HVSr Titik 7



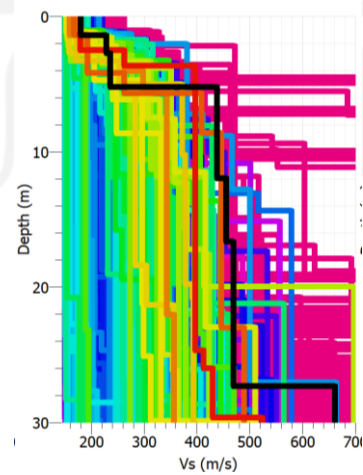
Gambar L-2.8 Grafik Inversi Kurva HVSr Titik 8



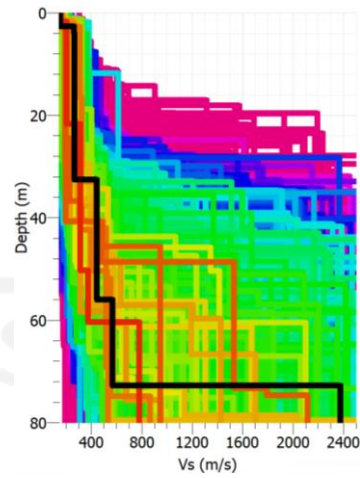
Gambar L-2.9 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 9



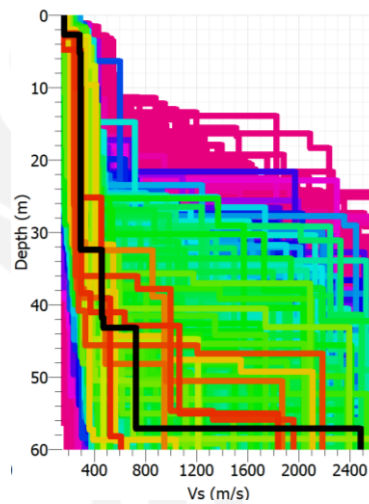
Gambar L-2.10 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 10



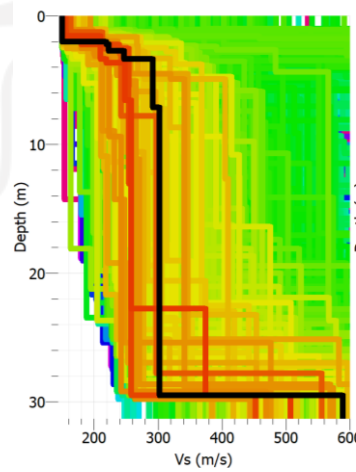
Gambar L-2.11 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 11



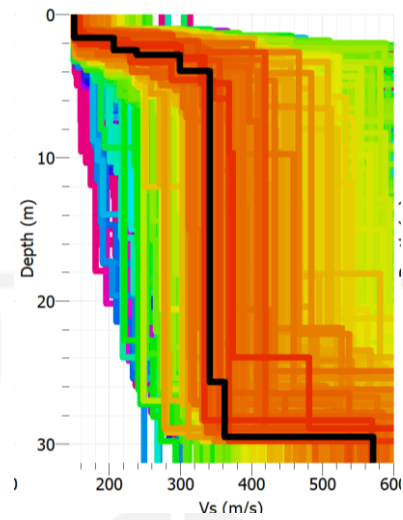
Gambar L-2.12 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 12



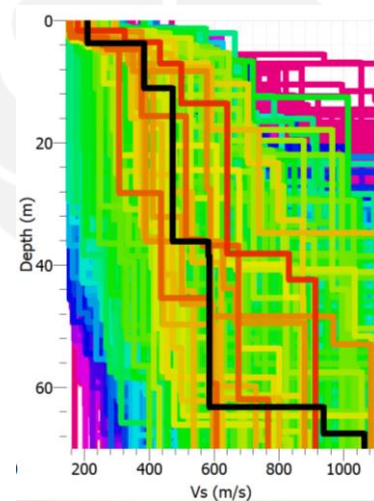
Gambar L-2.13 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 13



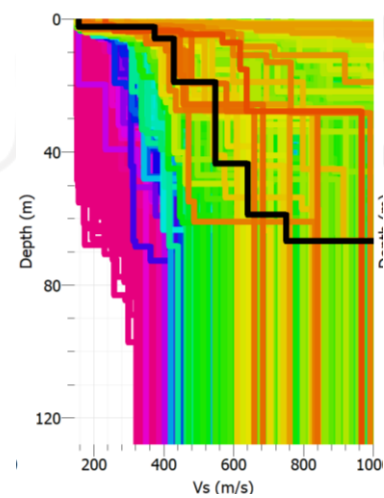
Gambar L-2.14 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 14



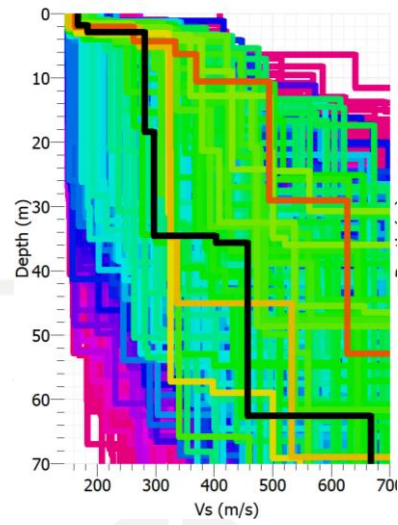
Gambar L-2.15 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 15



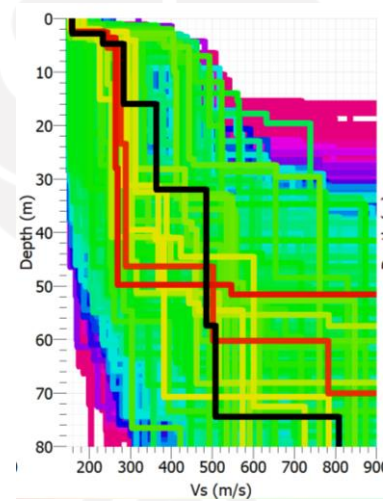
Gambar L-2.16 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 16



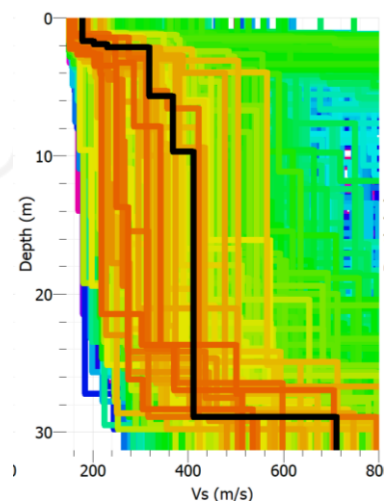
Gambar L-2.17 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 17



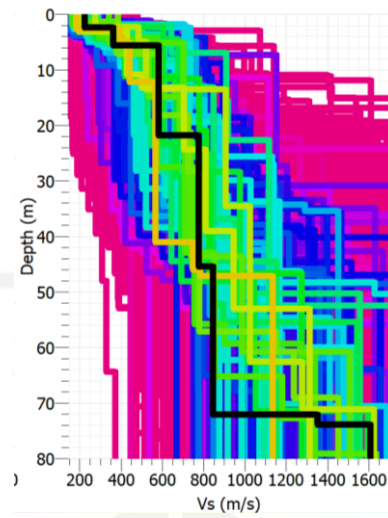
Gambar L-2.18 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 18



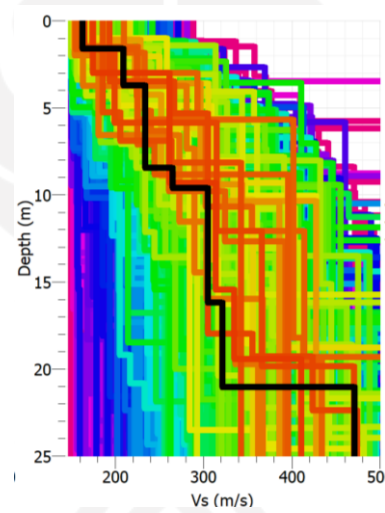
Gambar L-2.19 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 19



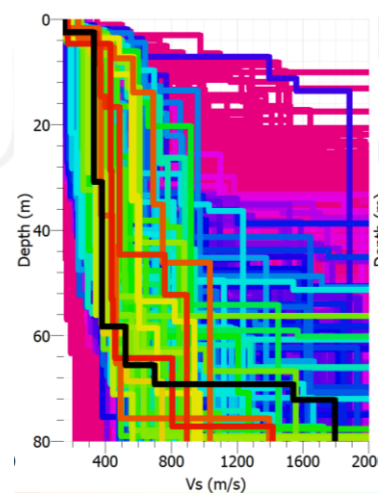
Gambar L-2.20 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 20



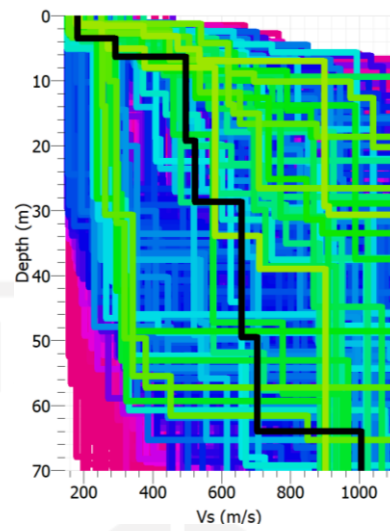
Gambar L-2.21 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 21



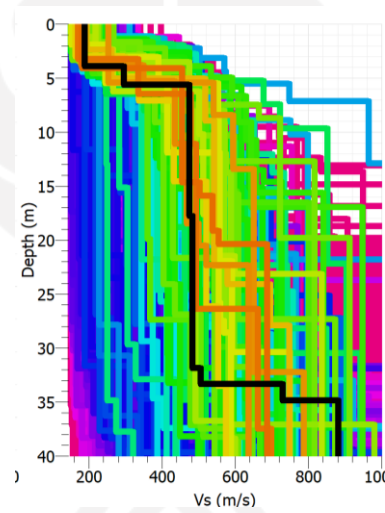
Gambar L-2.22 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 22



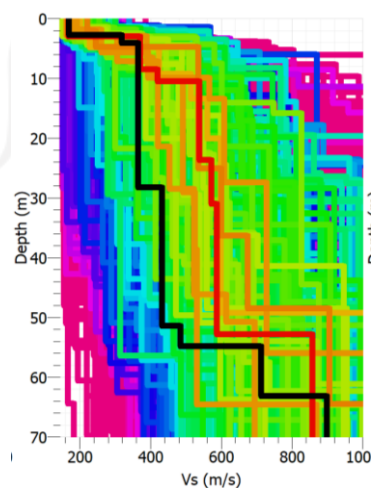
Gambar L-2.23 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 23



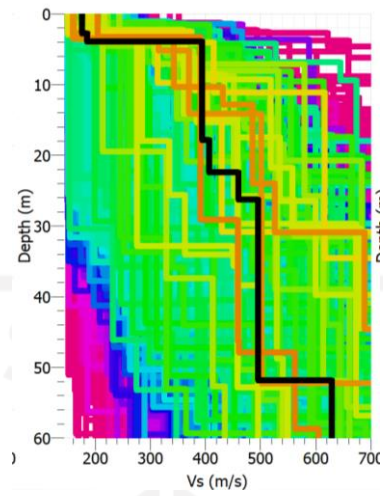
Gambar L-2.24 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 24



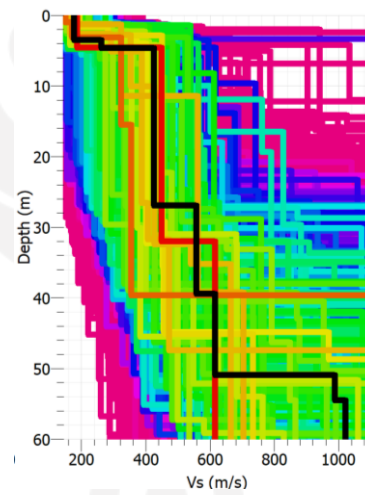
Gambar L-2.25 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 25



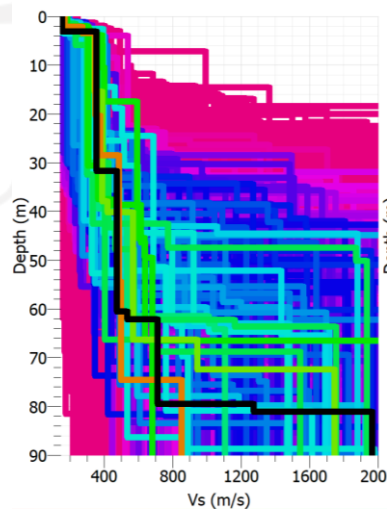
Gambar L-2.26 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 26



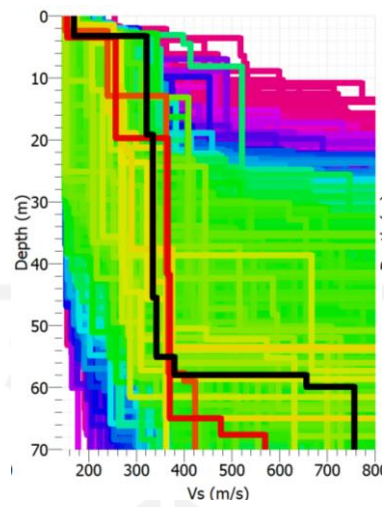
Gambar L-2.27 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 27



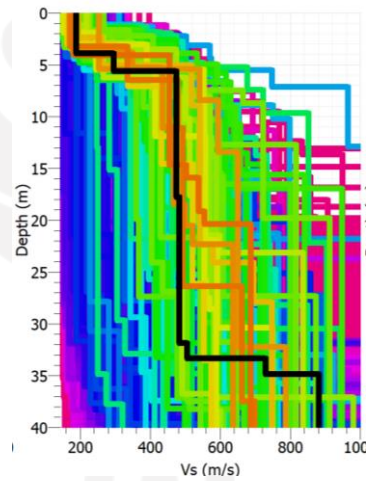
Gambar L-2.28 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 28



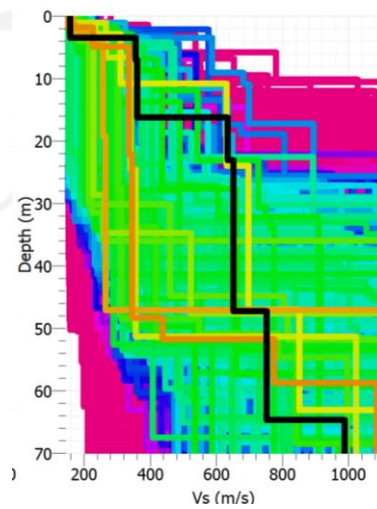
Gambar L-2.29 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 29



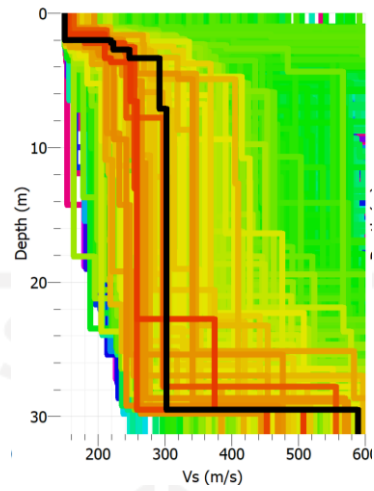
Gambar L-2.30 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 30



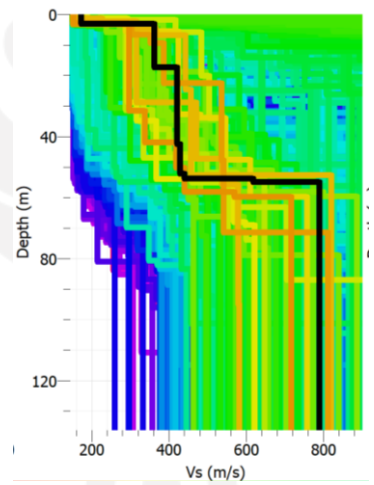
Gambar L-2.31 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 31



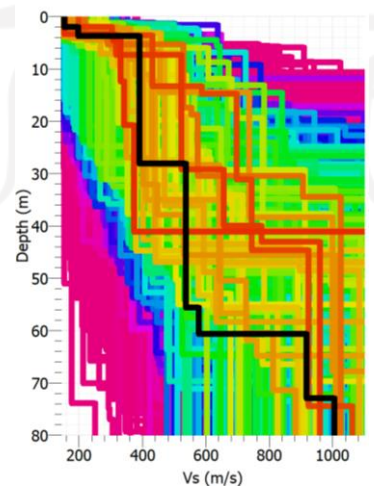
Gambar L-2.32 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 32



Gambar L-2.33 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 33



Gambar L-2.34 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 34



Gambar L-2.35 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 35

Lampiran 4 Dokumentasi Penelitian



Gambar L-4.1 Dokumentasi Penelitian



Gambar L-4.2 Dokumentasi Penelitian



Gambar L-4.3 Dokumentasi Penelitian



Gambar L-4.4 Dokumentasi Penelitian



Gambar L-4.5 Dokumentasi Penelitian



Gambar L-4.6 Dokumentasi Penelitian



Gambar L-4.7 Dokumentasi Penelitian

UNIVERSITAS
ESIA
الجمهورية الإسلامية اندونيسية
الاستدراك الاندوني

Lampiran 5 Surat Perizinan Penelitian di Kapanewon Berbah



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

PROGRAM STUDI
TEKNIK SIPIL

Nomor : 129/Ka. Prodi PSTS/20/TA/IV/2022
Hal : Permohonan Izin Penelitian TA dan Pengambilan Data untuk TA

Kepada Yth:
Bapak/Ibu Camat
Kecamatan Berbah, Kabupaten Sleman
DI Yogyakarta

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Dalam rangka mempersiapkan mahasiswa untuk menempuh ujian Tugas akhir/Skripsi maka setiap mahasiswa diwajibkan untuk menyusun Tugas Akhir/skripsi. Sehubungan dengan hal tersebut diatas maka diperlukan data-data, baik dari instansi Pemerintah BUMN, ataupun dari perusahaan swasta/Proyek.

Berdasarkan alasan-alasan tersebut diatas, maka dengan ini kami mohon bantuannya untuk dapat memberikan izin Penelitian dan Pengambilan Data untuk keperluan penyusunan Tugas Akhir bagi mahasiswa Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta. Adapun nama mahasiswa tersebut adalah:

NO	NAMA MAHASISWA	NIM
1.	DIINAA ROMIIZAHATHUUF HANIIFAH	19511241
2.	MUHAMMAD KEVIN FADHILUL AZYAM	19511240

Demikian permohonan ini kami sampaikan, atas bantuan dan kerjasamanya kami ucapkan banyak terima kasih.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.



Yogyakarta, 22 April 2022
Ketua Prodi Teknik Sipil

Dr. Ir. Sri/Amni Yuni Astuti, MT

Lampiran 6 Surat Balasan Perizinan Penelitian dari Kapanewon Berbah



PEMERINTAH KABUPATEN SLEMAN
KAPANEWON BERBAH

ꦏꦥꦤꦺꦮꦺꦤ꧀ꦧꦺꦫꦧꦠꦺꦤ꧀ꦱꦭꦺꦩꦤ꧀

Sanggrahan, Tegaltirto, Berbah, Sleman, Yogyakarta, 55573
Telepon (0274) 4435301, Faksimile (0274) 4435301
Laman: berbah.slemankab.go.id, Surel: berbah@slemankab.go.id

Berbah, 27 April 2022

Nomor	: 070/209	Kepada Yth.
Lampiran	: -	Ketua Prodi Teknik Sipil Universitas
Hal	: Tanggapan Permohonan	Islam Indonesia
	Penelitian TA dan Pengambilan	di Yogyakarta
	Data untuk TA	

Menindaklanjuti surat dari Ketua Prodi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Nomor 129/Ka. Prodi PSTS/20/TA/IV/2022 tanggal 22 April 2022, hal Permohonan Izin Penelitian TA dan Pengambilan Data untuk TA, maka dengan ini kami sampaikan hal-hal sebagai berikut :

1. Pada prinsipnya kami tidak berkeberatan terkait kegiatan Penelitian TA dan Pengambilan Data untuk TA, sesuai rencana pelaksanaan yang sudah dibuat.
2. Dalam pelaksanaan kegiatan agar menerapkan disiplin protokol pencegahan penularan COVID-19 secara ketat yaitu :
 - a. Wajib memakai masker.
 - b. Menyediakan sarana air bersih dan sabun cair untuk cuci tangan atau hand *sanitizer* pada saat tatap muka.
 - c. Menjaga jarak aman antar orang minimal 1,5 (satu setengah) meter.
 - d. Membatasi jumlah peserta tatap muka.
 - e. Membatasi durasi waktu tatap muka.

Demikian kami sampaikan, atas perhatian dan kerja sama yang baik diucapkan terima kasih.

Paneuwu, Berbah
KAPANEWON BERBAH
ROHMIYANTO, AP
PEMBINA, IVa
NIP. 19760814 199603 1 002