TUGAS AKHIR

PEMETAAN KERENTANAN SEISMIK BERBASIS MIKROZONASI MENGGUNAKAN METODE *HVSR (HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO)* BERDASARKAN PENGUKURAN MIKROTREMOR DI KECAMATAN DUKUN, KABUPATEN MAGELANG (*SEISMIC VULNERABILITY MAPPING BASED ON MICROZONATION USING HVSR (HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO) MICROTREMOR MEASUREMENTS IN DUKUN DISTRICT, MAGELANG REGENCY)*

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

Aryasuta Danishwara Nugrahatama
20511195

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

2025

TUGAS AKHIR

PEMETAAN KERENTANAN SEISMIK BERBASIS MIKROZONASI MENGGUNAKAN METODE *HVSR (HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO)* BERDASARKAN PENGUKURAN MIKROTREMOR DI KECAMATAN DUKUN, KABUPATEN MAGELANG (SEISMIC VULNERABILITY MAPPING BASED ON MICROZONATION USING HVSR (HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO) MICROTREMOR MEASUREMENTS IN DUKUN DISTRICT, MAGELANG REGENCY)

Disusun oleh

Aryasuta Danishwara Nugrahatama
20511195

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal Agustus 2025

Oleh Dewan Penguji:

Pembimbing I	Penguji I	Penguji II
15/9 2025	17/9 2025	16/9 '25
Anggit Mas Arifudin S.T., M.T.	**Elvis Saputra S.T., M.T.**	**Astriana Hardawati S.T., M.Eng.**
NIK: 185111304	**NIK: 205111302**	**NIK: 165111301**

Mengesahkan,
Ketua Program Studi Sarjana Teknik Sipil

17/9 2025

Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D (Eng), IPM.
NIK: 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 perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 29 Agustus 2025

Yang membuat pernyataan,



Aryasuta Danishwara Nugrahatama

(20511195)

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim, Puji syukur penulis panjatkan atas kehadirat Allah SWT atas rahmat dan hidayatnya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul "Penyusunan Peta Kerentanan Gempa Menggunakan Metode Horizontal To Vertical Spectral Ratio (HVSR) Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor Di Kecamatan Dukun, Kabupaten Magelang." 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 untuk menyelesaikan studi tingkat sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Dalam penyusunan tugas akhir ini, tidak sedikit rintangan yang dihadapi penulis, namun berkat saran, kritik, dan motivasi dari berbagai pihak, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Berkaitan dengan hal ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ibu Ir. Yunalia Muntafi S.T., M.T., Ph.D.(Eng).,IPM., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
2. Bapak Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing, memberikan kritik dan saran, serta dorongan dalam pengerjaan tugas akhir penulis.
3. Bapak Drs. Agus Sunardi (alm), Ibu Dra.Henny Indraswati , Annisa Deviandaru Tilottama, Dewanti Widya Wirottama, Calysta Indira Premorga Wanitatama, selaku orang tua dan kakak penulis yang telah berkorban begitu banyak baik material maupun spiritual, serta selalu memberi dorongan yang menjadikan semangat penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Muhammad Arjuna W, Alfredo Rizqi Syahbana, M.Firdaus Sani Wijaya Kusuma, selaku partner yang membantu penulis mulai dari pengambilan data di lapangan hingga pengolahan data dan penyelesaian naskah tugas akhir

penulis.

5. Muhammad Farrel Ghifary, S.T. dan Muhamad Ridwan S.T., yang telah membimbing dan membantu penulis menentukan judul tugas akhir ini dan membatu proses pengolahan data serta penyusunan naskah penulis.
6. Siti Humayro Muharromah selaku partner penulis yang kerap memberi dukungan moral kepada penulis agar segera menyelesaikan tugas akhir ini.
7. Ibu Winarsih dan Bapak Thomas Effendy selaku pemilik posko di Kecamatan Dukun yang sudah mengizinkan penulis menginap selama 10 hari saat pengambilan data di Kecamatan Dukun, Kabupaten Magelang.
8. Semua teman – teman penulis yang sudah meluangkan waktu siang dan malam yang sudah membantu dan memberi semangat kepada penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
9. Seluruh pihak yang terlibat yang tidak dapat penulis sebutkan namanya satu persatu yang telah membantu segala proses dari awal hingga selesainya penyusunan tugas akhir ini.
10. Terakhir, penulis mengapresiasi diri sendiri karena dapat bertahan dan menyelesaikan tugas akhir ini melewati segala hambatan yang ada.

Penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang membacanya.

Yogyakarta, 29 Agustus 2025

Penulis,

Aryasuta Danishwara Nugrahatama
(20511195)

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 xiv
ABSTRACT xv
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Tujuan Penelitian 3
1.4 Manfaat Penelitian 3
1.5 Batasan Penelitian 4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 6
2.1 Penelitian Terdahulu 6
2.1.1 Karakteristik Situs dan Kerentanan Seismik di Kabupaten Klaten Dengan Metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR) Dari Data Mikrotremor 6
2.1.2 Pemetaan Lapisan Tanah Menggunakan Data Mikrotremor HVSR dan Dampaknya Terhadap Daya Dukung Tanah di Kawasan Kota Kendari 8
2.1.3 Analisis Mikrotremor Berdasarkan Metode *HVSR* Untuk Mengetahui Indeks Kerentanan Seismik Kota Jambi 9

2.1.4 Analisis Mikrotremor Berbasis Metode HVSR Untuk Mengetahui Indeks Kerentanan Seismik Di Wilayah Kulonprogo 11
2.1.5 Mikrozonasi Berdasarkan Data Mikrotremor dan Kecepatan Gelombang Geser di Kotamdaya Yogyakarta 12
2.2 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Saat ini 14
BAB III LANDASAN TEORI 18
3.1 Kondisi Geologi 18
3.1.1 Kondisi Geologi di Kecamatan Dukun 18
3.2 Gempa Bumi 20
3.3 Mikrotremor 21
3.4 Mikrozonasi 22
3.5 Uji *Outlier* 23
3.6 Metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR) 24
3.7 Frekuensi Natural (Fg) 26
3.8 Amplifikasi Maksimal (Ag) 27
3.9 Periode Dominan (Tg) 28
3.10 Indeks Kerentanan Seismik (Kg) 29
3.11 Percepatan Tanah Maksimum (PGA) 30
3.12 Peta Kerentanan Gempa Bumi 32
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN 34
4.1 Lokasi Penelitian 34
4.2 Peralatan dan Teknik Pengumpulan Data 34
4.2.1 Peralatan 34
4.2.2 Teknik Pengumpulan Data 35
4.3 Pengolahan Data 40
4.3.1 Data Mikrotremor 40
4.3.2 Perhitungan Frekuensi Natural (fg), Faktor Amplifikasi (Ag), Periode Dominan (Tg) 40
4.3.3 Perhitungan Indeks Kerentanan Seismik (Kg) 42
4.3.4 Perhitungan Percepatan Tanah Maksimum (PGA) 42
4.3.5 Peta Kerentanan Gempa Bumi 42

4.4 Diagram Alur Penelitian 43
BAB V DATA, ANALISIS, DAN PEMBAHASAN 45
5.1 Pengambilan Data di Lapangan 45
5.2 Uji *Outlier* 46
5.3 Analisis Data 49
5.4 Analisis Nilai Frekuensi Dominan (Fg) 54
5.5 Analisis Nilai Faktor Amplifikasi Tanah (Ag) 58
5.6 Analisis Periode Dominan Tanah (Tg) 61
5.7 Analisis Nilai Indeks Kerentanan Seismik (Kg) 64
5.8 Analisis Peak Ground Acceleration (PGA) 66
5.8.1 Menentukan Jarak Episentrum Gempa 68
5.8.2 Menentukan Jarak Hiposentrum Gempa (R) 69
5.8.3 Analisis Peak Ground Acceleration (PGA) 70
5.9 Hubungan Antara Nilai Ag, Fg, Kg, dan PGA 76
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 82
6.1 Kesimpulan 82
6.2 Saran 82
DAFTAR PUSTAKA 84
LAMPIRAN 87

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Dengan Penelitian Terdahulu 15
Tabel 3.1 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Nilai Frekuensi Natural Oleh Kanai 27
Tabel 3.2 Klasifikasi Nilai Amplifikasi 28
Tabel 3.3 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Periode Dominan Kanai 29
Tabel 3.4 Klasifikasi Nilai Indeks Kerentanan Seismik 30
Tabel 3.5 Klasifikasi Nilai PGA Menurut SIG BMKG 32
Tabel 4.1 Koordinat Titik Penelitian Dalam UTM 40
Tabel 4.2 Standar dan Syarat Pengukuran SESAME 42
Tabel 5.1 Analisis Outlier pada Data Penelitian 48
Tabel 5.2 Nilai Frekuensi Dominan (Fg) di Kecamatan Dukun, Kabupaten Magelang, Jawa Tengah. 55
Tabel 5.3 Nilai Amplifikasi Tanah (Ag) di Kecamatan Dukun, Kabupaten Magelang 58
Tabel 5.4 Nilai Periode Dominan Tanah (Tg) di Kawasan Kecamatan Dukun, Kabupaten Magelang 61
Tabel 5.5 Nilai Analisis Indeks Kerentanan Seismik (Kg) di Kecamatan Dukun, Kabupaten Magelang 64
Tabel 5.6 Data Gempa Bumi Mertoyudan, Jawa Tengah Tahun 2016 67
Tabel 5.7 Nilai Analisis Peak Ground Acceleration (PGA) gal 71
Tabel 5.8 Nilai Analisis Peak Ground Acceleration (PGA) g 72
Tabel 5.9 Nilai Analisis Peak Ground Acceleration (PGA) MMI 73
Tabel 5.10 Nilai Hubungan Antar Parameter 77

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Peta Titik Dalam Kawasan TNGM 5
Gambar 2.1 Peta Titik Pengukuran 8
Gambar 2.2 Peta Sebaran Vs30 Hasil Pengukuran Mikrotremor 9
Gambar 2.3 Peta Sebaran Titik Mikrotremor 10
Gambar 2.4 Titik Penelitian Wilayah Kulon Progo 11
Gambar 2.5 Titik Pengukuran Langsung di Kotamadya Yogyakarta 12
Gambar 2.6 Peta Sebaran Indeks Seismik (Kg) 14
Gambar 3.1 Peta geologi Lembar Magelang dan Semarang 19
Gambar 3.2 Pergerakan Lempeng Tektonik 20
Gambar 3.3 Data Mikrotremor Tiga Komponen di Kecamatan Gatiwarno 22
Gambar 3.4 Gerakan Horizontal dan Vertikal Batuan di Area Cekung 25
Gambar 3.5 Peta Risiko Bencana Gempa Bumi di Kabupaten Magelang 33
Gambar 4.1 Perangkat Keras Yang Digunakan Untuk Pengukuran Mikrotremor 35
Gambar 4.2 Grid Lokasi Penelitian Dengan Interval 1km. 36
Gambar 4.3 Sinyal Mikrotremor Tiga Komponen 40
Gambar 4.4 Contoh Windowing Sinyal 41
Gambar 4.5 Kurva H/V 42
Gambar 4.6 Diagram Alur Penelitian 44
Gambar 5.1 Penanda Arah Mata Angin Pada Seismometer 45
Gambar 5.2 Proses Leveling Seismometer. 46
Gambar 5.3 Persebaran Titik Penelitian 50
Gambar 5.4 Grafik Hasil Pengukuran Mikrotremor di Titik 18 51
Gambar 5.5 Gelombang Yang Dihasilkan Dari Aktivitas Vulkanik 52
Gambar 5.6 *Windowing* Sinyal Mikrotremor Titik 18 53
Gambar 5.7 Kurva HVSR Titik 18 54
Gambar 5. 8 Peta Persebaran Frekuensi Dominan (Fg) 57
Gambar 5.9 Peta Persebaran Amplifikasi Tanah (Ag) 60
Gambar 5.10 Peta Persebaran Periode Dominan (Tg) 63

Gambar 5.11 Peta Persebaran Indeks Kerentanan Seismik (Kg) 65
Gambar 5.12 Lokasi Koordinat Pusat Gempa 68
Gambar 5.13 Ilustrasi Perhitungan Episentrum 69
Gambar 5.14 Ilustrasi Perhitungan Hiposentrum 69
Gambar 5.15 Peta Persebaran Nilai Peak Ground Acceleration (PGA) gal 74
Gambar 5.16 Peta Persebaran Nilai Peak Ground Acceleration (PGA) g 74
Gambar 5.17 Peta Persebaran Nilai Peak Ground Acceleration (PGA) MMI 75
Gambar 5.18 Kurva Regresi Nilai Fg dan Ag 80
Gambar 5.19 Kurva Regresi Nilai Kg dan PGA (gal) 80

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Gambar Kurva HVSR 88

Lampiran 2 Gambar Peta Persebaran 102

Lampiran 3 Surat Perizinan Penelitian 110

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

HVSR	= *Horizontal to Vertical Spectral Ratio*
P	= Kecepatan Material
Vs	= Kecepatan Gelombang Geser
M	= Magnitudo
R	= Jarak Hiposenter
A	= Amplitudo Gerakan Tanah
T	= Periode
F	= Frekuensi
H	= Ketebalan Sedimen
Cs	= Faktor Koreksi
CR	= Faktor Koreksi
TH	= Faktor Amplifikasi Horizontal
SHS	= Spektra Fourier Komponen Horizontal di Surface
SHB	= Spektra Fourier Komponen Vertikal di Bedrock
TV	= Faktor Amplifikasi Vertikal
SVS	= Spektra Fourier Komponen Vertikal di Surface xvii
SVB	= Spektra Fourier Komponen Vertikal di Bedrock
T_{SITE}	= Rasio Spektrum Mikrotremor
$SH_{North\text{-}South}$	= Sinyal horizontal arah utara dan selatan
$SH_{East\text{-}West}$	= Sinyal horizontal arah timur dan barat
Kg	= Indeks Kerentanan Seismik
Ag	= Faktor Amplifikasi Tanah
Fg	= Frekuensi Dominan Tanah
Tg	= Nilai Percepatan Tanah Maksimum
PGA	= Nilai Percepatan Tanah Maksimum
A	= Nilai Percepatan Tanah di Bawah Permukaan
Ew	= East - West
NS	= North - South

ABSTRAK

Kecamatan Dukun, Kabupaten Magelang, yang terletak di lereng Gunung Merapi, memiliki risiko seismik tinggi karena kondisi geologinya yang didominasi material vulkanik dan aktivitas tektonik. Namun, minimnya data mikrozonasi gempa empiris di wilayah ini mendorong pentingnya penelitian untuk menilai kerentanan seismik menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR) berbasis pengukuran mikrotremor. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuat peta mikrozonasi menggunakan distribusi parameter-parameter seismik seperti frekuensi dominan (Fg), amplifikasi (Ag), periode dominan (Tg), indeks kerentanan seismik (Kg), dan percepatan tanah puncak (PGA).

Penelitian ini dilakukan di 42 titik yang tersebar di Kecamatan Dukun, Kabupaten Magelang, Jawa Tengah dengan bantuan alat Lennartz LE-3D/20s. Setelah dilakukan pengambilan data di lapangan langkah selanjutnya adalah pengolahan data untuk mendapatkan parameter – parameter gempa yang diinginkan. Analisis yang digunakan dalam perhitungan parameter – parameter tersebut adalah menggunakan metode empiris Kanai dan menggunakan referensi gempa Mertoyudan pada tahun 2016.

Hasil menunjukkan nilai Fg berkisar 0,8733–16,723 Hz (kategori sedang-tinggi), Ag 1,189–5,549 (rendah-sedang), Tg 0,0597–1,144 detik (merata kategori I–IV), dan Kg 0,3849–12,908 (sebagian besar rendah-sedang). Nilai PGA permukaan 111,273–486,825 gal (0,1134–0,4964g) atau setara 1,41–3,76 MMI, mengindikasikan potensi kerusakan ringan-sedang (skala VII–VIII BMKG). Sebanyak 3 dari 41 titik pengukuran menunjukkan kerentanan seismik tinggi, Titik ini tersebar di beberapa lokasi di Kecamatan Dukun, yaitu titik 2 di Desa Ketunggeng, titik 12 di Desa Mangunsoko, dan titik 14 pada Desa Dukun. Temuan ini Menjadi dasar rekomendasi mitigasi berbasis risiko dan perencanaan tata ruang berkelanjutan di kawasan vulkanik aktif. Penelitian membuktikan metode HVSR efektif dalam menyediakan data mikrozonasi seismik untuk wilayah dengan kompleksitas geologi seperti Kecamatan Dukun.

Kata kunci : *Mikrotremor, Dukun, HVSR*

ABSTRACT

Dukun District, Magelang Regency, located on the slopes of Mount Merapi, faces a high seismic risk due to its geology dominated by volcanic materials and tectonic activity. The scarcity of empirical earthquake microzonation data in this region highlights the importance of assessing seismic vulnerability using the Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR) method based on microtremor measurements.

The objective of this study is to map the distribution of key seismic parameters, including dominant frequency (Fg), amplification factor (Ag), dominant period (Tg), seismic vulnerability index (Kg), and peak ground acceleration (PGA). The research was conducted at 42 points throughout Dukun District using a Lennartz LE-3D/20s seismograph. The collected data was processed using the empirical Kanai method, with the 2016 Mertoyudan earthquake data serving as a reference.

The results show that Fg values range from 0.8733–16.723 Hz (medium-high category), while Ag values range from 1.189–5.549 (low-medium). Tg values, ranging from 0.0597–1.144 seconds, are evenly distributed across categories I to IV. The majority of Kg values fall within the low-medium range, from 0.3849–12.908. Surface PGA values of 111.273–486.825 gal (0.1134–0.4964g), equivalent to 1.41–3.76 MMI, indicate a potential for light-to-moderate damage (BMKG scale VII–VIII). Three out of 41 measurement points, specifically point 2 in Ketunggeng Village, point 12 in Mangunsoko Village, and point 14 in Dukun Village, were found to have high seismic vulnerability. These findings are intended to serve as a basis for risk-based mitigation recommendations and sustainable spatial planning in this active volcanic area. The study also demonstrates that the HVSR method is effective for providing seismic microzonation data in regions with complex geological conditions like Dukun District.

Keywords: Microtremor, Dukun, HVSR.

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kecamatan Dukun, Kabupaten Magelang, Jawa Tengah merupakan sebuah daerah yang terletak pada lereng Gunung Merapi, salah satu gunung api paling aktif di dunia dengan siklus erupsi yang relatif pendek yaitu 2 – 7 tahun (Solikhin *et al*., 2012). Kondisi geologi serta aktivitas vulkanik Gunung Merapi menjadikan Kecamatan Dukun rentan terhadap ancaman gempa bumi vulkanik maupun tektonik. Kecamatan Dukun memiliki karakteristik geologi yang didominasi oleh material vulkanik hasil aktivitas Gunung Merapi, seperti tufa, pasir vulkanik, dan lahar (Surono et al., 2012). Material ini memiliki karakteristik yang relatif yang tidak stabil, sehingga cenderung mudah terpengaruh oleh gempa bumi maupun curah hujan tinggi. Selain itu, secara geografis, Kecamatan Dukun berada di ketinggian 700 –1.500 meter di atas permukaan laut dengan topografi berbukit dan lembah, yang meningkatkan kerentanan terhadap tanah longsor. Tingginya aktivitas tambang pasir di wilayah ini juga berpotensi memengaruhi stabilitas tanah, membuatnya lebih rentan terhadap guncangan gempa (Nugroho *et al*., 2018).

Namun demikian, terdapat beberapa hal menarik antara teori dan fakta empiris di lapangan, meskipun secara geologis dan tektonik Kecamatan Dukun memenuhi kriteria sebagai wilayah rawan gempa, namun catatan historis menunjukkan bahwa wilayah ini relatif aman terhadap dampak seisimik, termasuk saat terjadi Gempa Yogyakarta 2006 dengan magnitudo Mw 6,3 (BMKG, 2016). Berdasarkan kajian terhadap berbagai sumber referensi resmi, seperti Peta Sumber Gempa Indonesia 2017 (Pusgen), peta geologi lembar Magelang (Badan Geologi, 2012), dan data InaRISK BNPB, Kabupaten Magelang termasuk Kecamatan Dukun, tergolong dalam zona seismik menengah hingga tinggi. Kategori ini ditentukan oleh beberapa faktor, terutama nilai percepatan tanah maksimum (PGA)

yang berkisar antara 0,3 – 0,4 g, Menurut klasifikasi USGS, rentang nilai tersebut termasuk dalam kategori menengah hingga tinggi (0,25 – 0,5 g), sedangkan menurut klasifikasi BMKG yang digunakan dalam Sistem Informasi Geospasial Gempabumi (SIG BMKG), nilai ≥0,25 g sudah dikategorikan sebagai zona bahaya tinggi. Hal ini menegaskan bahwa Kabupaten Magelang termasuk Kecamatan Dukun secara regional tergolong wilayah dengan tingkat bahaya seismik yang signifikan meskipun catatan historis dampak gempa di Kecamatan Dukun relatif rendah.

Meskipun Kecamatan Dukun termasuk dalam zona seismik menengah hingga tinggi, hingga saat ini belum tersedia peta mikrozonasi gempa yang secara eksplisit menetapkan wilayah Dukun sebagai daerah rawan gempa. Ketiadaan data detail tersebut menjadi salah satu landasan penting dilakukannya penelitian ini, yakni untuk memberikan verifikasi empiris melalui metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR) berbasis pengukuran mikrotremor. Penelitian ini bertujuan untuk membuat peta mikrozonasi dan mengidentifikasi karakteristik tanah serta kerentanan seismik di Kecamatan Dukun menggunakan parameter-parameter seperti frekuensi dominan (Fg), amplifikasi (Ag), dan indeks kerentanan seismik (Kg) yang merepresentasikan kerentanan seismik, serta periode dominan (Tg) dan percepatan tanah puncak (PGA) yang merepresentasikan karakteristik tanah. Metode HVSR dipilih karena kemampuannya dalam mengukur rasio spektral antara komponen horizontal dan vertikal gelombang seismik, sehingga dapat memberikan informasi akurat tentang respons tanah terhadap getaran (Nakamura, 2008).

Hasil penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat untuk perencanaan pembangunan yang lebih aman, penyusunan strategi mitigasi berbasis bukti, dan peningkatan kesadaran masyarakat terhadap potensi bencana. Selain itu, penelitian ini dapat menjadi acuan bagi wilayah lain dengan kondisi geologis serupa di Indonesia.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah yang akan dibahas pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana karakteristik dinamika tanah berdasarkan nilai frekuensi dominan (Fg), nilai amplifikasi (Ag), dan periode dominan (Tg) ?
2. Bagaimana sebaran nilai indeks kerentanan seismik (Kg) di Kecamatan Dukun?
3. Bagaimana nilai percepatan tanah puncak (PGA) permukaan di Kecamatan Dukun?
4. Bagaimana peta mikrozonasi yang memadukan peta karakteristik tanah, peta kerentanan seismik, dan peta sebaran PGA dapat menggambarkan tingkat kerawanan gempa di Kecamatan Dukun?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disebutkan, maka tujuan penelitian yang ingin dicapai adalah sebagai berikut :

1. Menentukan karakteristik dinamika tanah berdasarkan nilai frekuensi dominan (Fg), nilai amplifikasi (Ag), dan periode dominan (Tg).
2. Mengetahui nilai indeks kerentanan seismik (Kg).
3. Mengetahui percepatan tanah maksimum (PGA) di Kecamatan Dukun, Kabupaten Magelang.
4. Menyusun peta mikrozonasi seismik yang memuat peta karakteristik tanah, peta sebaran PGA, dan peta kerentanan seismik, sehingga dapat menggambarkan tingkat kerawanan gempa di Kecamatan Dukun.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari pembuatan peta mikrozonasi indeks kerentanan seismik pada Kecamatan Dukun diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Memberikan informasi mengenai indeks kerentanan seismik di Kecamatan Dukun, sehingga dapat menjadi acuan dasar pembangunan infrastruktur tahan gempa yang sesuai dengan karakteristik tanah setempat.
2. Memberikan informasi mengenai karakteristik dinamika tanah di Kecamatan Dukun berdasarkan frekuensi dominan, faktor amplifikasi, dan indeks

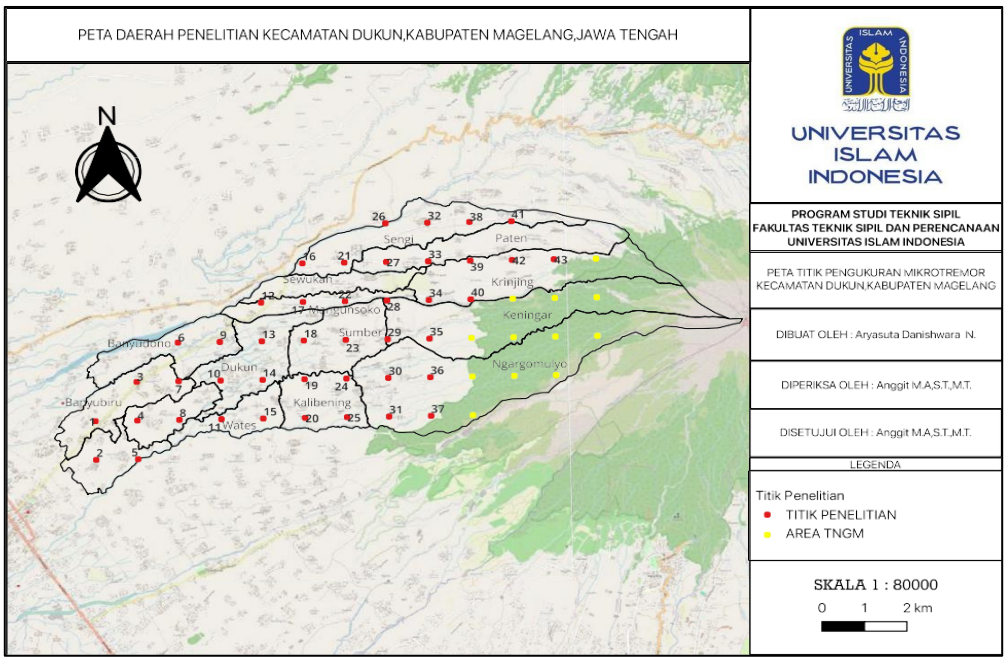
kerentanan seismik.

3. Memberikan informasi mengenai peta indeks kerentanan seismik dengan tingkat kerentanan tinggi terhadap gempa, sehingga dapat digunakan sebagai acuan dalam penyusunan tata ruang wilayah, terutama untuk pembangunan infrastruktur vital seperti sekolah, rumah sakit, jembatan, maupun bangunan sipil lainnya.
4. Membantu pemerintah setempat untuk merencanakan jalur evakuasi yang aman berdasarkan tingkat kerentanan wilayah.
5. Penulis mengharapkan agar penelitian ini dapat digunakan sebagai bahan referensi literatur selanjutnya.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan penelitian yang dilakukan untuk memberikan suatu parameter batas dan acuan agar sesuai dengan tujuan penelitian yang dilakukan. Adapun batasan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Lokasi penelitian tugas akhir ini dilakukan di wilayah Kecamatan Dukun, Kabupaten Magelang, Jawa Tengah dengan koordinat geografis antara 110°01’51’’ - 110°12’48’’ BT dan 7°19’13’’ - 7°35’99’’ LS
2. Titik pengambilan data di Kecamatan Dukun, Kabupaten Magelang memiliki interval antar titik sejauh 1 km**.**
3. Sebagian Kecamatan Dukun, Kabupaten Magelang termasuk dalam kawasan konservasi Taman Nasional Gunung Merapi (TNGM), sehingga tidak dapat dilakukan pengambilan data mikrotremor pada lokasi tersebut, Daerah dari Kecamatan Dukun yang termasuk dalam kawasan konservasi TNGM dapat dilihat pada **Gambar 1.1** di bawah ini, titik berwarna kuning menandakan bahwa area tersebut sudah termasuk dalam kawasan TNGM sehingga tidak dapat dilakukan pengambilan data di wilayah tersebut.



Gambar 1. 1 Peta Titik Dalam Kawasan TNGM

4. Dari 43 rencana titik penelitian, terdapat satu titik yang tidak dapat diakses yaitu pada titik 36, titik ini tidak dapat diakses dikarenakan sudah masuk pada kawasan tambang pasir yang memiliki izin yang berbeda jika ingin melakukan pengambilan data di kawasan tersebut, sehingga total tiitk yang dapat dilakukan pengambilan data berjumlah 42 titik.
5. Analisis data dilakukan dengan bantuan software Geopsy dan pemetaan dengan software QGIS, dan metode yang digunakan dalam mengolah data adalah metode HVSR. Software dan metode akan digunakan untuk memperoleh nilai amplifikasi dan frekuensi dominan yang nantinya akan menjadi parameter perhitungan nilai percepatan tanah dan juga indeks kerentanan seismik.
6. Informasi yang akan didapatkan pada penelitian ini berupa nilai frekuensi dominan(Fg), amplifikasi (Ag), periode dominan (Tg), indeks kerentanan tanah (Kg), nilai percepatan tanah maksimum (PGA) permukaan dan peta kerentanan seismik.
7. Alat yang digunakan untuk pengambilan data mikrotremor adalah Lennartz LE-3D/20s.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian ini membahas tentang mikrozonasi kerentanan seismik. Berdasarkan penelusuran pustaka, ditemukan sejumlah literatur yang telah mengkaji dan membahas mikrozonasi pada berbagai lokasi. Literatur-literatur tersebut dapat dijadikan sebagai referensi utama dalam mendukung dan merumuskan penelitian serupa. Berikut ini adalah beberapa hasil penelusuran literatur yang relevan:

2.1.1 Karakteristik Situs dan Kerentanan Seismik di Kabupaten Klaten Dengan Metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR) Dari Data Mikrotremor

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji karakteristik situs dan tingkat kerentanan seismik di Kabupaten Klaten. Penelitian ini menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR) berdasarkan data mikrotremor. Alasan utama dilaksanakannya penelitian ini adalah karena wilayah tersebut berada di zona subduksi aktif, yang menjadikannya rawan terhadap gempa bumi. Salah satu peristiwa gempa yang membuktikan tingkat kegempaan tinggi di daerah ini adalah gempa Yogyakarta tahun 2006, di mana Klaten menjadi wilayah yang mengalami kerusakan paling parah di Jawa Tengah. Karena gempa bumi tidak dapat diprediksi, mitigasi diperlukan untuk mengurangi dampak kerusakan, antara lain dengan memahami penyebab serta mengidentifikasi zona-zona rawan gempa.

Penelitian ini dilakukan di sembilan kecamatan di Kabupaten Klaten, yaitu Gantiwarno, Wedi, Bayat, Kalikotes, Klaten Tengah, Klaten Selatan, Jogonalan, Prambanan, Trucuk, serta wilayah Klaten yang berbatasan dengan Kabupaten Gunungkidul. Alat yang digunakan untuk pengambilan data mikrotremor adalah Digital Portable Seismograph tipe TDL303S. Penelitian ini memberikan manfaat 7 besar, seperti memberikan informasi mengenai tingkat kerawanan gempa, menjadi

dasar dalam perencanaan pembangunan infrastruktur, dan sebagai rujukan untuk penelitian selanjutnya.

Hasil penelitian menunjukkan distribusi nilai frekuensi dominan berada dalam rentang 0,623 hingga 13,853 Hz. Berdasarkan peta frekuensi dominan, nilai tertinggi ditemukan di wilayah utara Kecamatan Jogonalan, utara Klaten Tengah, timur Prambanan, dan barat Bayat. Perbedaan nilai ini dipengaruhi oleh kekerasan atau kelunakan lapisan tanah; nilai frekuensi dominan yang tinggi berkaitan dengan lapisan sedimen yang lebih tipis.

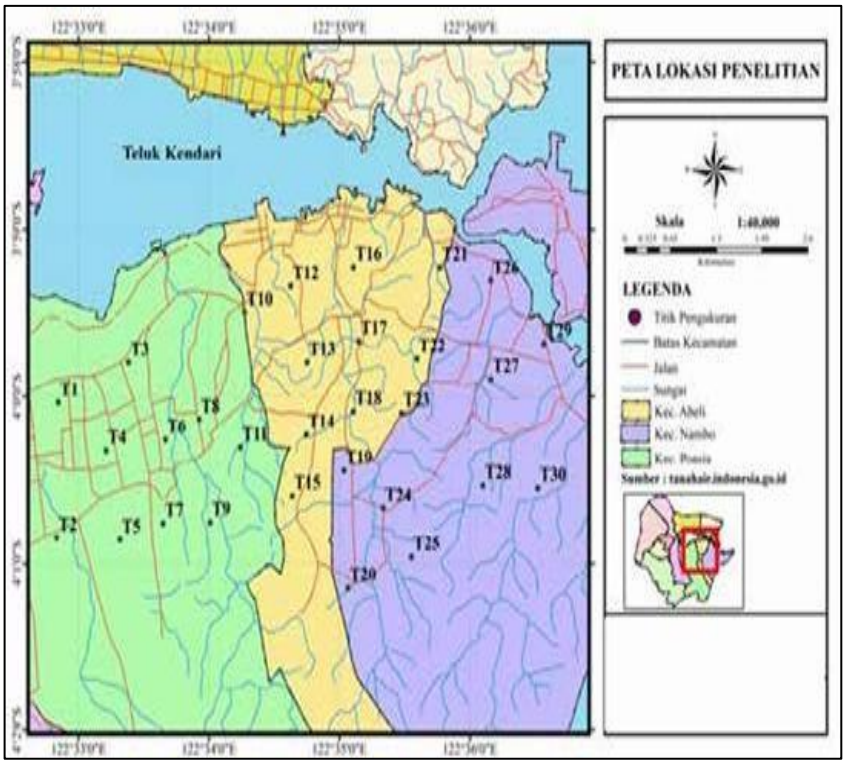
Selain itu, distribusi periode dominan berkisar antara 0,072 hingga 1,604 detik. Nilai periode dominan yang tinggi mengindikasikan keberadaan lapisan sedimen yang tebal dan lunak. Umumnya, wilayah dengan nilai periode dominan yang tinggi lebih rentan mengalami kerusakan saat terjadi gempa bumi.

Faktor amplifikasi pada wilayah penelitian memiliki sebaran nilai antara 1,09 hingga 26,134. Nilai ini menunjukkan puncak dari kurva HVSR yang berkaitan dengan perubahan impedansi pada lapisan tanah, yang kemungkinan besar disebabkan oleh perbedaan tingkat kekompakan batuan. Oleh karena itu, daerah dengan nilai amplifikasi tinggi menjadi lebih rentan terhadap guncangan gempa.

Distribusi indeks kerentanan seismik berkisar antara 0,212 hingga 270,184, yang ditampilkan dalam peta pada Gambar 2.4. Selain itu, karakteristik dinamika tanah yang diukur melalui kecepatan gelombang geser (Vs) menunjukkan rentang antara 130 hingga 570,83 m/s. Rata-rata nilai Vs30 dari mikrotremor dibandingkan dengan Vs30 versi USGS menunjukkan rasio sebesar 1,165. Sementara itu, nilai Peak Ground Acceleration (PGA) yang dihitung menggunakan metode Kanai berkisar antara 123,324 hingga 819,353 gal, atau sekitar 0,13 hingga 0,84 g.

2.1.2 Pemetaan Lapisan Tanah Menggunakan Data Mikrotremor HVSR dan Dampaknya Terhadap Daya Dukung Tanah di Kawasan Kota Kendari

Arie Satria *dkk.,* melakukan penelitian ini bertujuan untuk memetakan lapisan tanah di Kota Kendari menggunakan data mikrotremor dengan metode HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio)* dan menganalisis dampaknya terhadap daya dukung tanah. Kota Kendari dipilih karena memiliki risiko tinggi terhadap guncangan gempa bumi akibat kedekatannya dengan sumber gempa dan kondisi geologi yang heterogen. Pengambilan data dilakukan pada tiga kecamatan kawasan Kota Kendari yaitu Kecamatan Poasia, Kecamatan Abeli dan Kecamatan Nambo sebanyak 30 titik pengukuran mikrotremor HVSR dengan jarak antar titik ± 1km, lokasi titik penelitian dapat dilihat pada **Gambar 2.5** berikut.



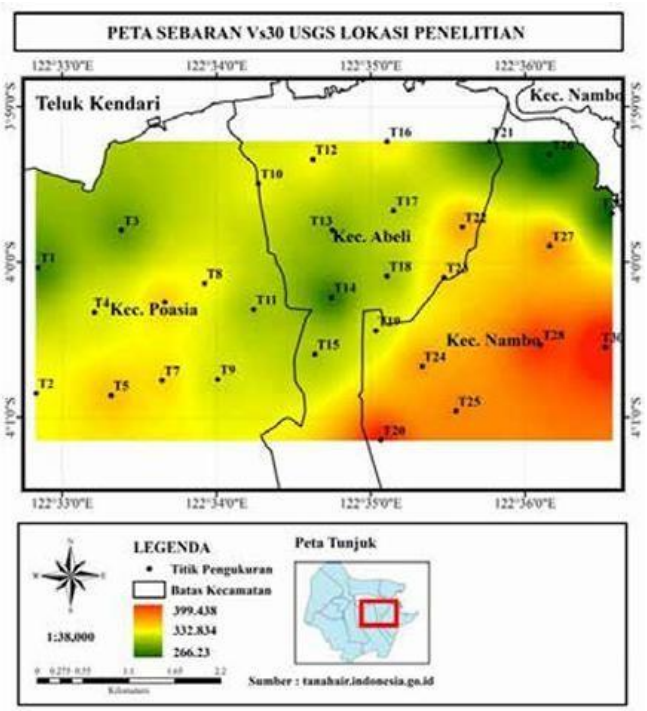
Gambar 2.1 Peta Titik Pengukuran

(Sumber : Arisona *dkk.*, 2023)

Data mikrotremor dikumpulkan dan dianalisis menggunakan perangkat lunak Geopsy untuk memperoleh rasio spektral horizontal terhadap vertikal.

Nilai kecepatan gelombang geser (Vs) dihitung sebagai parameter untuk menilai kondisi tanah dan memperkirakan bahaya guncangan gempa secara spesifik.

Dari penelitian yang dilakukan, didapatkan nilai kecepatan gelombang geser (Vs30) dari setiap lapisan tanah dibawah permukaan di Kota Kendari berkisar antara 150 m/s - 1300 m/s hingga kedalaman 100 m. Analisis menunjukkan variasi nilai Vs yang mencerminkan perbedaan karakteristik lapisan tanah di berbagai lokasi di Kota Kendari, seperti pada **Gambar 2.6**.



Gambar 2.2 Peta Sebaran Vs30 Hasil Pengukuran Mikrotremor

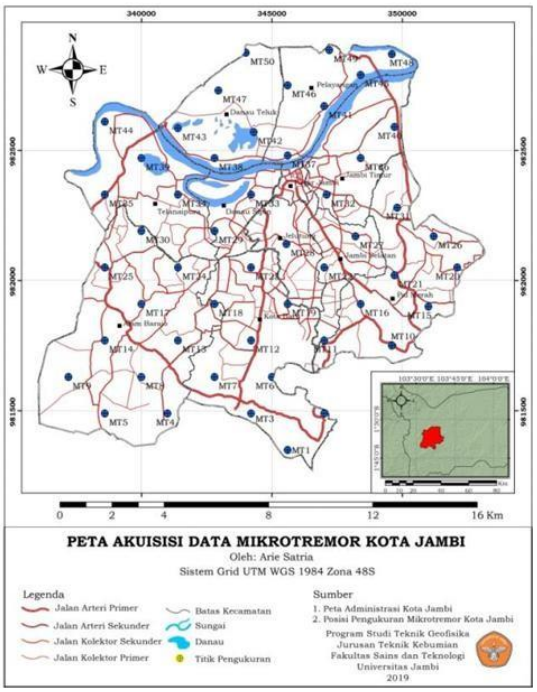
(Sumber : Arisona *dkk.*, 2023)

Daerah dengan nilai Vs rendah memiliki potensi amplifikasi gelombang seismik yang lebih tinggi, yang berdampak pada penurunan daya dukung tanah. Temuan ini penting untuk upaya mitigasi bencana dan perencanaan pembangunan infrastruktur di wilayah tersebut

2.1.3 Analisis Mikrotremor Berdasarkan Metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* Untuk Mengetahui Indeks Kerentanan Seismik Kota Jambi

Penelitian ini bertujuan untuk memetakan tingkat kerentanan gempa di Kota Jambi melalui analisis seismik menggunakan metode *Horizontal to Vertical*

Spectral Ratio (HVSR). Penelitian dilakukan di 50 titik pengukuran yang tersebar di berbagai wilayah Kota Jambi, seperti Alam Barajo, Danau Teluk, Jambi Timur, dan Telanaipura. Parameter yang dianalisis meliputi frekuensi dominan (f0),faktor amplifikasi (A0), dan indeks kerentanan seismik (Kg) untuk menentukan zona-zona dengan tingkat risiko gempa yang berbeda. Peta sebaran titik penelitian dapat dilihat pada **Gambar 2.7**.



Gambar 2.3 Peta Sebaran Titik Mikrotremor

(Sumber : Arie Satria *dkk.*, 2020)

Hasil pengolahan data mikrotremor menggunakan *software* Geopsy dengan jumlah data sebanyak 50 titik pengukuran. Hasil yang diperoleh dari pengolahan data berupa kurva grafik HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*). Kurva dikategorikan sebagai kurva Reliabel dan Clear Peak jika memenuhi kriteria menurut teori Sesame, 2004. Kurva tersebut memrepresentasikan nilai frekuensi dominan tanah (f0), faktor amplifikasi (A0), dan standar deviasi (σ), Kemudian dari nilai ini dilakukan perhitungan dan diperoleh peta distribusi indeks kerentanan seismik (Kg).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai frekuensi dominan di Kota Jambi berkisar antara 1,04 hingga 4,35 Hz, dengan nilai amplifikasi mencapai 4,88. Indeks kerentanan seismik (Kg) ditemukan berkisar antara 0,51 hingga 20,18, dengan zona berisiko tinggi cenderung berada di daerah yang didominasi oleh endapan aluvial. Wilayah bagian utara Kota Jambi menjadi area dengan nilai indeks kerentanan seismik tinggi, menunjukkan tingkat kerentanan yang signifikan terhadap guncangan gempa, terutama di lokasi dengan sedimen tebal.

2.1.4 Analisis Mikrotremor Berbasis Metode HVSR Untuk Mengetahui Indeks Kerentanan Seismik Di Wilayah Kulonprogo

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kawasan rawan longsor di wilayah Banjarsari, Purwoharjo, Kulon Progo, dengan memanfaatkan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR) dan analisis kecepatan gelombang geser (Vs30). Metode HVSR digunakan untuk menentukan frekuensi dominan tanah, sedangkan Vs30 digunakan untuk mengklasifikasikan jenis tanah berdasarkan kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 meter. Kombinasi kedua metode ini memungkinkan penulis untuk mengevaluasi karakteristik geoteknik tanah yang berkaitan dengan potensi longsor. Titik penelitian dapat dilihat pada **Gambar 2.10** di bawah ini.



Gambar 2.4 Titik Penelitian Wilayah Kulon Progo

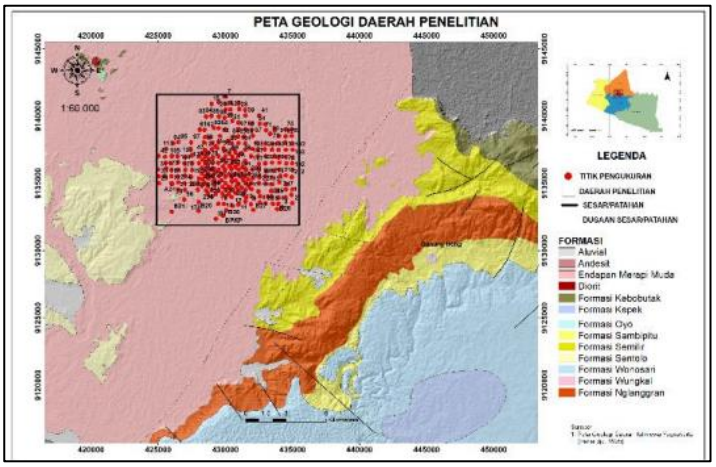
Hasil penelitian menunjukkan bahwa wilayah Banjarsari memiliki variasi

frekuensi dominan dan nilai Vs30 yang mencerminkan perbedaan kondisi geologis dan geoteknik. Beberapa area menunjukkan nilai frekuensi dominan yang rendah dan nilai Vs30 yang juga rendah, mengindikasikan lapisan tanah yang lunak dan berpotensi tinggi terhadap longsor. Sebaliknya, area dengan nilai frekuensi dominan dan Vs30 yang lebih tinggi cenderung lebih stabil.

Dengan demikian, penelitian ini berhasil mengidentifikasi zona-zona yang memiliki potensi longsor tinggi di wilayah Banjarsari. Informasi ini sangat penting bagi pihak berwenang dan masyarakat setempat dalam upaya mitigasi bencana dan perencanaan pembangunan yang lebih aman dan berkelanjutan.

2.1.5 Mikrozonasi Berdasarkan Data Mikrotremor dan Kecepatan Gelombang Geser di Kotamdaya Yogyakarta

Penelitian ini bertujuan untuk memetakan daerah rawan kerusakan akibat gempa bumi di Kota madya Yogyakarta menggunakan analisis mikrotremor dengan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR). Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk memahami litologi bawah permukaan berdasarkan profil kecepatan gelombang geser (Vs) melalui inversi kurva HVSR. Studi ini dilakukan di area yang mencakup koordinat 7°45'58.09" hingga 7°50'59.01" Lintang Selatan dan 110°19'7.87" hingga 110°24'35.43" Bujur Timur, dengan total data pengukuran sebanyak 280 titik, dapat dilihat pada **Gambar 2.11.**



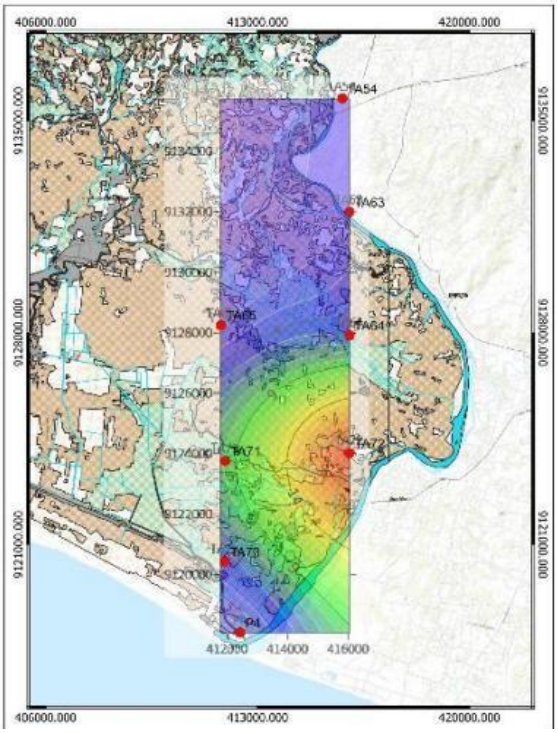
Gambar 2.5 Titik Pengukuran Langsung di Kotamadya Yogyakarta

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai frekuensi dominan di Kotamadya Yogyakarta berkisar antara 1,1–5,8 Hz, nilai amplifikasi (A0) antara 1– 21, dan

kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 meter (Vs30) berkisar antara 210–376 m/s. Ketebalan lapisan sedimen di wilayah tersebut bervariasi antara 104 hingga 262 meter. Daerah dengan amplifikasi tinggi (9–21) dan frekuensi dominan rendah (1,1–2,3 Hz), seperti Kecamatan Sewon, Banguntapan, dan Umbulharjo, menunjukkan kerentanan tinggi terhadap gempa. Selain itu, daerah ini juga memiliki nilai Vs30 rendah yang berkorelasi dengan potensi likuifaksi.

Penelitian ini memberikan manfaat besar bagi mitigasi risiko bencana di Yogyakarta. Informasi tentang kerentanan gempa dapat digunakan sebagai dasar dalam perencanaan tata ruang dan desain bangunan tahan gempa, khususnya di area yang rawan. Dengan memahami distribusi amplifikasi dan karakteristik tanah, penelitian ini membantu mengurangi potensi kerusakan akibat gempa di masa depan.

Berdasarkan data yang diperoleh, frekuensi dominan (f0) di wilayah penelitian memiliki nilai antara 1.1 Hz – 18.4 Hz Serta nilai faktor amplifikasi di daerah penelitian memiliki nilai antara 1.4 sampai 6.2. Daerah dengan kerentanan seismik yang tertinggi berada di sekitar titik TA72 yaitu sebesar 22.4 yang merupakan daerah wilayah Jatirejo, Kecamatan Lendah. Dari hasil nilai ini kemudian didapatkan peta sebaran indeks kerentanan seismik (Kg) seperti **Gambar 2.12** di bawah ini



Gambar 2.6 Peta Sebaran Indeks Seismik (Kg)

(Sumber : Yogaswara & Kuncahyani, 2024)

Berdasarkan Peta Sebaran Indeks Seismik di atas, jika terjadi suatu guncangan di area Yogyakarta dan sekitarnya, daerah Jatirejo, Kecamatan Lendah merupakan area yang relatif lebih rawan dibandingkan area yang lain dan dapat mengalami kerusakan yang relatif lebih parah akibat gempa bumi

2.2 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Yang Akan Dilakukan.

Dari penelitian – penelitian di atas dapat dirangkum menjadi tabel seperti berikut.

Tabel 2.1 Perbandingan Dengan Penelitian Terdahulu

No	Aspek	Penelitian Terdahulu					Penelitian Sekarang
		(Anggit Mas, 2018)	**(Arie Satria *et al.*, 2020)**	**(Aditya Yoga *et al.*, 2021)**	**(Arisona *et al.*, 2023)**	**(Azriel Raditya *et al.*, 2024)**	**(Aryasuta Danishwara 2024)**
1.	**Judul Penelitian**	Karakteristik Situs dan Kerentanan Seismik di Kabupaten Klaten Dengan Metode *Horizontal To Vertical Spectral Ratio* (HVSR) Dari Data Mikrotremor.	Analisis Mikrotremor Berdasarkan Metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* untuk Mengetahui Indeks Kerentanan Seismik Kota Jambi	Mikrozonasi Berdasarkan Data Mikrotremor dan Kecepatan Gelombang Geser di Kotamadya Yogyakarta)	Pemetaan Lapisan Tanah Menggunakan Data Mikrotremor HVSR dan Dampaknya Terhadap Daya Dukung Tanah di Kawasan Kota Kendari	Analisis Mikrotremor Berbasis Metode HVSR Untuk Mengetahui Indeks Kerentanan Seismik Di Wilayah Kulonprogo	Penyusunan Peta Kerentanan Gempa Menggunakan Metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR) Berdasarkan Pengukuran Miktortremor di Kecamatan Dukun, Kabupaten Magelang.
2.	**Tujuan Penelitian**	1. Mengetahui nilai frekuensi natural (f0) dan nilai amplifikasi (A0) sehingga didapat nilai indeks kerentanan seismic (Kg)	1. Mengetahui nilai frekuensi natural (f0) dan nilai amplifikasi (A0) sehingga didapat nilai indeks kerentanan seismic (Kg) di Kota Jambi	1. Mengetahui nilai frekuensi dominan (f0), nilai amplifikasi (A0) untuk mendapatkan nilai indeks kecepatan gelombang geser (Vs)	1. Mengetahui nilai frekuensi dominan (f0), nilai amplifikasi (A0) untuk mendapatkan nilai indeks kecepatan gelombang geser (Vs)	1. Mengetahui nilai frekuensi natural (f0) dan nilai amplifikasi (A0) Sehingga menghasilkan nilai indeks kerentanan seismic (Kg)	1. Menentukan karakteristik dinamika tanah berdasarkan nilai frekuensi dominan (Fg), nilai amplifikasi (Ag), dan periode dominan (Tg). 2. Mengetahui nilai indeks kerentanan seismik (Kg). 3. Mengetahui percepatan tanah maksimum (PGA) di Kecamatan Dukun,

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Dengan Penelitian Terdahulu

No	Aspek	Penelitian Terdahulu					Penelitian Sekarang
		(Anggit Mas, 2018)	**(Arie Satria *et al.*, 2020)**	**(Aditya Yoga *et al.*, 2021)**	**(Arisona *et al.*, 2023)**	**(Azriel Raditya *et al.*, 2024)**	**(Aryasuta Danishwara 2024)**
		2. Membuat peta distribusi nilai indeks kerentanan seismik, Percepatan tanah puncak(PGA), gelombang geser (Vs), dan regangan geser tanah.	2. Mengetahui klasifikasi tanah di kawasan Kota Jambi.	2. Mengetahui peta kerentanan seismic di kawasan Kotamadya Yogyakarta. 3. Mendapat Klasifikasi tanah di kawasan Kotamadya Yogyakarta.	2. Mengetahui tipe atau jenis tanah dan karakteristik di kawasan Kota Kendari	2. Mengetahui klasifikasi tanah di kawasan Kulonprogo	4. Menyusun peta mikrozonasi seismik yang memuat peta karakteristik tanah, peta sebaran PGA, dan peta kerentanan seismik, sehingga dapat menggambarkan tingkat kerawanan gempa di Kecamatan Dukun.
3.	**Hasil Penelitian**	1. Mendapat nilai frekuensi natural (f0) dan nilai amplifikasi (A0) sehingga didapat nilai indeks kerentanan seismic (Kg) dan nilai kecepatan gelombang geser (Vs), Nilai PGA , Karakteristik dinamika	1. Mendapat nilai frekuensi natural (f0) dan nilai amplifikasi (A0) sehingga didapat nilai indeks kerentanan seismic (Kg) di Kota Jambi	1. Mendapat nilai frekuensi dominan (f0), nilai amplifikasi (A0), dan nilai kecepatan gelombang geser (Vs)	1. Mendapat nilai frekuensi dominan (f0), nilai amplifikasi (A0), dan nilai kecepatan gelombang geser (Vs)	1. Mendapat nilai frekuensi natural (f0) dan nilai amplifikasi (A0) sehingga didapat nilai indeks kerentanan seismic (Kg) di Kulonprogo.	1. Karakteristik dinamika tanah berdasarkan nilai frekuensi natural (f0), nilai amplifikasi (A0), periode dominan (T0) 2. Nilai Indeks Kerenatanan Seismik (Kg)

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Dengan Penelitian Terdahulu

No	Aspek	Penelitian terdahulu					Penelitian Sekarang
		(Anggit Mas, 2018)	**(Arie Satria *et al.*, 2020)**	**(Aditya Yoga *et al.*, 2021)**	**(Arisona *et al.*, 2023)**	**(Azriel Raditya *et al.*, 2024)**	**(Aryasuta Danishwara 2024)**
		tanah dan regangan geser tanah. 3. Daerah bagian selatan wilayah Kabupaten Klaten mempunyai tingkat kerentanan seismik yang relatif lebih tinggi sesuai dengan kondisi kerusakan bangunan akibat gempa jogja 2006.	2. Nilai Frekuensi dominan daerah penelitian didominasi oleh tipe 2 Jenis IV, tipe 3 jenis IV, dan tipe 4 jenis II	2. Peta kerentanan seismic di kawasan Kotamadya Yogyakarta. 3. Kecamatan Sewon, Banguntapan, dan Umbulharjo didominasi oleh jenis tanah sedang (SD)	2. Jenis Tanah Wilayah Kendari didominasi oleh material tanah lunak (SC)	3. Nilai Frekuensi dominan daerah penelitian didominasi oleh tipe 1 Jenis IV, jenis 2 tipe III, dan jenis 3 tipe II	3. Percepatan tanah maksimum (PGA) di Kecamatan Dukun, Kabupaten Magelang. 4. Peta mikrozonasi seismik yang memuat peta karakteristik tanah, peta sebaran PGA, dan peta kerentanan seismik.

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Kondisi Geologi

Menurut KBBI, geologi adalah ilmu yang mempelajari komposisi, struktur, dan sejarah bumi. Ilmu ini mencakup pemahaman mendalam tentang berbagai elemen penyusun bumi, seperti batuan, mineral, dan unsur kimia yang terdapat di dalamnya. Selain itu, geologi juga mempelajari struktur bumi, termasuk lapisan-lapisan yang membentuk kerak bumi serta fenomena alami yang memengaruhi perubahan bentuk permukaan bumi, seperti gempa bumi, vulkanisme, dan erosi.

3.1.1 Kondisi Geologi di Kecamatan Dukun

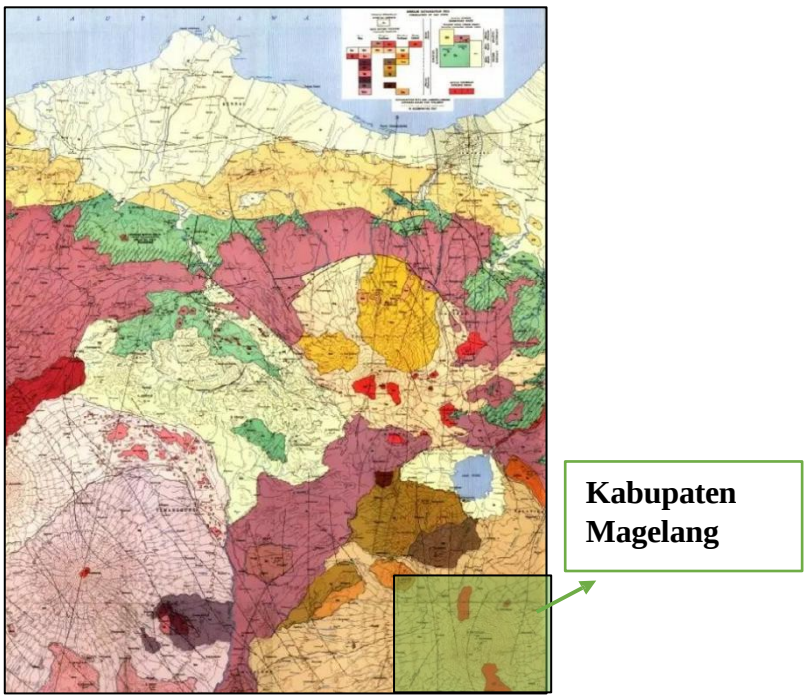
Kecamatan Dukun merupakan salah satu dari 21 kecamatan yang ada di Kabupaten Magelang. Secara geografis, Kecamatan Dukun berada di lereng barat Gunung Merapi, dan berada di sisi Timur Kabupaten Magelang, berbatasan dengan beberapa kecamatan di Kabupaten Magelang dan Kabupaten Boyolali, Provinsi Jawa tengah, Indonesia.

Kecamatan Dukun, Kabupaten Magelang, tersusun dari jenis tanah dominan Latosol dan Aluvial. Tanah Aluvial terbentuk dari endapan sungai di dataran rendah dan memiliki kesuburan yang tinggi. Meskipun demikian, tanah Aluvial cenderung mudah tererosi dan penurunan kesuburannya dapat terjadi jika tidak dikelola dengan baik (Badan Pusat Statistik Kabupaten Magelang, 2012). Tanah Latosol terbentuk dari pelapukan batuan induk yang kaya mineral dan juga mendukung aktivitas pertanian di dataran rendah. Sementara itu, tanah vulkanik, seperti Regosol dan Andosol, banyak terdapat di daerah lereng Gunung Merapi. Namun, tanah ini memiliki risiko erosi yang tinggi terutama pada daerah dengan kemiringan lebih dari 40% (Ardi & Sumunar, 2017).

Di Kecamatan Dukun, Kabupaten Magelang, banyak pula ditemukan batuan hasil letusan gunung berapi, seperti *andesit, breksi, dan aglomerat.* Batuan-batuan ini terbentuk melalui proses vulkanisme, di mana magma yang keluar dari dalam

bumi mendingin dan mengeras menjadi batuan beku. *Andesit* dan *breksi* ditemukan sebagai batuan dominan di daerah ini. *Andesit* terbentuk dari lava yang mengalir dan mendingin dengan tekstur halus dan cukup keras, sedangkan *breksi* terdiri dari fragmen batuan vulkanik yang terlempar saat letusan dan mengendap membentuk batuan dengan fragmen tajam (Saismana, 2022). Selain itu, *agglomerat* terbentuk dari konsolidasi material vulkanik seperti fragmen lava dan abu gunung api, biasanya ditemukan di dekat saluran vulkanik dan ventilasi gunung api (Badan Geologi, 2011). Keberadaan batuan vulkanik ini menunjukkan aktivitas vulkanisme di kawasan Kecamatan Dukun dan berkontribusi pada kesuburan tanah di lereng gunung.

Proses terbentuknya tanah dan batuan di Dukun sangat dipengaruhi oleh letusan gunung berapi yang terjadi berulang kali di masa lalu, seperti yang terlihat dari tanah yang kaya mineral dan batuan vulkanik yang ada di sekitar lereng gunung. Proses geologi ini memberi dampak positif bagi kesuburan tanah namun juga membawa tantangan berupa potensi erosi dan bencana alam terkait aktivitas vulkanik.



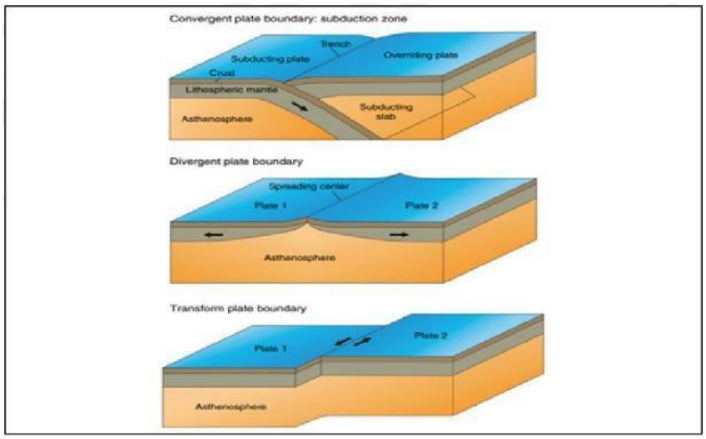
Gambar 3.1 Peta geologi Lembar Magelang dan Semarang

(Sumber : GeoMap ESDM)

3.2 Gempa Bumi

Gempa bumi adalah peristiwa bergetarnya bumi akibat pelepasan energi di dalam bumi secara tiba-tiba yang ditandai dengan patahnya lapisan batuan pada kerak bumi. Akumulasi energi penyebab terjadinya gempa bumi dihasilkan dari pergerakan lempeng-lempeng tektonik (BMKG, n.d.). Gempa bumi dapat berdampak dari yang hampir tidak terasa hingga menyebabkan kerusakan besar dan menimbulkan fenomena lanjutan seperti tsunami jika episentrum gempa berada di dasar laut.

Terdapat beberapa macam faktor penyebab gempa bumi, misalnya adalah pergerakan lempeng tektonik. Proses interaksi lempeng tektonik dapat terjadi di sepanjang batas-batas lempeng yang tersebar di seluruh dunia. Batas-batas ini merupakan area utama di mana lempeng tektonik bertemu, saling memengaruhi, dan menyebabkan berbagai fenomena geologi. Ilustrasi pergerakan lempeng tektonik dapat dilihat pada **Gambar 3.2** di bawah ini.



Gambar 3.2 Pergerakan Lempeng Tektonik

(Sumber : Duarte, 2016)

Ketika dua lempeng bertemu pada sebuah sesar atau bidang patahan, mereka dapat bergerak dengan cara saling bergeser (*transform*), saling mendekat (*collision*), atau saling menjauh (spreading) seperti gambar di bawah. Dalam beberapa kasus, pergerakan ini dapat terhambat atau terkunci, menyebabkan akumulasi energi yang terus menerus. Ketika energi tersebut melebihi batas kemampuan batuan untuk menahan stres, maka akan terjadi pelepasan energi secara

mendadak dalam bentuk getaran, yang dikenal sebagai gempa bumi (Sunarjo dkk., 2012). Ilustrasi pertemuan antar lempeng tektonik dapat dilihat pada **Gambar 3.2** di atas.

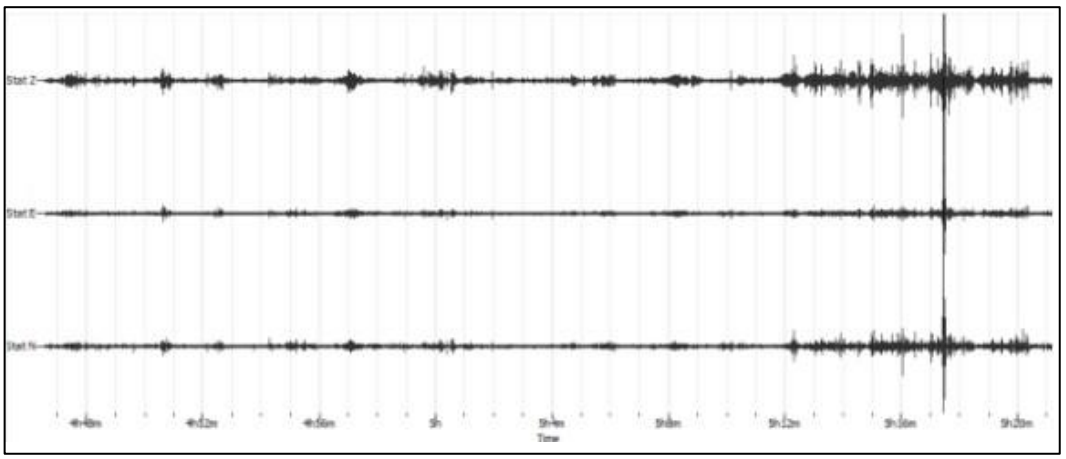
Aktivitas vulkanik yang melibatkan pergerakan magma dan tekanan di bawah gunung berapi juga dapat memicu gempa bumi, yang disebut sebagai gempavulkanik. Adapun faktor penyebab gempa bumi yang disebabkan oleh manusia, seperti runtuhnya gua atau aktivitas tambang bawah tanah bisa menyebabkan gempa lokal dengan skala yang kecil (Suparka, 2007).

Pengukuran gempa bumi dapat dilakukan menggunakan alat yang disebut seismograf, yang mengukur amplitudo dan frekuensi gelombang seismik yang ditimbulkan oleh gempa. Skala umum yang digunakan untuk mengukur kekuatan gempa bumi adalah skala Richter dan skala momen magnitudo (Mw). Data ini sangat penting untuk memantau aktivitas seismik dan untuk merancang strategi mitigasi bencana.

3.3 Mikrotremor

Mikrotremor atau biasa dikenal dengan *ambient noise* adalah getaran tanah berskala kecil dengan amplitudo rendah yang terus-menerus terjadi akibat sumber alami maupun buatan manusia. Gelombang ini biasanya disebabkan oleh aktivitas gelombang laut, angin, atau aktivitas manusia seperti lalu lintas kendaraan dan mesin industri. Frekuensi mikrotremor berkisar antara 0,1 hingga 10 Hz, menjadikannya komponen gelombang seismik yang lebih stabil dibandingkan dengan gempa bumi, sehingga gelombang ini sering digunakan untuk analisis geofisika, terutama dalam penentuan karakteristik tanah dan risiko gempa bumi di suatu wilayah (Suryanita & Indrajaya, 2019)

Selain itu, mikrotremor juga digunakan untuk mengevaluasi struktur bawah permukaan, seperti ketebalan lapisan sedimen dan interaksi antar lapisan. Namun, meskipun banyak keunggulan, pengukuran mikrotremor memerlukan peralatan presisis tinggi dan sensitif terhadap gangguan lingkungan, seperti kebisingan lokal, yang dapat mempengaruhi kualitas data. Berikut merupakan contoh data sinyal mikrotremor yang diperoleh dari pembacaan seismograf pada **Gambar 3.3**.



Gambar 3.3 Data Mikrotremor Dari Pembacaan Seismograf di Kecamatan Gatiwarno

(Sumber : Arifudin, 2018)

3.4 Mikrozonasi

Mikrozonasi adalah proses pemetaan dan pengelompokan suatu wilayah berdasarkan karakteristik seismik dan geoteknik yang berbeda beda. Tujuan dilakukan pemetaan adalah untuk mengidentifikasi zona-zona dengan tingkat risiko yang berbeda terhadap amplifikasi gelombang seismik, likuifaksi, atau kerusakan akibat gempa. Mikrozonasi memberikan informasi rinci yang sangat penting dalam perencanaan tata ruang, pembangunan infrastruktur, dan mitigasi bencana di wilayah rawan gempa (Suryanita & Indrajaya, 2019).

Dalam proses mikrozonasi, mikrotremor menjadi salah satu metode umum yang digunakan karena dapat mengidentifikasi frekuensi tanah melalui analisis HVSR. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Permana (2018), menunjukan bahwa mikrozonasi efektif untuk mengevaluasi risiko gempa di daerah perkotaan. Selain itu, mikrozonasi tidak hanya membantu memahami kondisi geologi lokal, tetapi juga memberikan dasar ilmiah dalam merancang desain bangunan tahan gempa. Alasan inilah yang menyebabkan mikrozonasi menjadi alat penting dalam mitigasi bencana dan perencanaan pembangunan berkelanjutan, terutama di wilayah Indonesia yang rawan terhadap gempa.

3.5 Uji Outlier

Uji *outlier* merupakan metode statistik yang digunakan untuk mendeteksi data yang menyimpang secara signifikan dari pola umum suatu *dataset*. Nilai-nilai tersebut, yang disebut *outlier*, dapat muncul karena kesalahan pengukuran, variasi proses alami, atau karakteristik unik data tertentu. Salah satu metode yang umum digunakan pada uji *outlier* adalah metode *Z-score*. Metode ini mengukur seberapa jauh setiap titik data dari rata-rata (*mean*) dalam satuan standar deviasi.

Pemilihan metode *Z-score* didasarkan pada keunggulan yang relevan dengan karakteristik penelitian ini. Pertama, metode ini sangat sesuai untuk jenis data yang digunakan, yaitu data numerik kuantitatif kontinu dari pengukuran mikrotremor. Jenis data ini memiliki nilai rata-rata dan standar deviasi yang dapat dihitung, yang merupakan prasyarat utama untuk penerapan metode *Z-score*. Kedua, metode ini memberikan kriteria yang jelas dan konservatif. Nilai ambang batas *Z-score* yang umum digunakan untuk mengidentifikasi *outlier* adalah kurang dari -3 atau lebih dari +3. Batasan ini didukung oleh Teorema *Chebyshev*, yang menjamin bahwa setidaknya 89% data akan berada dalam rentang ±3 standar deviasi dari rata-rata, terlepas dari jenis distribusinya. Dengan demikian, nilai yang teridentifikasi sebagai *outlier* dapat dicurigai kuat sebagai anomali atau kesalahan pengukuran, bukan sekadar variasi alami.

Penerapan uji *outlier* dengan metode Z-score menjadi langkah penting dalam pra-pemrosesan data untuk memastikan validitas dan keakuratan analisis selanjutnya. Proses ini memastikan bahwa *dataset* yang digunakan untuk analisis dan interpolasi peta telah bersih dari data ekstrem yang dapat mendistorsi hasil, sehingga peta kerentanan seismik yang dihasilkan menjadi lebih akurat dan representatif.

Apabila terdapat data *outlier* yang teridentifikasi, langkah selanjutnya adalah menyikapinya dengan hati-hati. Pendekatan pertama bukanlah langsung menghapus data tersebut, melainkan melakukan investigasi mendalam untuk memahami penyebabnya. Jika *outlier* merupakan hasil dari kesalahan pengukuran, kesalahan input data, atau kerusakan instrumen, maka data tersebut dapat dikeluarkan dari *dataset* untuk menghindari *distorsi* pada hasil analisis. Namun,

jika *outlier* ternyata merupakan nilai yang valid dan merepresentasikan fenomena unik atau anomali yang penting untuk penelitian (misalnya, kondisi geologi yang sangat berbeda di satu titik), data tersebut harus dipertahankan. Persamaan yang digunakan untuk uji *outlier* dapat dilihat pada **Persamaan 3.1**, **Persamaan 3.2**, **dan Persamaan 3.3.**

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

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

$$Z = \frac{\text{Xi} - \text{Mean}}{S.Deviasi} \quad (3.3)$$

Keterangan :

$\bar{x}$ = Rata-rata dari seluruh data

ΣX = Jumlah seluruh nilai data

n = Jumlah data

Xi = Nilai data ke-i

3.6 Metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR)

Metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR) adalah teknik analisa data seismik pasif, seperti mikrotremor, yang digunakan untuk menentukan karakteristik tanah di suatu wilayah. Metode ini pertama kali diperkenalkan oleh Nogoshi dan Igarashi pada tahun 1971 yang kemudian dikembangkan oleh Nakamura pada tahun 1989. Dalam publikasinya, Nakamura menunjukan bahwa perbandingan antara spektrum horizontal dan vertikal dari gelombang mikrotremor dapat digunakan untuk mengidentifikasi frekuensi dominan tanah, yang berhubungan dengan karakteristik lapisan bawah permukaan seperti ketebalan sedimen dan kekakuan tanah.

Dalam metode HVSR, data mikrotremor direkam menggunakan sensor seismik tiga komponen. Sinyal yang direkam kemudian dianalisis untuk mendapatkan nilai frekuensi dominan (fg) dan nilai amplifikasi (Ag). Berdasarkan getaran seismik yang tercatat pada komponen horizontal dan

vertikal di permukaan tanah yang berinteraksi dengan lapisan batuan pada daerah cekungan, akan didapatkan faktor amplifikasi dimana komponen horizontal dan vertikal masing-masing diberi notasi TH dan TV. Besarnya nilai amplifikasi diperoleh dengan membandingkan spektrum pada permukaan tanah dengan spektrum yang terjadi pada batuan dasar. Perhitungan faktor amplifikasi horizontal dan faktor amplifikasi vertikal dapat diperoleh dengan **Persamaan 3.4** dan **Persamaan 3.5** sebagai berikut.

1. Perhitungan nilai amplifikasi horizontal :

$$Th = \frac{SHs}{SHb} \quad (3.4)$$

2. Perhitungan nilai amplifikasi vertikal :

$$TV = \frac{SVs}{SVb} \quad (3.5)$$

Keterangan :

TH = Faktor amplifikasi gerakan horizontal

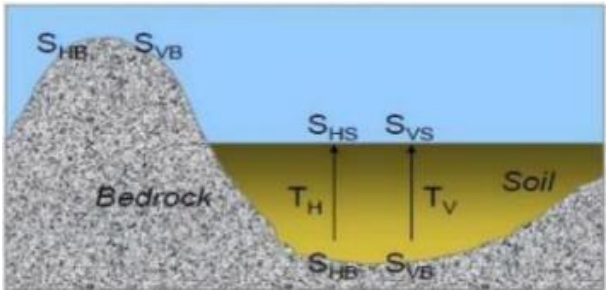
S_{Hf} = Spektrum komponen horizontal di permukaan tanah

S_{Hb} = Spektrum komponen horizontal di lapisan dasar

Tv = Faktor amplifikasi gerakan vertikal

S_{Vf} = Spektrum komponen vertikal di permukaan tanah

S_{Vb} = Spektrum komponen vertikal di dasar lapisan tanah



(Sumber : Nakamura, 2000)

Gambar 3.4 Gerakan Horizontal dan Vertikal Batuan di Area Cekung

Selanjutnya, data yang akan digunakan dalam analisis metode HVSR adalah data mikro tremor. Padang pengukuran mikro tremor dengan seismograf, terdapat 3 komponen, yaitu komponen horizontal EW (*east – west*), komponen horizontal NS (*north – south*) dan komponen vertikal (*up – down*). Lalu dapat dilakukan

perhitungan rasio spektrum mikro tremor dengan Persamaan 3.6 sebagai berikut.

$$\text{HVSR} = T_{SITE} = \frac{\sqrt{(SH_{East-West})2 + (SH_{East-West})2}}{s_{Vs}} \quad (3.6)$$

Dengan keterangan sebagai berikut : $(SH_{East-West})^2$

T_{SITE} = Rasio spektrum mikrotremor

$SH_{North\text{-}south}$ = Sinyal horizontal arah utara dan selatan

$SH_{East\text{-}west}$ = Sinyal horizontal arah timur dan barat

S_{Vs} = Sinyal vertikal[2]

3.7 Frekuensi Dominan (Fg)

Frekuensi natural, atau frekuensi dominan, adalah banyaknya gelombang yang terjadi dalam satuan waktu. Nilai ini merupakan karakteristik utama yang dihasilkan dari analisis mikrotremor menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR). Frekuensi ini menggambarkan respons alami tanah terhadap getaran seismik dipengaruhi oleh ketebalan serta sifat fisik lapisan di atas tanah batuan dasar. Faktor yang mempengaruhi frekuensi dominan adalah ketebalan sedimen (h) dan besarnya kecepatan rata-rata (Vs), dimana frekuensi dominan harus berbanding lurus dengan besarnya kecepatan rata-rata dan berbanding terbalik dengan ketebalan sedimen. Dengan ini dapat disimpulkan bahwa wilayah yang memiliki lapisan sedimen yang tebal cenderung mempunyai nilai frekuensi natural yang kecil. Berdasarkan frekuensi dominan, pengklasifikasian tanah dapat dikelompokan sebagaimana pada **Tabel 3.1** berikut.

Tabel 3.1 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Nilai Frekuensi Natural Oleh Kanai

Klasifikasi Tanah		Frekuensi Natural (Hz)	Klasifikasi Kanai	Deskripsi
Tipe	**Jenis**			
IV	I	6,67 - 20	Batuan *gravel*, *hardy sandy*, dll. Berumur tersier atau lebih tua	Didominasi oleh batuan keras, ketebalan sedimen permukaan sangat tipis
III	II	4,0 – 6,67	Batuan *sandy-gravel, loam, sandy hard clay*, dll. Batuan *alluvial* dengan ketebalan sekitar 5m.	Ketebalan sedimen permukaan sekitar 5-10m, masuk dalam kategori menengah
II	III	2,5 – 4,0	Batuan *sandy-gravel, loam, sandy hard clay*, dll. Batuan *alluvial* dengan ketebalan sekitar 5m.	Ketebalan sedimen permukaan sekitar 10-30m, termasuk dalam kategori tebal.
I	IV	<2,5	Batuan *alluvial* dari sedimentasi delta, *top soil*, lumpur dan lainnya. Kedalaman ≥ 30m	Ketebalan sedimen permukaan sangatlah tebal.

(Arifin *et al.*, 2014)

3.8 Amplifikasi Maksimal (Ag)

Amplifikasi maksimal (Ag), pada hasil analisis metode mikrotremor adalah nilai tertinggi dari perbandingan amplitudo spektral komponen *horizontal* terhadap komponen *vertikal* dalam frekuensi tertentu. Besar atau kecilnya faktor amplifikasi sangat bergantung pada lunak atau kerasnya lapisan batuan yang dilalui oleh gelombang, daerah dengan permukaan yang tersusun dari batuan akan memiliki nilai amplifikasi lebih kecil dibandingkan daerah yang permukaannya tersusun dari sedimen lunak. Amplifikasi maksimal merupakan parameter penting dalam dalam mikrozonasi seismik karena menunjukkan potensi risiko amplifikasi getaran tanah akibat gempa bumi. Semakin tinggi nilai Ag, maka semakin besar risiko kerusakan struktural di area tersebut, terutama untuk bangunan dengan frekuensi alami yang mendekati frekuensi dominan tanah (Syahbana *dkk.*,2015). Klasifikasi nilai dan amplifikasi dapat dilihat pada **Tabel 3.2** berikut

Tabel 3.2 Klasifikasi Nilai Amplifikasi

Zona	Klasifikasi	Nilai Amplifikasi
I	Rendah	Ag < 3
II	Sedang	3 ≤ Ag < 6
III	Tinggi	6 ≤ Ag < 9
IV	Sangat Tinggi	Ag ≥ 9

(Sumber : Marjiyono, 2010)

Nilai amplifikasi juga dapat diperoleh dengan menggunakan rumus persamaan. Hal ini dapat terjadi karena adanya nilai penguatan amplifikasi yang berhubungan dengan kontras lapisan yang ada baik di bawah maupun permukaannya. Apabila perbandingan kontras pada kedua lapisan tinggi, maka nilai faktor amplifikasi juga tingga begitu juga sebaliknya.

3.9 Periode Dominan (Tg)

Periode dominan (Tg) merepresentasikan waktu yang dibutuhkan oleh gelombang seismik untuk merambat dari permukaan tanah ke lapisan batuan dasar dan kembali ke permukaan. Periode dominan berhubungan dengan frekuensi dominan tanah (fg), seperti pada **Persaman 3.7** berikut.

$$Tg = \frac{1}{Fg} \quad (3.7)$$

Keterangan :
T_g = Periode dominan
Fg = Frekensi dominan

Nilai ini dipengaruhi oleh ketebalan dan kekakuan lapisan sedimen yang berada di atas batuan dasar, sehingga memberikan gambaran tentang struktur bawah permukaan tanah di lokasi tersebut (Syahbana dkk., 2015). Nilai dari periode dominan dapat digunakan untuk menganalisis karakteristik pada lapisan di lokasi penelitian menggunakan **Persamaan 3.7** di atas dan klasifikasinya dapat dilihat pada **Tabel 3.3** berikut.

Tabel 3.3 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Periode Dominan Kanai

Klasifikasi Tanah Kanai	Periode Dominan	Deskripsi
Jenis I	< 0,25	Batuan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan hard sandy, gravel.
Jenis II	0.25 – 0.5	Batuan alluvial dengan ketebalan 5 m. terdiri dari sandy – gravel, sandy hard clay, loam.
Jenis III	0,5 – 0,75	Batuan alluvial, hampir sama dengan jenis II, hanya dibedakan oleh adanya formasi bluff.
Jenis IV	> 0,75	Batuan alluvial, yang terbentuk dari sedimentasi delta, top soil, lumpur, dll. Kedalaman ≥ m.

(Sumber : Pratiwi, 2017)

3.10Indeks Kerentanan Seismik (Kg)

Indeks kerentanan seismik (Kg) adalah parameter yang digunakan pada analisis mikrotremor untuk mengevaluasi tingkat kerentanan suatu lokasi terhadap amplifikasi gelombang seismik pada suatu wilayah. Indeks kerentanan seismik (Kg) dapat diperoleh dari hubungan antara frekuensi natural dan amplifikasi yang terjadi, dan dapat diperoleh dari pengukuran permukaan. Nilai indeks kerentanan seismik dipengaruhi oleh beberapa faktor utama, yaitu nilai amplifikasi maksimal (Ag), dan frekuensi dominan (Fg), ketebalan (h) dan kekakuan lapisan sedimen juga berperan signifikan dalam memperoleh nilai Kg.

Indeks kerentanan seismik (Kg) cenderung memiliki nilai tinggi di wilayah dengan frekuensi dominan (Fg) rendah. Frekuensi dominan (Fg) yang rendah menunjukkan adanya lapisan sedimen (h) yang tebal di daerah tersebut, yang dapat memperkuat gelombang seismik dan meningkatkan amplifikasi(Ag). Hal ini menyebabkan indeks kerentanan seismic (Kg) menjadi lebih besar. Hubungan matematis antara amplifikasi (Ag) dan frekuensi dominan (Fg) dapat dilihat pada **Persamaan 3.8** dan klasifikasi kerentanan berdasarkan nilai Kg dapat dilihat pada **Tabel 3.4** di bawah ini.

$$Kg = \frac{Ag^2}{Fg} \tag{3.8}$$

Keterangan :

Kg = Indeks Kerentanan Seismik

Ag = Faktor Amplifikasi

Fg = Frekuensi dominan (Hz)

Tabel 3.4 Klasifikasi Nilai Indeks Kerentanan Seismik

Kategori Kerentanan	Nilai Kg
Rendah	Kg < 3
Sedang	3 < Kg < 6
Tinggi	Kg > 6

(Sumber : *Refrizon*, 2013)

3.11Percepatan Tanah Maksimum (PGA)

Percepatan Tanah Maksimum atau *Peak Ground Acceleration* (PGA) adalah parameter yang menggambarkan percepatan maksimum yang dirasakan oleh permukaan tanah akibat getaran gempa. PGA dinyatakan dalam satuan gravitasi bumi (g) atau meter per detik kuadrat (m/s^2) dan merupakan salah satu indikator untuk menilai potensi kerusakan akibat gempa pada suatu wilayah. Pada analisis mikrotremor, PGA dapat diestimasi berdasarkan parameter amplifikasi tanah (Ag) dan karakteristik spektral gelombang mikro, seperti frekuensi dominan (Fg).

Pengukuran percepatan tanah dapat diukur secara langsung di lokasi penelitian dengan menggunakan alat *accelerograph*, dapat juga diuji dengan menggunakan pendekatan empiris. Pendekatan empiris adalah metode yang mendasarkan analisis pada data atau bukti nyata yang diperoleh melalui pengamatan atau pengalaman langsung, bukan sekadar teori. Pendekatan ini berguna untuk memvalidasi suatu fenomena atau hipotesis dengan menggunakan data yang dapat diuji dan diverifikasi. Salah satu cara dalam menghitung PGA permukaan dengan pendekatan empiris adalah dengan menggunakan metode kanai. Persamaan metode kanai dapat dilihat pada **Persamaan 3.9** Berikut.

$$\alpha = \frac{5}{\sqrt{Tg}}\, 10^{(0{,}61\,M) - (1{,}6 + \frac{3{,}6}{R}\log 10^{R}) + (0{,}167 - \frac{1{,}83}{R})} \qquad (3.9)$$

dimana nilai dari koefisien P dan Q dapat diperoleh melalui **Persamaan 3.10** dan **Persamaan 3.11.**

$$P = \alpha 3 + \frac{\alpha 3}{R} \quad (3.10)$$

$$Q = \alpha 3 + \frac{\alpha 6}{R} \quad (3.11)$$

Nilai PGA permukaan kanai yang sudah didapatkan masih dalam satuan gal dan dapat dikonversikan ke dalam satuan g dengan **Persamaan 3.12** dan PGA konversi ke dalam satuan MMI dengan **Persamaan 3.13.**

$$\alpha g = \text{PGA (gal)} \times 0{,}0010197 \quad (3.12)$$

$$\alpha g = 3{,}66 \times \log(\text{PGA (gal)}) - 1{,}66 \quad (3.13)$$

Keterangan :

α = percepatan tanah di titik pengukuran (gal)

Tg = periode predominan tanah (s)

M = magnitudo gempabumi (SR)

R = jarak kedalaman gempabumi (km)

αg = percepatan di batuan dasar dengan konstanta-konstanta

a1 = 5, a2 = 0,61, a3 = 1,66, a4 = 3,60, a5 = 0,167, a6 = -1,83.

Selanjutnya, Klasifikasi skala nilai PGA menurut SIG BMKG dapat dilihat pada **Tabel 3.5** dibawah ini.

Tabel 3.5 Klasifikasi Nilai PGA Menurut SIG BMKG

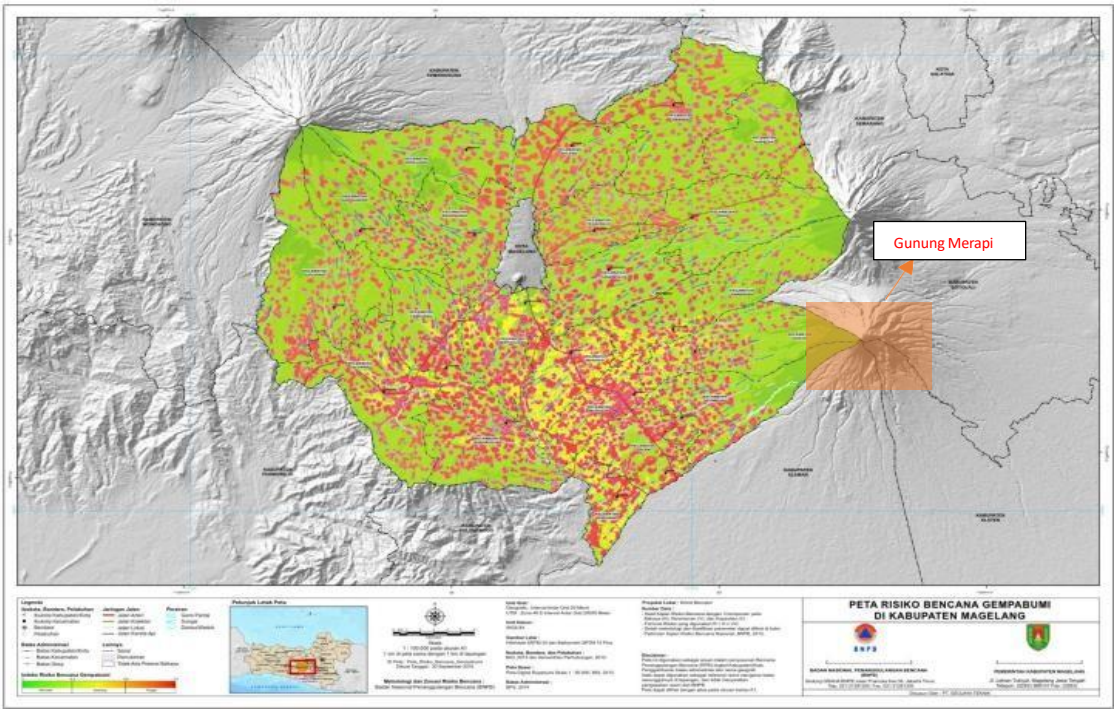
Skala SIG BMKG	Warna	Deskripsi Sederhana	Deskripsi Rinci	Skala MMI	PGA (gal)
I	Putih	TIDAK DIRASAKAN (*Not Felt)*	Tidak dirasakan atau dirasakan hanya oleh beberapa orang tetapi terekam oleh alat.	I-II	< 2,9
II	Hijau	DIRASAKAN (*Felt*)	Dirasakan oleh orang banyak tetapi tidak menimbulkan kerusakan. Benda-benda ringan yang digantung bergoyang dan jendela kaca bergetar	III - V	2,9 – 88
III	Kuning	KERUSAKAN RINGAN (*Slight Damage*)	Bagian non struktur bangunan mengalami kerusakan ringan, seperti retak rambut pada dinding, atap bergeser ke bawah dan sebagian berjatuhan.	VI	89 – 167
IV	Jingga	KERUSAKAN SEDANG (*Moderate Damage*)	Banyak Retakan terjadi pada dinding bangunan sederhana, sebagian roboh, kaca pecah. Sebagian plester dinding lepas. Hampir sebagian besar atap bergeser ke bawah atau jatuh. Struktur bangunan mengalami kerusakan ringan sampai sedang.	VII-VIII	168 – 564
V	Merah	KERUSAKAN BERAT (*Heavy Damage*)	Sebagian besar dinding bangunan permanen roboh. Struktur bangunan mengalami kerusakan berat. Rel kereta api melengkung.	IX-XII	> 564

(Sumber : Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika)

3.12 Peta Kerentanan Gempa Bumi

Secara umum, peta adalah gambar atau lukisan pada kertas dan sebagainya yang menunjukan letak tanah, laut, sungai, gunung, dan sebagainya. Representasi melalui gambar atau gambar dari suatu daerah yang menyatakan sifat, seperti batas

daerah, sifat permukaan, dan denah. Sedangkan peta kerentanan gempa bumi adalah representasi geografis yang menggambarkan tingkat risiko atau dampak potensial dari gempa bumi di suatu wilayah yang kemudian dikategorikan sesuai tingkat kerentanan gempa bumi pada wilayah tersebut. Contoh peta kerentanan gempa bumi dapat dilihat pada **Gambar 3.5** di bawah ini.



Gambar 3.5 Peta Risiko Bencana Gempa Bumi di Kabupaten Magelang

(Sumber : Peraturan Bupati Magelang Nomor 46 Tahun 2018)

BAB IV
METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di wilayah Kecamatan Dukun, Kabupaten Magelang, Provinsi Jawa Tengah. Kecamatan Dukun memiliki total 15 desa, berdasarkan koordinat geografis, Kecamatan Dukun berada di 7 33'70" LS dan 110 20'23" LU dengan ketinggian 618 mdpl dan terletak di sebelah barat Gunung Merapi. Detail lokasi penelitian dapat dilihat pada **Gambar 4.2** di bawah.

4.2 Peralatan dan Teknik Pengumpulan Data

4.2.1 Peralatan

Peralatan dan perangkat yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu :

1. Seismometer Lennartz Electronic tipe LE-3D/20s
2. Data Logger
3. Kabel penghubung antara seismometer dengan data logger.
4. Kabel LAN
5. *GPS Handheld*
6. Pelindung peralatan (payung atau jas hujan)
7. *Paving Block*
8. QGIS 3.40.0, berfungsi untuk membuat peta penelitian.
9. *Google Earth Pro,* berfungsi untuk memvisualkan gambaran lokasi penelitian dan menentukan titik lokasi penelitian.
10. *Sesarry Geopsy*, berfungsi untuk meng-*invers* data dan menganalisis kurva H/V.
11. *Microsoft Excel 2021,* berfungsi untuk pengolahan data.
12. *Microsoft Word 2021,* berfungsi untuk pembuatan laporan.
13. Laptop, digunakan sebagai perangkat dalam melakukan pengelolaan data dan penulisan laporan.

14. Lembar *log sheets* titik pengambilan data mikrotremor.
15. Handphone, digunakan untuk mengambil gambar di lapangan.

Untuk mengetahui dengan lebih jelas perangkat yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 4.1** berikut



Lennartz LE-3D/20s



Wifi Antenna (AC)



Power cable



Ethernet Cable



Flashdisk



GPS Antenna



Baterai



Laptop

Gambar 4.1 Perangkat Keras Yang Digunakan Untuk Pengukuran Mikrotremor

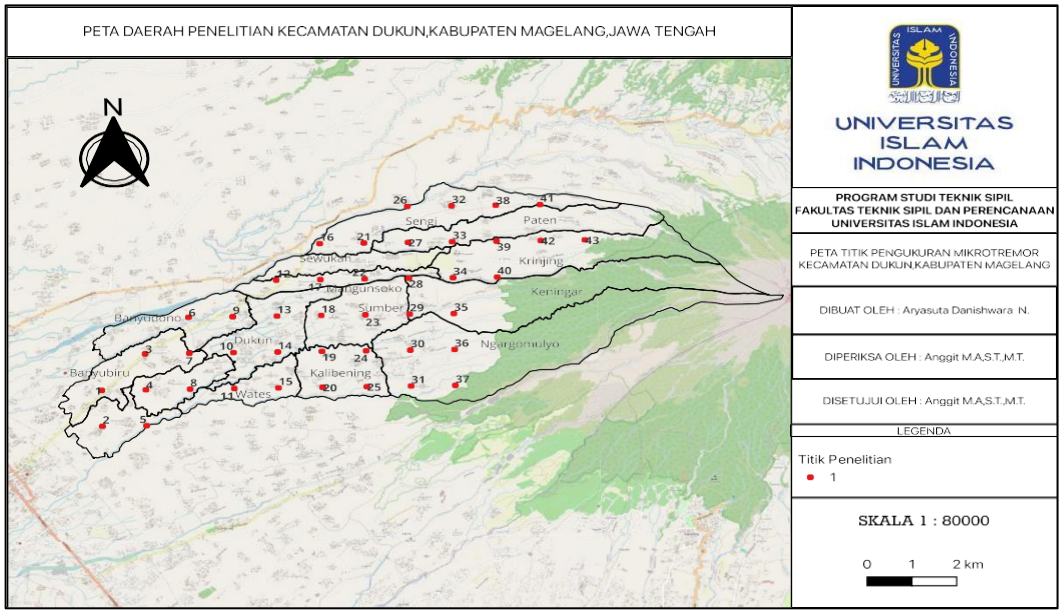
4.2.2 Teknik Pengumpulan Data

Sebelum melakukan pengambilan data, perlu untuk menentukan titik penelitian terlebih dahulu. Pemilihan jarak antar titik dalam penelitian mikrotremor menggunakan metode HVSR sangat penting karena memengaruhi resolusi *spasial* dari peta yang akan dihasilkan. Jarak yang terlalu jauh dapat melewatkan *anomali* geologi lokal, sementara jarak yang terlalu dekat bisa menjadi tidak efisien. Tidak ada satu jarak antar titik yang paling *valid* untuk semua kasus, karena jarak optimal bergantung pada tujuan penelitian dan kondisi

geologi di area studi. Namun, ada pedoman umum dari proyek penelitian besar dan contoh dari studi-studi terdahulu yang bisa dijadikan referensi.

Penentuan jarak antar titik pengukuran mikrotremor dalam penelitian ini didasarkan pada rekomendasi standar dari *SESAME* dan mengacu pada penelitian-penelitian sejenis sebelumnya. Proyek *SESAME* merekomendasikan penggunaan spasi *grid* antara 250 - 500 meter untuk studi *mikrozonasi*. Dengan mempertimbangkan kondisi geologi dan cakupan area penelitian yang luas, spasi antar titik yang digunakan pada penelitian ini adalah 1000 meter (1 km). Jarak ini dianggap memadai untuk menangkap variasi parameter seismik pada skala regional, sekaligus menjaga efisiensi survei, sejalan dengan studi sebelumnya yang telah menggunakan spasi serupa, seperti yang dilakukan Rofiki (2018) di Kecamatan Wedi, Nurjanah *et al*., (2018) di Jalur Sesar Grindulu, dan Aribowo *et al.*, (2016) di Kota Padang, dimana ketiga penelitian tersebut menggunakan interval antar titik sekitar 1-2 km.

Langkah selanjutnya adalah membuat *grid* titik penelitian menggunakan *software* Google Earth dan QGIS, kemudian dilanjutkan dengan mencari koordinat tiap titik penelitian yang telah ditentukan. Koordinat tiap titik penelitian dapat dilihat pada **Tabel 4.1** dan pesebaran titiknya dapat dilihan pada **Gambar 4.2** di bawah ini.



Gambar 4.2 Grid Lokasi Penelitian Dengan Interval 1km.

Tabel 4.1 Koordinat Titik Penelitian Dalam UTM

Titik	X (*Longitude)*	Y (*Latitude*)
1	110.3063184	-7.562424255
2	110.3063184	-7.571329181
3	110.3153015	-7.553519145
4	110.3153015	-7.562424255
5	110.3153015	-7.571329181
6	110.3242847	-7.544613852
7	110.3242847	-7.553519145
8	110.3242847	-7.562424255
9	110.3332678	-7.544613852
10	110.3332678	-7.553519145
11	110.3332678	-7.562424255
12	110.342251	-7.535708375
13	110.342251	-7.544613852
14	110.342251	-7.553519145
15	110.342251	-7.562424255
16	110.3512341	-7.526802716
17	110.3512341	-7.535708375
18	110.3512341	-7.544613852
19	110.3512341	-7.553519145
20	110.3512341	-7.562424255
21	110.3602173	-7.526802716
22	110.3063184	-7.562424255
23	110.3602173	-7.535708375
24	110.3602173	-7.544613852
25	110.3602173	-7.553519145
26	110.3602173	-7.562424255
27	110.3692004	-7.517896873
28	110.3692004	-7.526802716

Lanjutan Tabel 4.1 Koordinat Titik Penelitian Dalam UTM

29	110.3692004	-7.535708375
30	110.3692004	-7.544613852
31	110.3692004	-7.553519145
32	110.3692004	-7.562424255
33	110.3781836	-7.517896873
34	110.3781836	-7.526802716
35	110.3781836	-7.535708375
36	110.3781836	-7.544613852
37	110.3781836	-7.553519145
38	110.3781836	-7.562424255
39	110.3871667	-7.517896873
40	110.3871667	-7.526802716
41	110.3871667	-7.535708375
42	110.3961499	-7.517896873
43	110.3961499	-7.526802716

Kemudian dilakukan pengambilan data mikrotremor secara langsung dengan menggunakan bantuan alat *Lunitek Tritron Digital Seismic Sensor* pada lokasi penelitian sesuai dengan titik yang sudah ditentukan sebelumnya. Tahap pengambilan data dilakukan pada setiap titik penelitian dengan pengukuran sinyal mikrotremor selama ± 30 menit dan pengukuran harus dilakukan sesuai dengan aturan yang ditetapkan oleh *SESAME European Research Project* yang mencakup standar dan syarat pengukuran mikrotremor yang dapat dilihat pada **Tabel 4.2.**

Tabel 4.2 Standar dan Syarat Pengukuran *SESAME*

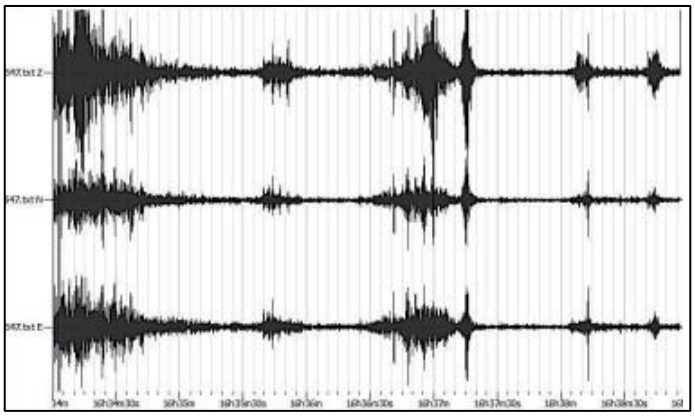
<table>
<tr><th>Jenis Parameter</th><th colspan="2">Saran yang Dianjurkan</th></tr>
<tr><td rowspan="7">Durasi Pencatatan</td><td>Fg minimum yang diharapkan (Hz)</td><td>Durasi pencatatan minimum yang disarankan (menit)</td></tr>
<tr><td>0,2</td><td>30</td></tr>
<tr><td>0,5</td><td>20</td></tr>
<tr><td>1</td><td>10</td></tr>
<tr><td>2</td><td>5</td></tr>
<tr><td>5</td><td>3</td></tr>
<tr><td>10</td><td>2</td></tr>
<tr><td>Coupling soil-sensor alami (in situ)</td><td colspan="2">1. Letakkan sensor langsung pada permukaan tanah
2. Hindari meletakkan sensor seismograf pada permukaan lunak (lumpur, semak-semak) atau tanah lunak setelah hujan</td></tr>
<tr><td>Coupling soil-sensor buatan atau artificial</td><td colspan="2">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.</td></tr>
<tr><td>Keberadaan bangunan atau pohon</td><td colspan="2">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.
2. Hindari pengukuran di lokasi tempat parkiran, pipa air dan gorong-gorong</td></tr>
<tr><td>Kondisi cuaca</td><td colspan="2">1. Suhu : mengecek kondisi sensor dan mengikuti instruksi Pabrik
2. Angin : lindungi sensor dari angin (lebih cepat dari 5m/s).
3. Hujan : hindari pengukuran pada saat hujan lebat.</td></tr>
<tr><td>Gangguan</td><td colspan="2">1. Sumber Monokromik : hindari pengukuran mikrotremor dekat dengan mesin, industri, pompa air, generator yang sedang beroperasi.
2. Sumber sementara : jika terdapat sumber getar transient (jejak langkah kaki, mobil lewat, motor lewat), tingkatkan durasi pengukuran untuk memberikan jendela yang cukup untuk analisis setelah gangguan tersebut hilang.</td></tr>
</table>

(Sumber : *SESAME*, 2004)

4.3 Pengolahan Data

4.3.1 Data Mikrotremor

Hasil pengukuran mikrotremor lapangan selanjutnya akan diolah menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR). Hasil dari pengukuran akan menghasilkan tiga komponen getaran gelombang horizontal EW (*east – west)*, gelombang horizontal NS (*north – south)*, dan gelombang vertikal (*up – down)*. gambar dari sinyal mikrotremor tiga komponen dapat dilihat pada **Gambar 4.3** di bawah ini.



Gambar 4.3 Sinyal Mikrotremor Tiga Komponen

(Sumber : Ambarsari, 2017)

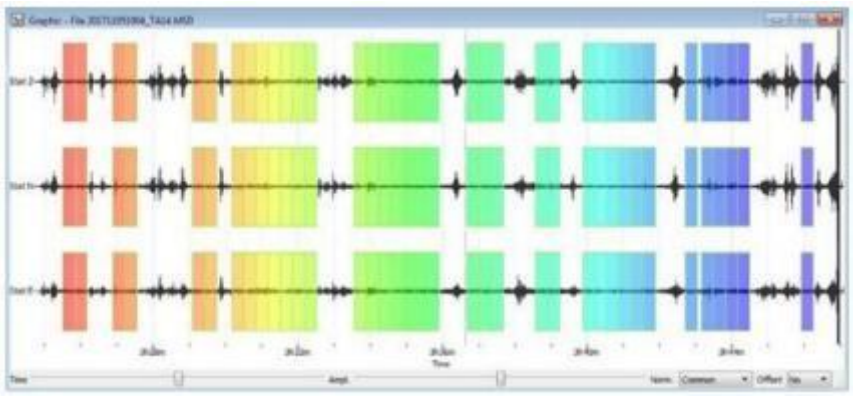
Data ini kemudian akan di *input* ke dalam *software* Geopsy dalam domain waktu. Hasil dari proses ini akan menghasilkan kurva H/V yang nantinya akan dapat diketahui nilai frekuensi dominan (fg) dan faktor amplifikasi (Ag).

4.3.2 Perhitungan Frekuensi Natural (fg), Faktor Amplifikasi (Ag), Periode Dominan (Tg)

Data mikrotremor yang sudah diperoleh selanjutnya akan diolah menggunakan *software Geopsy*, untuk memperoleh kurva H/V. Dari kurva yang H/V akan didapatkan parameter – parameter yang dibutuhkan, seperti nilai frekuensi natural (fg), faktor amplifikasi (Ag), dan periode dominan (Tg). Berikut merupakan tahap-tahap pengolahan metode HVSR dengan *software Geopsy*.

1. Buka *software geopsy*, pilih file dan *import signal* lalu atur *seed stream* dengan IP *instrument* 19.168.0.100 (*Wi – fi)* atau 192.168.1.100 (*Ethernet*).

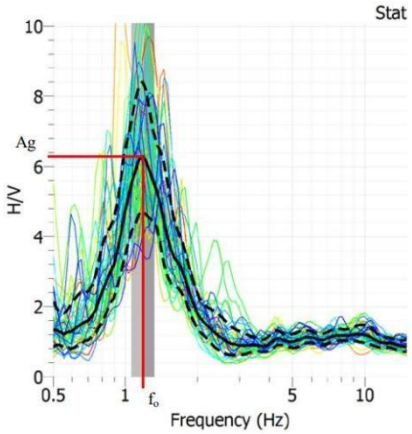
2. *Connect* dan pilih *channels* format data SHE,SHN, dan SHZ.
3. *Filtering signal* dengan *band pass* 0,5 Hz – 2,5 Hz yang merupakan sinyal frekuensi rendah sesuai dengan karakteristik mikrotremor.
4. Pada *windows seed link signal loader geopsy,* pilih start atau input data. Dengan menekan tombol pada *toolbar, software geopsy* akan menyeleksi dan mengolah *windows* secara otomatis. Berikut merupakan contoh sinyal saat pengolahan data pada *software geopsy* pada **Gambar 4.4.**



Gambar 4.4 Contoh Windowing Sinyal

(Sumber : Arifudin, 2018)

5. Pilih *time window* yang meliputi panjang (*length), range* waktu yaitu waktu pada saat mulai dan waktu maksimum *window*. Klik kanan pada tiga komponen data, pilih HV, lalu klik *exactly* pada kolom *length,* kemudian *checklist* bagian *anti triggers on raw signal,* dan pada kolom *select* pilih *auto* lalu *start.*
6. Proses pengolahan data diselesaikan dengan *windows* untuk memilah parameter yang diperlukan secara otomatis, klik *start* agar *software* mulai melakukan perhitungan HVSR.
7. Simpan hasil kurva H/V yang telah diolah dengan format *extension* .HV, berikut merupakan contoh kurva H/V pada **Gambar 4.5.**



Gambar 4.5 Kurva H/V

(Sumber : Arifudin, 2018)

4.3.3 Perhitungan Indeks Kerentanan Seismik (Kg)

Perhitungan indeks kerentanan seismik pada penelitian ini dilakukan menggunakan Persamaan 3.9. yang merupakan hubungan antara frekuensi natural dan nilai faktor amplifikasi tanah yang terjadi setelah didapatkan nilai indeks kerentanan seismik langkah berikutnya adalah melakukan pemetaan dari hasil tersebut untuk mengetahui persebaran distribusinya.

4.3.4 Perhitungan Percepatan Tanah Maksimum (PGA)

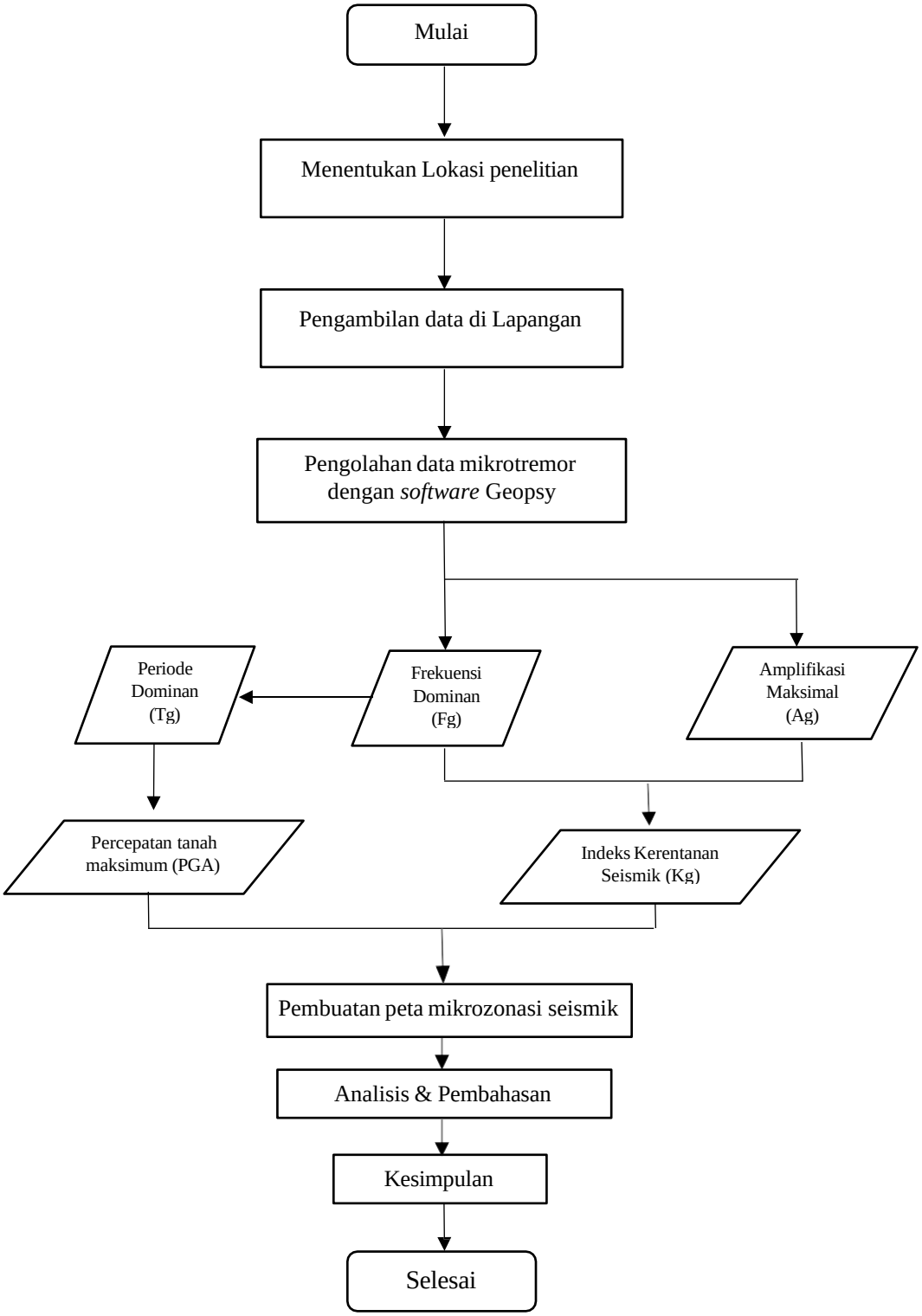
Pada penelitian ini perhitungan percepatan tanah maksimum atau peak ground acceleration (PGA) permukaan dihitung menggunakan persamaan metode Kanai (1996) pada Persamaan (3.10 – 3.14). Hubungan PGA permukaan juga dipertimbangkan dalam parameter-parameter lainnya, seperti periode dominan tanah, magnitude gempa, dan jarak pusat gempabumi yang terjadi pada bulan Juni 2023.

4.3.5 Peta Kerentanan Gempa Bumi

Peta kerentanan gempa bumi dibuat menggunakan *software* QGIS dengan mengolah data hasil penelitian lapangan. Data tersebut meliputi indeks kerentanan seismik (Kg) dan percepatan tanah maksimum (PGA). Kedua parameter ini kemudian digabungkan untuk menghasilkan peta yang menggambarkan tingkat kerentanan wilayah terhadap potensi gempa secara lebih jelas dan informatif.

4.4 Diagram Alur Penelitian

Tahapan dalam penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 4.6** diagram alir berikut.



Gambar 4.6 Diagram Alur Penelitian

BAB V
DATA, ANALISIS, DAN PEMBAHASAN

5.1 Pengambilan Data di Lapangan

Teknik pengambilan data yang dilakukan di melalui pengambilan data mikrotremor yang didapatkan melalui bantuan alat *Lennartz Electronic* LE3D - 20s. Lokasi pengambilan data disesuaikan dengan titik koordinat yang telah disesuaikan sebelumnya. Proses perekaman dilakukan dengan menggunakan panduan SESAME. Langkah awal yang dilakukan pada pengambilan data mikrotremor adalah menuju ke titik yang telah ditentukan sebelumnya dengan bantuan aplikasi *Avenza.* Jika lokasi telah sesuai dengan lokasi rencana, selanjutnya mempersiapkan instrumen alat. Proses persiapan instrumen alat terdiri dari beberapa tahapan, sebelum alat dapat digunakan, yaitu :

1. Gali tanah sedalam ± 60cm untuk menaruh seismometer, alat diletakan didalam tanah untuk mengurangi *noise* yang ditimbulkan dari angin.
2. Letakan *paving block* di dalam lubang sebagai alas untuk seismometer.
3. Letakkan seismometer pada titik pengukuran tersebut dan arahkan seismometer menuju arah utara, terdapat penunjuk arah pada seismometer seperti pada **Gambar 5.1.**



Gambar 5.1 Penanda Arah Mata Angin Pada Seismometer

4. Hubungkan seismometer dengan data *logger* menggunakan kabel penghubung.
5. Lakukan *leveling* pada seismometer dengan cara menempatkan gelembung di dalam nivo di bagian tengah. Gelembung tersebut dapat diatur dengan menggunakan 3 buah kaki penyangga. Proses *leveling* dapat dilihat pada **Gambar 5.2** berikut.



Gambar 5.2 Proses Leveling Seismometer.

6. Hubungkan data logger dengan Laptop menggunakan kabel penghubung. Ulur semua kabel yang tergulung untuk menghindari *coupling* yang dapat menyebabkan gangguan terhadap tegangan dan arus.
7. Buka *software DataQ* dan lakukan *setting* untuk menentukan nilai *sampling rate* dan *gain.*
8. Lakukan pengujian respons gelombang sebelum melakukan perekaman data, jika respons gelombang yang ditunjukkan sama antara ketiga komponen, maka dapat melakukan proses perekaman data mikrotremor.

5.2 Uji Outlier

Uji *outlier* adalah salah satu metode statistik yang digunakan untuk mengidentifikasi data yang secara signifikan berbeda dari data lainnya dalam suatu kumpulan data. *outlier* dapat terjadi karena berbagai faktor, seperti kesalahan

pengukuran, kesalahan input data, atau adanya fenomena langka yang memengaruhi hasil pengamatan. Identifikasi *outlier* penting dilakukan karena data tersebut dapat memengaruhi hasil analisis statistik, seperti rata-rata, varian, atau model prediktif, sehingga dapat menyebabkan kesimpulan yang tidak akurat. Pada penelitian ini, metode yang digunakan adalah metode *Z-Score.* Dengan mendeteksi dan menangani *outlier* secara tepat, kualitas dan keandalan hasil analisis data dapat ditingkatkan. Syarat nilai *Z-score* yang digunakan sebagai batas adalah kurang dari -3 atau lebih dari +3. Berikut merupakan contoh perhitungan analisis oulier pada titik 18 dan titik 3..

$\bar{x} = \frac{211,2761}{42}$

$= 5,0304$

S.Deviasi $= \sqrt{\frac{(1,3753-211,2761)^2+(1,0187-211,2761)^2+\cdots+(5,9734-211,2761)^2}{42}}$

$= 3,4989$

$Z = \frac{3,6903-5,0304}{3,4989}$

$= 0,382992917$

Hasil *Z-Score* menunjukan nilai 0,3829917, nilai ini ada diantara -3 dan +3, sehingga data ini merupakan data yang valid dan dapat digunakan. Selanjutnya adalah perhitungan nilai *Z-Score* pada titik 3.

Diketahui :

$\bar{x} = 5,0304$

S.Deviasi $= 3,4989$

$Z = \frac{16,7232-5,0304}{3,4989}$

$= 3,341831182$

Hasil *Z-Score* menunjukan nilai 3,341831182, nilai ini telah melewati ambang batas *Z-Score* > 3, maka data ini merupupakan data *Outlier* dan tidak akan digunakan pada keseluruhan analisis kedepannya. Hasil Analisis *outlier* keseluruhan dapat dilihat pada **Tabel 5.1** di bawah.

Tabel 5.1 Analisis Outlier Pada Data Penelitian

Titik	Frekuensi Dominan (Fg)	*Mean*	*Standart Deviation*	*Standardized Z-Score*	Keterangan
1	1,3753	5,0304	3,4982	1,044633286	OK
2	1,0187			1,146553163	OK
3	**16,7232**			**3,341831182**	**OUTLIER**
4	1,1895			1,097743885	OK
5	1,0446			1,139142315	OK
6	1,2653			1,076065798	OK
7	0,90286			1,179653901	OK
8	0,89287			1,18250935	OK
9	1,0244			1,144926949	OK
10	11,2053			1,764803933	OK
11	4,5615			0,134007869	OK
12	1,2842			1,070672713	OK
13	7,6929			0,760955595	OK
14	1,2415			1,082865029	OK
15	5,0137			0,004762456	OK
16	11,6785			1,900045473	OK
17	4,9148			0,033036855	OK
18	3,6903			0,382992917	OK
19	4,8928			0,039333075	OK
20	4,9047			0,035914882	OK
21	3,6315			0,399792363	OK
22	4,7035			0,093429691	OK
23	0,901208			1,180126904	OK
24	4,1769			0,243924487	OK
25	5,3112			0,080266518	OK
26	11,7211			1,912220641	OK
27	5,5799			0,157038671	OK
28	6,2305			0,34300722	OK
29	0,873733			1,187979316	OK

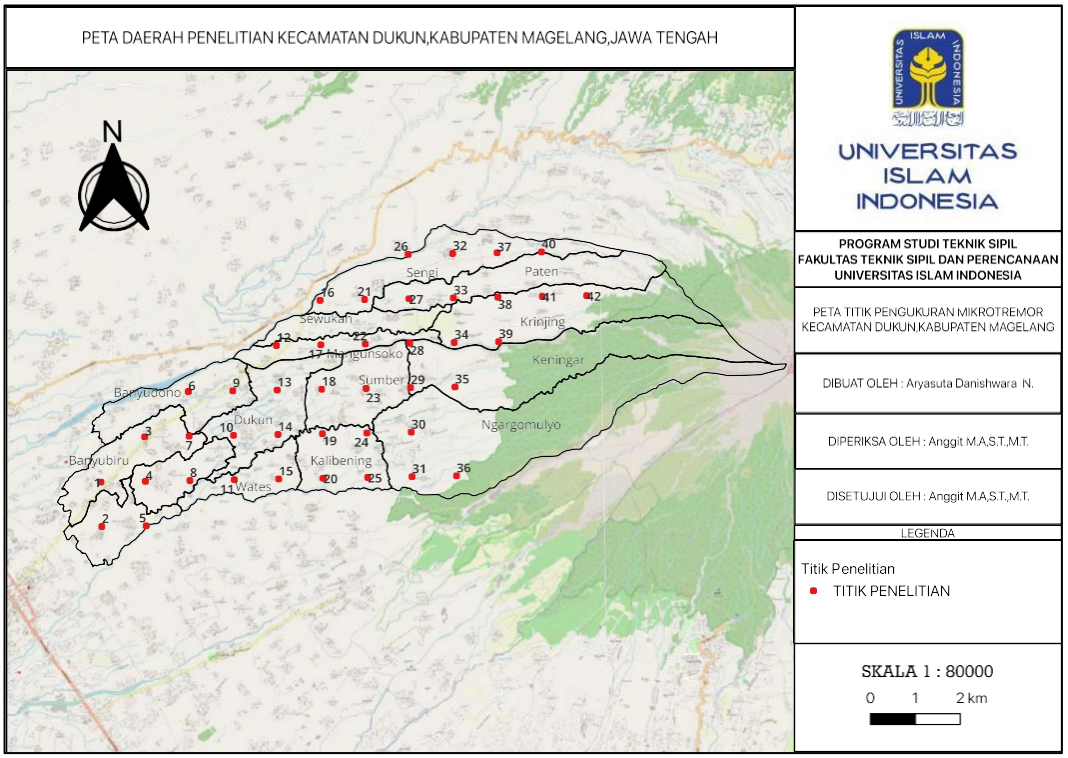
Lanjutan Tabel 5.1 Analisis Outlier Pada Data Penelitian

Titik	Frekuensi Dominan (Fg)	*Mean*	*Standart Deviation*	*Standardized Z-Score*	Keterangan
30	5,0753	5,0304	3,4982	0,012840094	OK
31	4,3221			0,202428885	OK
32	6,3676			0,382184968	OK
33	6,9470			0,547784404	OK
34	5,6776			0,184975823	OK
35	6,8978			0,533717227	OK
36	5,2466			0,061786556	OK
37	8,4142			0,967096055	OK
38	5,5811			0,157395923	OK
39	7,4414			0,689070658	OK
40	7,8982			0,819627903	OK
41	5,7873			0,216339742	OK
42	5,9734			0,269507502	OK

Dari hasil Analisa *outlier* pada tabel 5.1 hanya diperoleh satu data *outlier* di titik 3 dengan nilai *Z-score* sebesar 3,34183. Lokasi di titik 3 merupakan sebuah area dengan hamparan sawah luas, dikelilingi aliran irigasi dengan debit cukup besar, dan tanahnya mengandung banyak air. Berdasarkan syarat uji *outlier*, data yang memiliki nilai *Z-Score* > 3, pada hasil analisis ini yaitu titik 3 tidak akan digunakan pada analisis selanjutnya untuk mencegah terjadinya *distorsi* data.

5.3 Tahapan Analisis Data

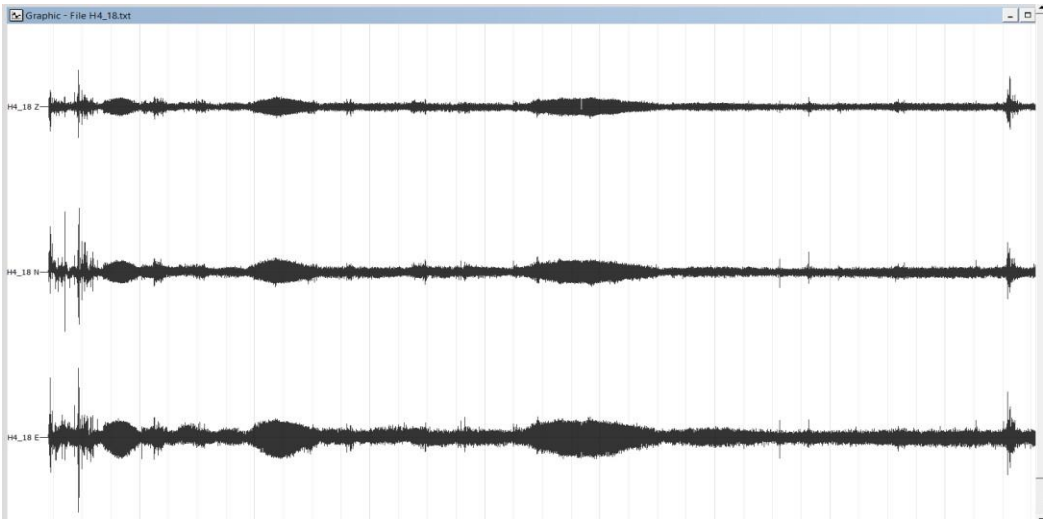
Penelitian ini dilakukan di Kecamatan Dukun, Kabupaten Magelang ini akan mendapatkan hasil akhir berupa nilai percepatan tanah maksimum (PGA). Nilai ini didapatkan dari pengolahan beberapa data meliputi frekuensi dominan (fg), faktor amplifikasi tanah (Ag), periode dominan tanah (Tg), dan indeks kerentanan seismik (Kg). Terdapat 42 titik rencana pengambilan data mikrotremor yang persebarannya dapat dilihat pada **Gambar 5.3** di bawah ini.



Gambar 5.3 Persebaran Titik Penelitian

Pengukuran dilakukan dengan seismometer *Lennartz Electronic* LE3D - 20s. Perekaman gelombang mikrotremor dilakukan selama 35 menit. Hasil yang didapatkan dari perekaman gelombang ini adalah data mentah berupa tiga gelombang seismik, yaitu gelombang vertikal, gelombang seismik horizontal *north – south*, dan gelombang seismik horizontal *east – west*, dengan format data yang didapat berupa SHZ.mseed, SHN.mseed, SHE.mseed.

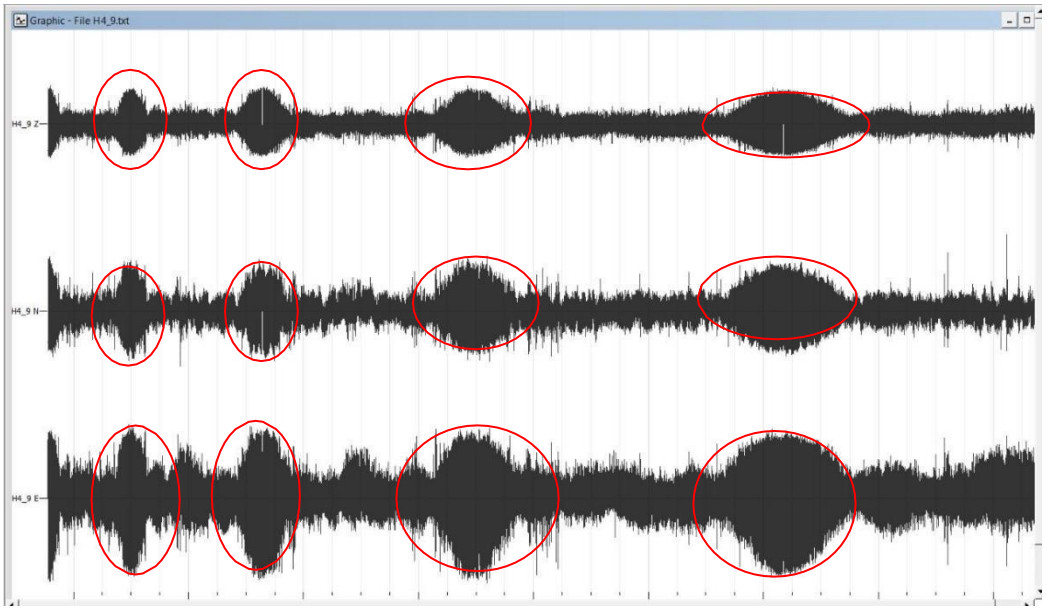
Data yang didapat kemudian diolah menggunakan *software geopsy* yang menggunakan metode HVSR sehingga akan didapatkan nilai frekuensi dominan (fg) dan faktor amplifikasi (Ag). **Gambar 5.4** di bawah merupakan salah satu contoh seismogram hasil perekaman mikrotremor lapangan di Kecamatan Dukun, Kabupaten Magelang.



Gambar 5.4 Grafik Hasil Pengukuran Mikrotremor di Titik 18

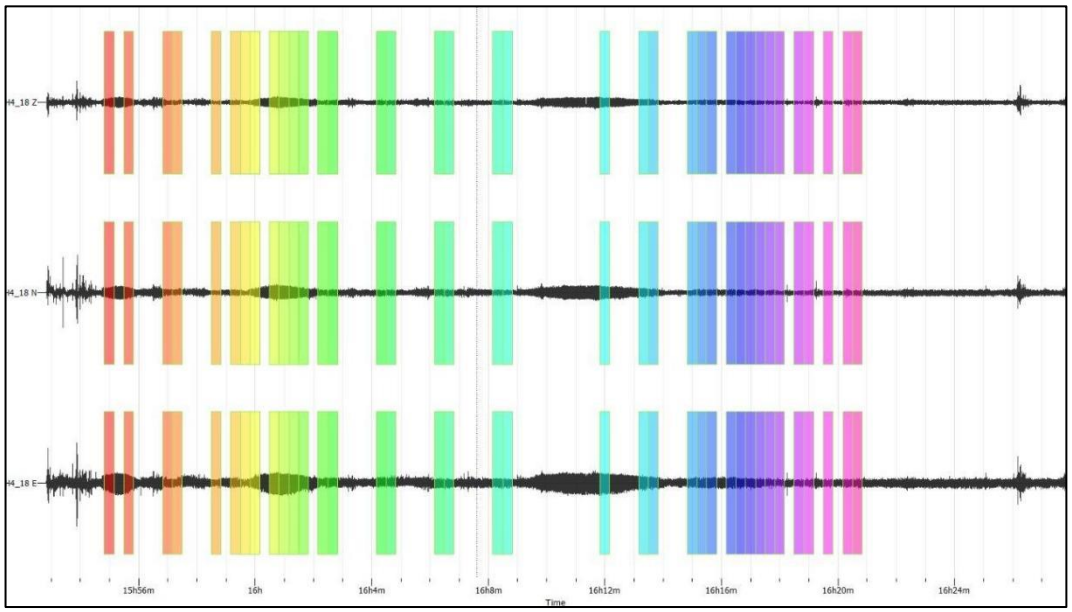
Setelah mendapatkan komponen tersebut, langkah selanjutnya adalah melakukan *filtering option* dan *windowing* dengan melakukan eliminasi pada data yang mengandung *noise* atau gelombang gangguan yang terjadi selama perekaman mikrotremor. Hal ini perlu dilakukan karena pada saat proses perekaman, sinyal yang direkam tidak hanya getaran alami, tetapi juga dari aktivitas sekitar seperti langkah kaki, kendaraan bermotor, bahkan getaran dari aktivitas vulkanik gunung merapi.

Pada penelitian ini, gelombang yang dihasilkan akibat aktivitas gunung merapi terekam pada beberapa titik penelitian, hal ini terjadi karena beberapa titik penelitian ini hanya berjarak ± 4km dari puncak merapi dan tanpa disengaja waktu pengambilan data terjadi bersamaan dengan terjadinya aktivitas vulkanik. Gambar di bawah merupakan contoh gelombang yang dihasilkan akibat aktivitas vulkanik gunung merapi.



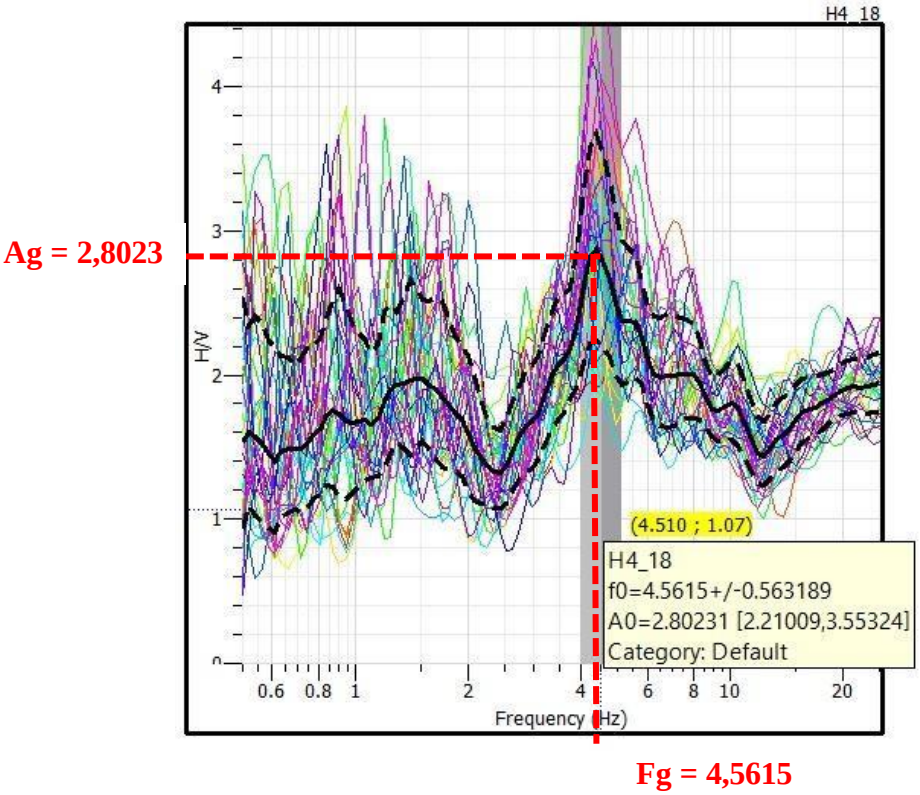
Gambar 5.5 Gelombang Yang Dihasilkan Dari Aktivitas Vulkanik

Gelombang ini telah dikonfirmasi oleh pengawas aktivitas gunung merapi yang terletak di pos pengamatan Babadan yang dikelola oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) sebagai gelombang yang dihasilkan dari aktivitas gunung merapi. Untuk itu penting untuk memahami jenis gelombang yang ditangkap pada saat perekaman, karena pada saat proses perekaman, getaran sekecil appaun dapat mempengaruhi hasil rekaman data. Berikut merupakan hasil *windowing* sinyal mikrotremor di titik 18.



Gambar 5.6 *Windowing* Sinyal Mikrotremor Titik 18

Kurva HVSR yang terbentuk dari hasil *windowing* kemudian akan ditampilkan dari keseluruhan window yang telah diseleksi dengan warna yang sesuai dengan *window*. Kurva dengan warna hitam bergaris putus – putus menunjukan nilai kurva rata – rata HVSR. Sedangkan garis hitam menunjukan simpangan kurva HVSR. Contoh kurva HVSR hasil pengukuran mikrotremor pada titik 18 dapat dilihat pada **Gambar 5.7** di bawah ini.



Gambar 5.7 Kurva HVSR Titik 18

Setelah proses pengolahan data mentah selesai, langkah berikutnya adalah menganalisis kurva H/V yang dihasilkan tiap titik pengukuran. Dari setiap kurva H/V didapatkan nilai frekuensi dominan (Fg) dan faktor amplifikasi (Ag) yang dapat diidentifikasi secara langsung melalui nilai puncak kurva H/V, dimana sumbu vertikal merupakan nilai Ag dan sumbu horizontal adalah nilai Fg. Nilai-nilai ini merupakan parameter dasar respons seismik tanah yang kemudian dapat diolah menjadi parameter-parameter yang *esensial*. Dengan adanya nilai fg dan Ag, proses dilanjutkan dengan pengolahan lebih lanjut untuk mendapatkan parameter-parameter turunan lainnya, yaitu periode dominan tanah (Tg) dan indeks kerentanan seismik (Kg), yang akan dibahas lebih rinci pada sub-bab berikutnya.

5.4 Analisis Nilai Frekuensi Dominan (Fg)

Frekuensi merupakan banyaknya gelombang dalam satuan waktu. Frekuensi dominan tanah merupakan nilai frekuensi yang diambil dari puncak

maksimum kurva HVSR berdasarkan data mikrotremor, frekuensi dominan mencerminkan respons dinamik tanah terhadap gelombang seismik. Nilai frekuensi dominan dipengaruhi oleh ketebalan lapisan sedimen, dimana frekuensi dominan rendah mengindikasikan lapisan yang tebal dan lunak, sedangkan frekuensi tinggi menunjukkan lapisan yang tipis dan keras. Nilai frekuensi dominan di Kecamatan Dukun, Kabupaten Magelang dapat dilihat pada **Tabel 5.2** di bawah ini

Tabel 5.2 Nilai Frekuensi Dominan (Fg) di Kecamatan Dukun, Kabupaten Magelang, Jawa Tengah.

Titik	Nilai (Fg)	Titik	Nilai (Fg)
1	1,3753	22	4,7035
2	1,0187	23	0,901208
3	**OUTLIER**	24	4,1769
4	1,1895	25	5,3112
5	1,0446	26	11,7211
6	1,2653	27	5,5799
7	0,90286	28	6,2305
8	0,89287	29	0,873733
9	1,0244	30	5,0753
10	11,2053	31	4,3221
11	4,5615	32	6,3676
12	1,2842	33	6,9470
13	7,6929	34	5,6776
14	1,2415	35	6,8978
15	5,0137	36	5,2466
16	11,6785	37	8,4142

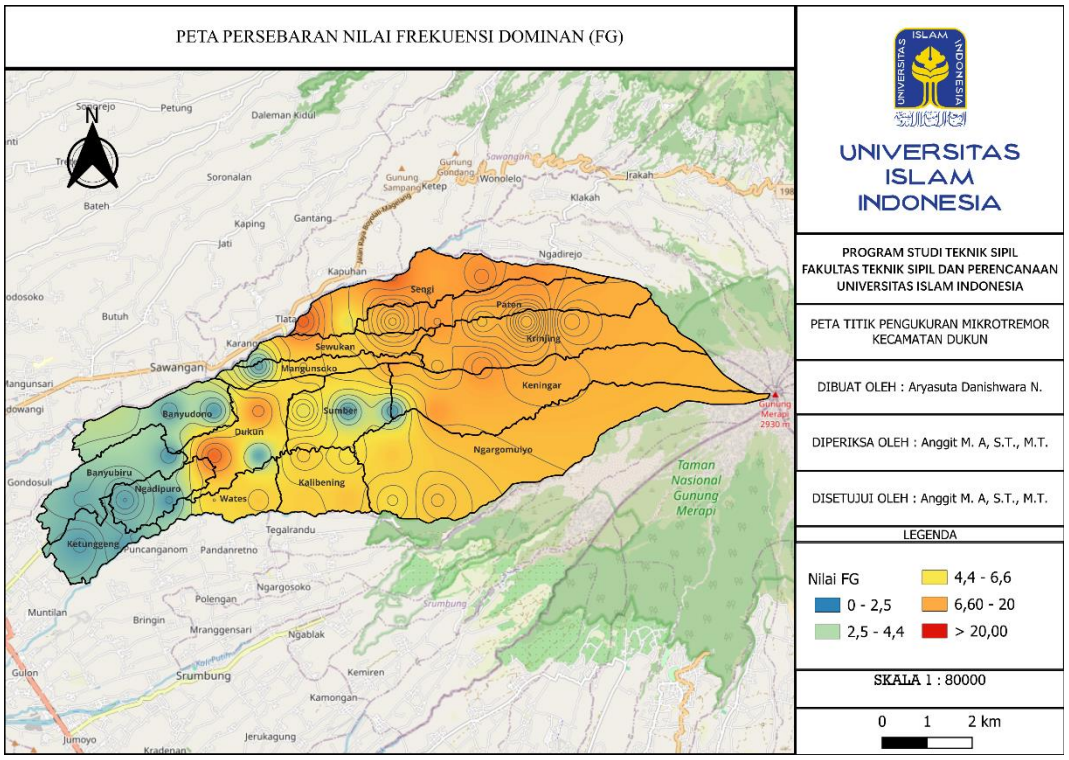
Lanjutan Tabel 5.2 Nilai Frekuensi Dominan (Fg) di Kecamatan Dukun, Kabupaten Magelang, Jawa Tengah

Titik	Nilai (Fg)	Titik	Nilai (Fg)
17	4,9148	38	5,5811
18	3,6903	39	7,4414
19	4,8928	40	7,8982
20	4,9047	41	5,7873
21	3,6315	42	5,9734

Berdasarkan data dan nilai frekuensi dominan (fg) yang didapatkan dari pengukuran mikrotremor, maka dapat diklasifikasikan berdasarkan zona – zona berikut (Sitorus dkk, 2017).

1. Tipe I : <2,5 (Ketebalan sedimen permukaan sangat tebal)
2. Tipe II : 2,5 – 4 (Ketebalan sedimen permukaan sekitar 10 – 30m, termasuk dalam kategori tebal
3. Tipe III : 4 – 6,6 (Ketebalan sedimen permukaan sekitar 5 – 20m, masuk dalam kategori menengah)
4. Tipe IV : 6,6 – 20 (Didominasi oleh batuan keras, ketebalan sedimen permukaan sangat tipis)

Berdasarkan nilai dan klasifikasi, maka selanjutnya dapat dibuat peta persebaran nilai frekuensi dominan tanah di Kecamatan Dukun, Kabupaten Magelang pada **Gambar 5.8** di bawah ini.



Gambar 5. 8 Peta Persebaran Frekuensi Dominan (Fg)

Berdasarkan peta persebaran nilai frekuensi dominan tanah (Fg), Kecamatan Dukun menunjukkan variasi kondisi geologi permukaan. Menurut klasifikasi Sitorus dkk. (2017), wilayah ini terbagi ke dalam empat tipe zona. Zona Fg rendah (Fg < 2,5 atau Tipe I), yang menandakan lapisan sedimen tebal, ditemukan di Dusun Ketunggeng, Banyubiru, Banyudono, dan Ngadipuro. Zona Fg menengah (Fg 2,5 – 4 untuk Tipe II dan Fg 4 – 6,6 untuk Tipe III) pada Dusun Mangunsoko, Dukun, Kalibening, Sumber, dan Wates dengan ketebalan sedimen 5–30 meter. Sementara itu, zona Fg tinggi (6,6–20 atau Tipe IV) meliputi Dusun Sengi, Paten, Krinjing, Keningar, dan Ngargomulyo. Nilai Fg tinggi menunjukkan adanya batuan keras dengan lapisan sedimen yang sangat tipis. Kondisi ini sejalan dengan hasil studi Gertisser dkk. (2019), yang menyatakan bahwa lereng atas Gunung Merapi didominasi batuan vulkanik keras seperti andesit dan basal, dengan ketebalan sedimen hanya sekitar 0,5–2 meter akibat aktivitas vulkanik yang terus memperbarui lapisan permukaan.

5.5 Analisis Nilai Faktor Amplifikasi Tanah (Ag)

Nilai faktor amplifikasi tanah (Ag) merupakan parameter penting yang menggambarkan seberapa besar gelombang seismik diperkuat saat melewati lapisan tanah tertentu. Faktor ini dipengaruhi oleh karakteristik tanah, seperti ketebalan lapisan sedimen, kecepatan gelombang geser (Vs), dan frekuensi dominan. Nilai faktor amplifikasi tanah (Ag) memiliki hubungan berbanding terbalik dengan tingkat kekerasan lapisan tanah suatu daerah. Semakin besar nilai faktor amplifikasi tanah, semakin lunak sedimen di daerah tersebut, sedangkan semakin kecil nilai faktor amplifikasi tanah, semakin keras sedimen di daerah tersebut (Sungkono *dkk*., 2011).

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa hubungan antara nilai faktor amplifikasi tanah dan potensi kerusakan bersifat berbanding lurus. Semakin tinggi nilai faktor amplifikasi tanah suatu daerah, semakin lunak sedimen di daerah tersebut, sehingga potensi kerusakan yang mungkin terjadi juga semakin besar. Nilai amplifikasi di Kecamatan Dukun, Kabupaten Magelang dapat dilihat pada **Tabel 5.3** di bawah ini

Tabel 5.3 Nilai Amplifikasi Tanah (Ag) di Kecamatan Dukun, Kabupaten Magelang

Titik	Nilai (Ag)	Titik	Nilai (Ag)
1	1,9832	22	2,9111
2	2,6504	23	1,7289
3	**OUTLIER**	24	2,0533
4	1,1895	25	2,5262
5	1,9811	26	3,1817
6	1,9371	27	5,5492
7	1,9252	28	3,3419
8	1,9877	29	1,8806
9	1,6201	30	2,4669
10	3,1206	31	3,0414

Lanjutan Tabel 5.3 Nilai Amplifikasi Tanah (Ag) di Kecamatan Dukun, Kabupaten Magelang

11	2,8023	32	3,3099
12	4,0714	33	3,1808
13	2,3443	34	3,6642
14	2,9671	35	3,1128
15	2,8645	36	2,1484
16	2,1203	37	2,9068
17	2,5831	38	4,2793
18	3,5868	39	2,8331
19	2,1020	40	3,5717
20	2,6653	41	5,3728
21	3,1951	42	2,4761

Berdasarkan data dan nilai Amplifikasi Tanah (Ag) yang didapatkan dari pengukuran mikrotremor, maka dapat diklasifikasikan berdasarkan zona – zona berikut (Hakim dan Yuniarto, 2023)

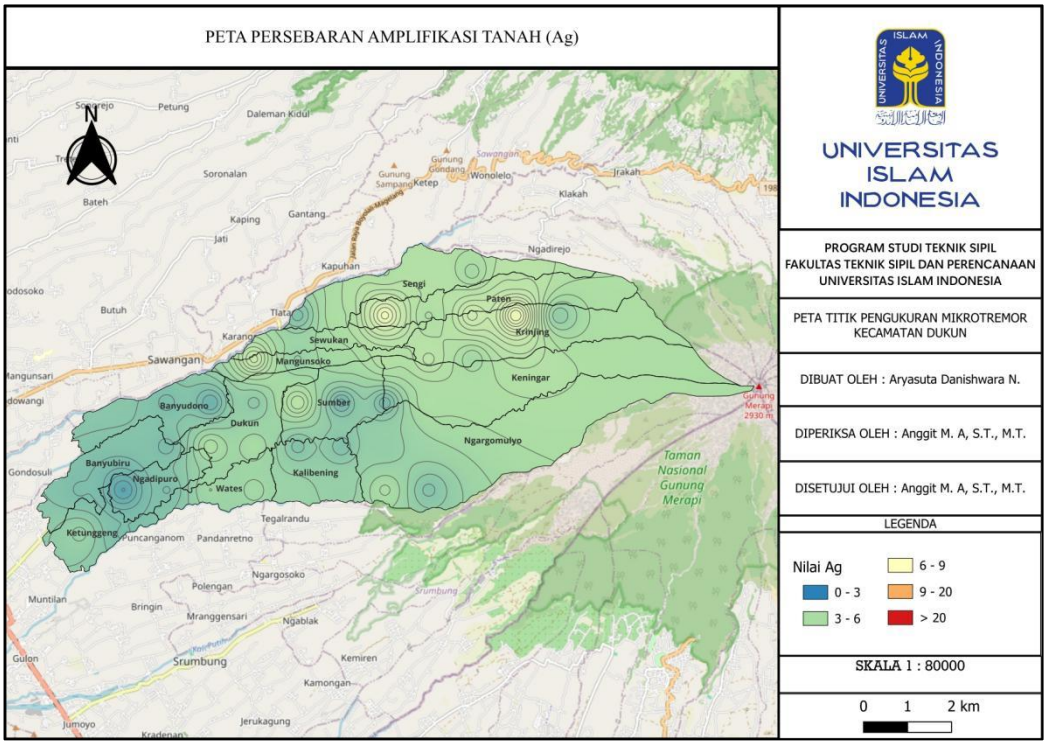
Zona Amplifikasi Rendah : $Ag < 3$

Zona Amplifikasi Sedang : $3 \leq Ag \leq 6$

Zona Amplifikasi Tinggi : $6 \leq Ag \leq 9$

Zona Amplifikasi Sangat Tinggi : $Ag \geq 9$

Berdasarkan nilai dan klasifikasi, maka selanjutnya dapat dibuat peta persebaran nilai amplifikasi tanah di Kecamatan Dukun, Kabupaten Magelang pada **Gambar 5.9** di bawah ini.



Gambar 5.9 Peta Persebaran Amplifikasi Tanah (Ag)

Berdasarkan peta persebaran faktor amplifikasi tanah (Ag) di Kecamatan Dukun, Kabupaten Magelang, seluruh wilayah Kecamatan Dukun memiliki nilai amplifikasi tanah yang masuk ke dalam zona amplifikasi rendah - sedang, dan tidak adanya wilayah yang termasuk dalam zona amplifikasi tinggi ($6 \leq Ag \leq 9$). Wilayah yang termasuk ke dalam zona amplifikasi rendah yaitu Dusun Banyudono, Banyubiru, Kalibening, Dukun, Ngadipuro, Ketunggeng, dan Sumber. Sedangkan wilayah lainnya termasuk dalam wilayah dengan zona amplifikasi sedang ($3 \leq Ag \leq 6$). Umumnya, rendahnya nilai Ag disebabkan karena wilayah yang terletak di sekitar lereng gunung berapi aktif didominasi oleh material vulkanik yang bersifat padat dan keras yang mempengaruhi efek amplifikasi. Amplifikasi tanah umumnya terjadi pada lapisan sedimen tebal dan lunak, sehingga hal ini menandakan bahwa ketiadaan lapisan sedimen yang tebal menyebabkan nilai Ag rendah.

5.6 Analisis Periode Dominan Tanah (Tg)

Periode gelombang merupakan waktu yang diperlukan untuk menempuh suatu gelombang dalam satuan detik, dimana periode dominan (Tg) berbanding terbalik dengan frekuensi dominan. Periode dominan ini memiliki hubungan erat dengan kedalaman lapisan sedimen (h), karena Tg menggambarkan waktu yang dibutuhkan gelombang mikrotremor untuk merambat melalui lapisan endapan di permukaan. Nilai periode dominan dapat mengidentifikasi karakteristik lapisan tanah suatu wilayah semakin kecil nilai Tg, semakin keras sifat tanahnya, sedangkan nilai Tg yang besar menunjukkan tanah yang lebih lunak. Berikut merupakan contoh perhitungan nilai periode dominan pada titik 18 dan selanjutnya rekapitulasi nilai periode dominan (Tg) dapat dilihat pada **tabel 5.4** di bawah ini.

$$Tg = \frac{1}{Fg}$$

$$= \frac{1}{3{,}69032}$$

$$= 0{,}2709 \text{ detik}$$

Tabel 5.4 Nilai Periode Dominan Tanah (Tg) di Kawasan Kecamatan Dukun, Kabupaten Magelang

Titik	Nilai (Tg)	Titik	Nilai (Tg)
1	0,727119371	22	0,212608537
2	0,981662544	23	1,109621752
3	**OUTLIER**	24	0,239411431
4	0,840717637	25	0,188280304
5	0,957295067	26	0,085316225
6	0,790320159	27	0,179216287
7	1,107587751	28	0,160499732
8	1,119981364	29	1,1445144
9	0,976209768	30	0,1970323
10	0,089243483	31	0,23136901

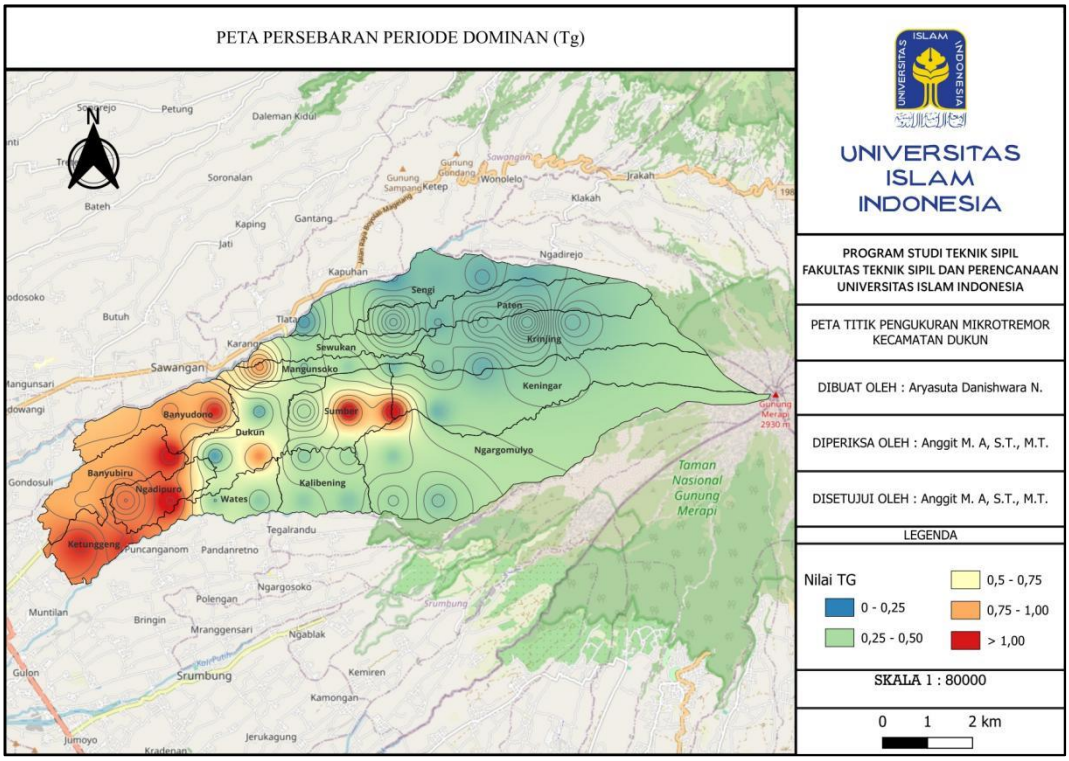
Lanjutan Tabel 5.4 Nilai Periode Dominan Tanah (Tg) di Kawasan Kecamatan Dukun, Kabupaten Magelang

Titik	Nilai (Tg)	Titik	Nilai (Tg)
11	0,219226132	32	0,157044547
12	0,778707035	33	0,143946199
13	0,129989822	34	0,176130759
14	0,80546427	35	0,144973339
15	0,199452702	36	0,190600716
16	0,085627435	37	0,118846994
17	0,203467493	38	0,179176148
18	0,27097921	39	0,134383496
19	0,20438362	40	0,126611127
20	0,203885237	41	0,172790954
21	0,275365272	42	0,167409687

Berdasarkan data nilai periode dominan tanah (Tg) diatas maka dapat diklasifikasikan sebagai berikut (Pratiwi, 2017).

1. Jenis I : Tg < 0,25 (Batuan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan *hard sandy, gravel*)
2. Jenis II : 0,25 < Tg < 0,5 (Batuan *alluvial* dengan ketebalan 5 m. terdiri dari *sandy – gravel, sandy hard clay, loam*)
3. Jenis III : 0,5 < Tg < 0,75 (Batuan *alluvial*, hampir sama dengan jenis II, hanya dibedakan oleh adanya formasi *bluff*)
4. Jenis IV : Tg > 0,75 (Batuan *alluvial*, yang terbentuk dari sedimentasi delta, top soil, lumpur, dll. Kedalaman ≥ m)

Berdasarkan data nilai periode dominan tanah (Tg) diatas beserta klasifikasinya, maka dapat dibuat peta persebaran nilai periode dominan tanah seperti pada **Gambar 5.10** berikut.



Gambar 5.10 Peta Persebaran Periode Dominan (Tg)

Berdasarkan peta dan data persebaran, nilai periode dominan tanah (Tg) di Kecamatan Dukun, Kabupaten Magelang menunjukkan pola yang cukup merata. Semakin dekat ke lereng dan puncak Gunung Merapi, nilai Tg cenderung kecil (Tg < 0,25), mengindikasikan tanah keras dan termasuk dalam klasifikasi Jenis I. Wilayah seperti Dusun Sengi, Paten, Krinjing, Keningar, Ngargomulyo, Sewukan, Mangunsoko, Wates, Kalibening, Dukun, dan Sumber umumnya termasuk dalam klasifikasi Jenis I dan II. Sebaliknya, semakin jauh dari puncak Merapi, nilai Tg meningkat (Tg > 0,5 hingga Tg > 0,75), menunjukkan karakteristik tanah lunak dan tergolong Jenis III dan IV. Wilayah yang masuk klasifikasi ini meliputi sebagian Dusun Mangunsoko (Titik 12), Dusun Dukun (Titik 14), Dusun Sumber (Titik 23 dan 29), serta seluruh wilayah Dusun Banyudono, Banyubiru, Ngadipuro, dan Ketunggeng.

5.7 Analisis Nilai Indeks Kerentanan Seismik (Kg)

Indeks Kerentanan seismik merupakan parameter yang menunjukkan tingkat kerawanan suatu wilayah terhadap risiko gempa bumi. Nilai indeks kerentanan seismik (Kg) dipengaruhi oleh nilai dari frekuensi dominan (Fg) dan faktor amplifikasi (Ag). Jika nilai faktor amplifikasi (Ag) dan frekuensi dominan (Fg) memiliki nilai yang rendah, maka nilai indeks kerentanan seismik akan tinggi, begitu juga sebaliknya. Perhitungan nilai indeks kerentanan seismik dapat dilihat pada pada contoh perhitungan titik 18 berikut :

$$\text{Kg} = \frac{Ag^2}{Fg}$$

$$= \frac{3{,}5868^2}{3{,}9032}$$

$$= 3{,}4862$$

Rekapitulasi hasil perhitungan nilai indeks kerentanan seismik (Kg) dapat dilihat pada **Tabel 5.5** berikut.

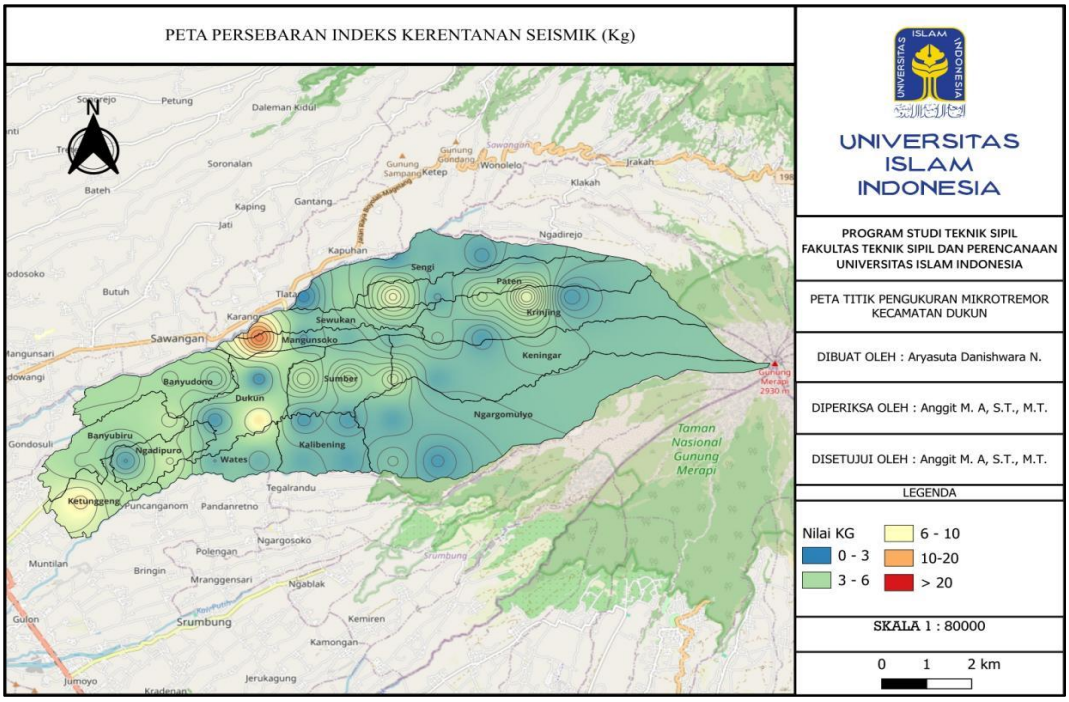
Tabel 5.5 Nilai Analisis Indeks Kerentanan Seismik (Kg) di Kecamatan Dukun, Kabupaten Magelang

Titik	Nilai (Kg)	Titik	Nilai (Kg)
1	2,859877966	22	1,801776483
2	6,895754459	23	3,316611592
3	**OUTLIER**	24	1,009338888
4	1,18946	25	1,201498301
5	3,757074857	26	0,863658188
6	2,96544044	27	5,51875814
7	4,105115102	28	1,792540635
8	4,42516991	29	4,047926323
9	2,562281217	30	1,199029734
10	0,869038071	31	2,140231935
11	1,721569952	32	1,720491802

Lanjutan Tabel 5.5 Nilai Analisis Indeks Kerentanan Seismik (Kg) di Kecamatan Dukun, Kabupaten Magelang

12	12,90814324	33	1,456392344
13	0,714414966	34	2,364795273
14	7,091195017	35	1,40475873
15	1,636592698	36	0,879740966
16	0,384949239	37	1,004161494
17	1,357628153	38	3,281116145
18	3,486203358	39	1,07858509
19	0,903057996	40	1,615201408
20	1,448364859	41	4,988008689
21	2,811181928	42	1,026367549

Berdasarkan data nilai indeks kerentanan seismik (Kg) maka dapat dibuat persebaran nilai indeks kerentanan seismik pada **Gambar 5.11** di bawah ini.



Gambar 5.11 Peta Persebaran Indeks Kerentanan Seismik (Kg)

Berdasarkan peta persebaran nilai indeks kerentanan seismik (Kg) di Kecamatan Dukun, Kabupaten Magelang, diketahui bahwa mayoritas wilayah Kecamatan Dukun memiliki indeks kerentanan seismik kategori rendah - sedang yang menunjukan bahwa tanah di Kecamatan Dukun relatif aman atau tidak rentan terhadap dampak gempa bumi. Terdapat beberapa titik yang memiliki nilai indeks kerentanan seismik tergolong tinggi (Kg > 6), yaitu pada titik 2 di Dusun Ketunggeng, titik 12 di Dusun Mangunsoko, dan titik 14 di Dusun Dukun. Wilayah ini merupakan wilayah yang cukup rentan terhadap dampak gempa bumi.

5.8 Analisis *Peak Ground Acceleration* (PGA)

Analisis *Peak Ground Acceleration* (PGA) digunakan sebagai parameter untuk memperkirakan tingkat kerusakan akibat gempa bumi. Dalam penelitian ini, perhitungan PGA dilakukan dengan persamaan atenuasi Kanai (1966)**.** Metode atenuasi Kanai dipilih dalam penelitian ini karena bersifat empiris, sederhana, dan efektif untuk memperkirakan percepatan tanah maksimum (PGA) pada wilayah dengan aktivitas seismik lokal hingga menengah. Metode ini mengaitkan PGA secara langsung dengan magnitudo gempa dan jarak ke sumber, sehingga memungkinkan perhitungan cepat dengan berbagai skenario gempa tanpa memerlukan simulasi numerik yang kompleks, serta tetap sesuai dengan prinsip perencanaan gempa menurut standar Indonesia.

Pemilihan data gempa untuk perhitungan percepatan tanah maksimum (PGA) menggunakan metode atenuasi Kanai dilakukan dengan memperhatikan beberapa kriteria utama agar hasilnya realistis. Pertama, magnitudo gempa (M) dipilih sesuai tujuan perhitungan, baik menggunakan gempa maksimum historis maupun gempa desain dengan return period tertentu sesuai SNI 1726, yaitu 475–2.500 tahun tergantung pentingnya bangunan. Kedua, jarak ke sumber gempa (R) ditentukan dari lokasi ke patahan aktif atau episentrum terdekat, karena PGA akan menurun seiring bertambahnya jarak dari sumber. Ketiga, kualitas dan validitas data harus dijaga dengan menggunakan sumber yang terpercaya, seperti BMKG, USGS, atau publikasi ilmiah, agar PGA yang dihitung akurat dan dapat diandalkan untuk perencanaan dan desain bangunan

Berdasarkan hal ini, data gempa di penelitian ini diambil dari USGS dengan menggunakan riwayat gempa selama 2000 tahun terakhir. Terdapat beberapa riwayat gempa yang terjadi di sekitar lokasi penelitian yang dapat dilihat pada **Tabel 5.6** di bawah ini.

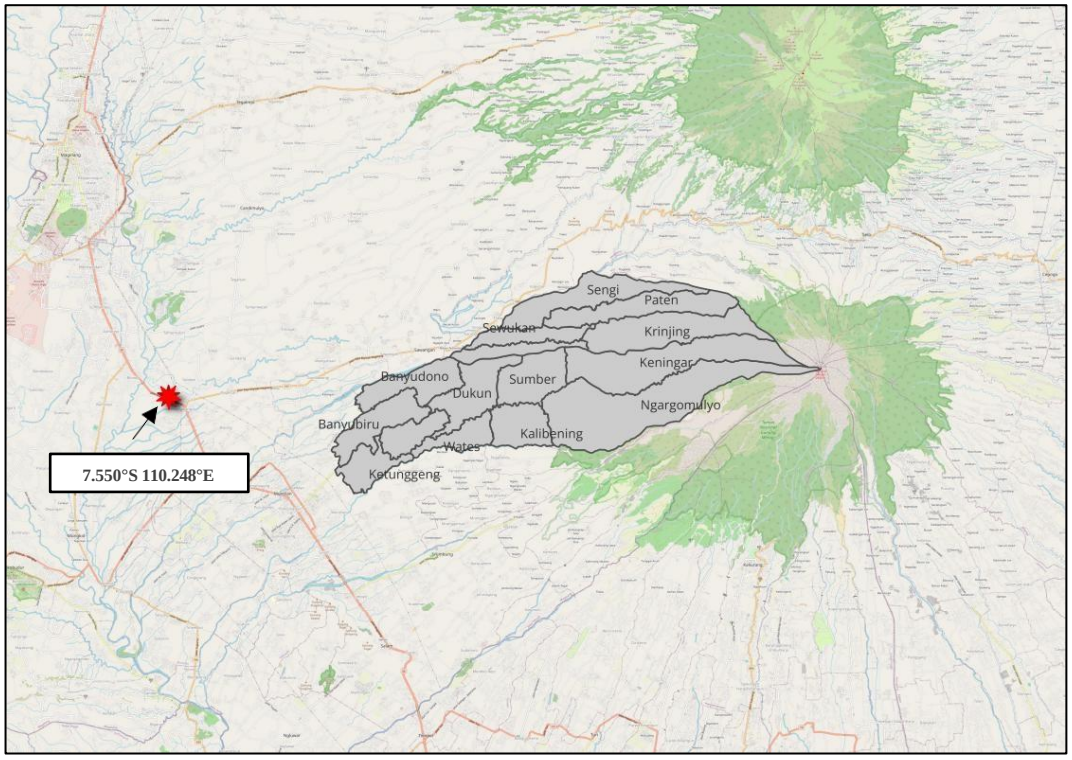
Tabel 5.6 Data Gempa Bumi Dari USGS

Lokasi	Koordinat	Jarak ke Area Penelitian (m)	Skala (Mw)	*Depth* (m)
Pundong	8.004°S 110.449°E	±11500	4,7	22300
Pundong	7.961°S 110.446°E	±48500	6,3	12500
Srandakan	7.869°S 110.179°E	±42000	6,3	143100
Muntilan	7.644°S 110.199°E	±22000	4,1	10000
Mertoyudan	7.550°S 110.248°E	±11000	4,4	12000
Prambanan	7.775°S 110.511°E	±31000	4,6	10000

Berdasarkan data riwayat gempa tersebut, data yang dipilih adalah gempa Mertoyudan, gempa yang dipilih mempertimbangkan prinsip atenuasi gempa (*ground motion attenuation*), yang menyatakan bahwa gempa dengan magnitudo sedang hingga kecil tetap dapat menghasilkan dampak signifikan di lokasi penelitian apabila jarak ke episenter relatif dekat dan energi gempa tidak sepenuhnya diserap oleh medium perantara.

Dengan kata lain, apabila tujuan penelitian adalah mengevaluasi respons tanah alami di area studi, gempa dengan magnitudo sangat besar bukanlah satu-satunya pilihan, magnitudo sedang tapi jarak pendek dan kedalaman dangkal juga cukup representatif. Pendekatan seperti ini telah dibahas dalam penelitian-penelitian yang memodelkan atenuasi spektrum respon dengan mempertimbangkan kedalaman, jarak sumber, serta konten frekuensi spesifik gempa. Misalnya, dalam studi *Empirical Response Spectral Attenuation Relations for Shallow Crustal Earthquakes* oleh Abrahamson & Silva (1997) dijelaskan

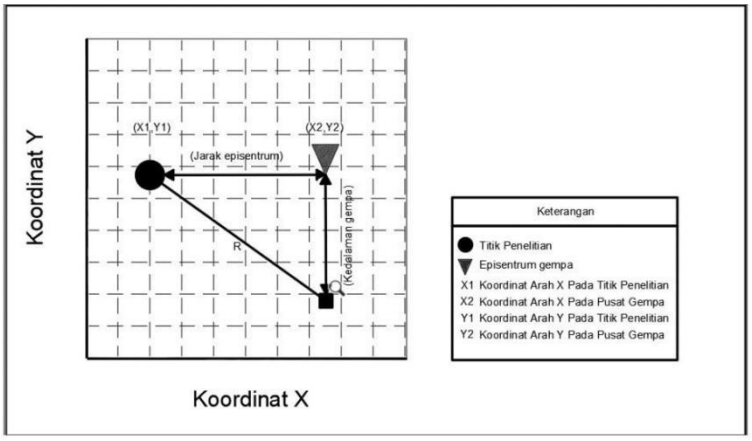
bahwa relasi atenuasi spektral untuk gempa dangkal mempertimbangkan magnitudo mulai dari tingkat sedang, dengan jarak dan karakter sumber sebagai parameter penting. **Gambar 5.12** merupakan data gempa yang digunakan pada perhitungan PGA.



Gambar 5.12 Lokasi Koordinat Pusat Gempa Mertoyudan, Jawa Tengah Tahun 2016

5.8.1 Menentukan Jarak Episentrum Gempa

Jarak Episentrum gempa adalah jarak titik penelitian ke titik di permukaan yang berada tepat di atas maupun di bawah titik pusat gempa. Perhitungan jarak episentrum menggunakan koordinat titik penelitian dan data gempa yang terjadi sebelumnya yang terbesar dan menimbulkan kerusakan paling banyak, contoh ilustrasi perhitungan episentrum dapat dilihat pada **Gambar 5.13** di bawah ini. Pada penelitian ini, digunakan data gempa bumi Metroyudan, Jawa Tengah yang selanjutnya dihitung dengan rumus berikut menggunakan titik 18 sebagai contoh.



Gambar 5.13 Ilustrasi Perhitungan Episentrum

Episentrum $= \sqrt{(X\ data - X\ gempa)^2 - (Y\ data - Y\ gempa)^2}$

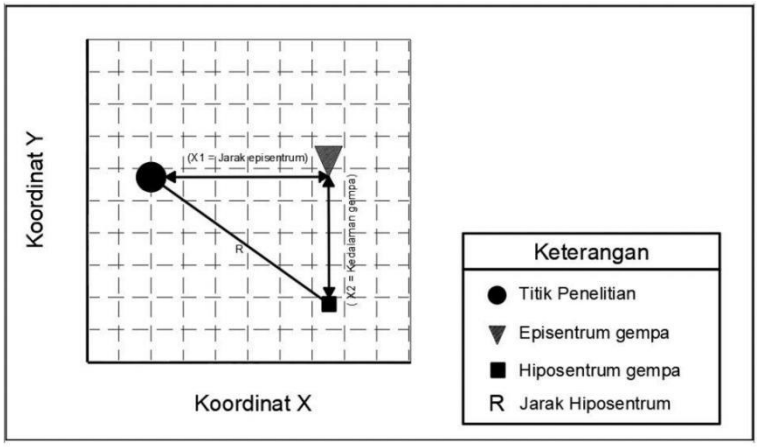
$= \sqrt{(423478 - 656234\ )^2 - (9164038 - 9164567)^2}$

= 232756,6011 m

= 23,28 km

5.8.2 Menentukan Jarak Hiposentrum Gempa (R)

Jarak hiposentrum adalah jarak antara titik episentrum dengan titik pusat gempa bumi. perhitungan jarak hiposentrum menggunakan jarak episentrum dan kedalaman gempa dengan ilustrasi dapat dilihat pada **Gambar 5.14** dan kemudian dapat dihitung menggunakan persamaan berikut pada titik 1 sebagai contoh :



Gambar 5.14 Ilustrasi Perhitungan Hiposentrum

Dari gambar di atas, maka dapat menghasilkan persamaan sebagai berikut.

R $= \sqrt{(Jarak\ Episentrum)^2 - (Kedalaman\ Gempa)^2}$

$= \sqrt{(232756{,}6011)^2 - (12000)^2}$

= 233065,7319 m

= 23,31 km

5.8.3 Analisis *Peak Ground Acceleration* (PGA)

Setelah mendapatkan nilai episentrum dan hiposentrum, maka selanjutnya dapat mencari nilai *peak ground acceleration* (PGA). Nilai ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan atenuasi kanai 1966 seperti contoh perhitungan pada titik 18 berikut :

Diketahui :

Tg = 0,270979

M = 4,4 M

R = 23,31 km

Penyelesaian :

$\alpha = \alpha = \frac{5}{\sqrt{Tg}}\, 10^{(0{,}61\ M) - (1{,}6 + \frac{3{,}6}{R} \log 10^{R}) + (0{,}167 - \frac{1{,}83}{R})}$

$= \frac{5}{\sqrt{0{,}270979}}\, 10^{(0{,}61 \times 4{,}4) - (1{,}6 + \frac{3{,}6}{23{,}31} \log 10^{23{,}31}) + (0{,}167 - \frac{1{,}83}{23{,}31})}$

= 263,912135 gal

Konversi ke satuan PGA (g)

α_g = PGA (gal) x 0,0010197

= 263,912135 x 0,0010197

= 0,269112 g

Konversi ke satuan MMI, Menurut Wald (1999)

α_g = 3,66 x log (PGA(gal)) – 1,66

= 3,66 x log (406,818) – 166

= 2,7869 MMI

Berdasarkan perhitungan di atas, didapatkan rekapitulasi nilai *peak ground acceleration* (PGA) gal pada **Tabel 5.7**, PGA g pada **Tabel 5.8**, dan PGA MMI pada **Tabel 5.9** sebagai berikut.

Tabel 5.7 Nilai Analisis Peak Ground Acceleration (PGA) gal

Titik	Nilai (gal)	Titik	Nilai (gal)
1	139,609	22	226,8561426
2	120,153	23	258,1753421
3	**OUTLIER**	24	113,010194
4	129,834	25	243,2947048
5	121,672	26	274,3474662
6	133,909	27	407,556245
7	113,116	28	281,1995376
8	112,488	29	297,143454
9	120,487	30	111,2737395
10	398,494	31	268,1850706
11	254,251	32	247,4850703
12	134,903	33	300,3932265
13	330,182	34	313,762791
14	132,643	35	283,6507386
15	266,555	36	312,6492852
16	406,818	37	272,6711852
17	263,912	38	345,3072412
18	228,686	39	281,2287103
19	263,32	40	324,7332501
20	263,641	41	334,550762
21	129,834	42	286,3765304

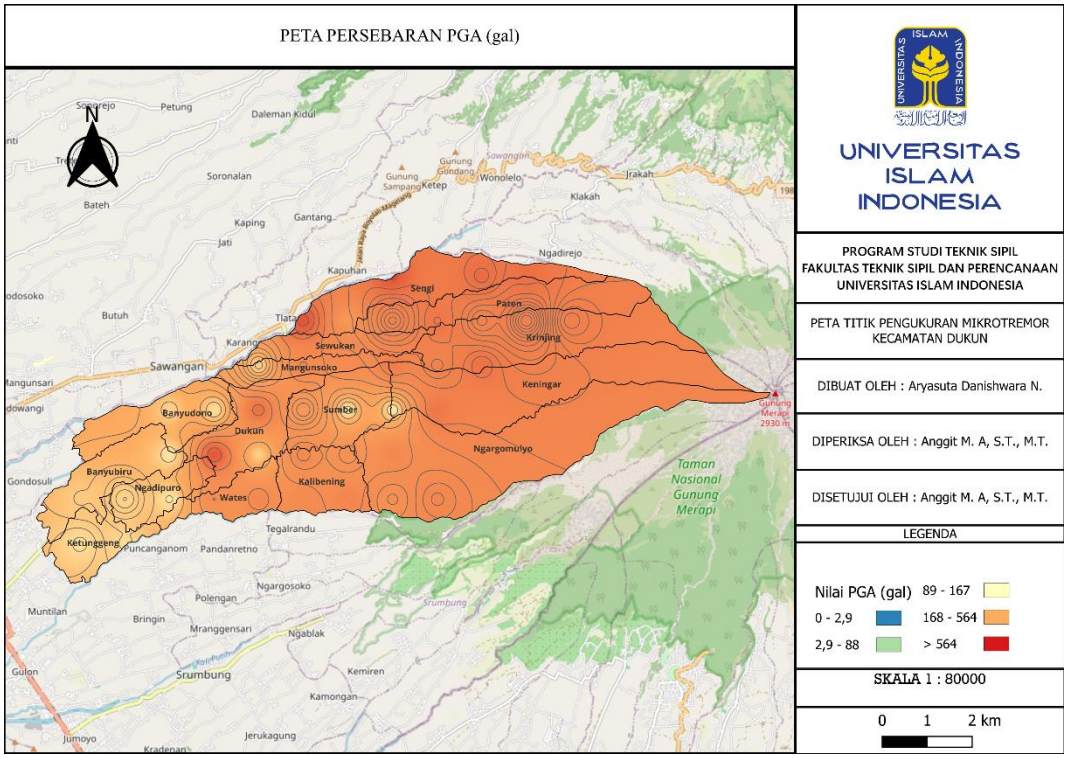
Tabel 5.8 Nilai Analisis Peak Ground Acceleration (PGA) g

Titik	Nilai (g)	Titik	Nilai (g)
1	0,14236	22	0,23133
2	0,12252	23	0,26326
3	**OUTLIER**	24	0,11524
4	0,13239	25	0,24809
5	0,12407	26	0,27975
6	0,13655	27	0,41559
7	0,11534	28	0,28674
8	0,1147	29	0,303
9	0,12286	30	0,11347
10	0,40634	31	0,27347
11	0,25926	32	0,25236
12	0,13756	33	0,30631
13	0,33669	34	0,31994
14	0,13526	35	0,28924
15	0,27181	36	0,31881
16	0,41483	37	0,27804
17	0,26911	38	0,35211
18	0,23319	39	0,28677
19	0,26851	40	0,33113
20	0,26883	41	0,34114
21	0,13239	42	0,29202

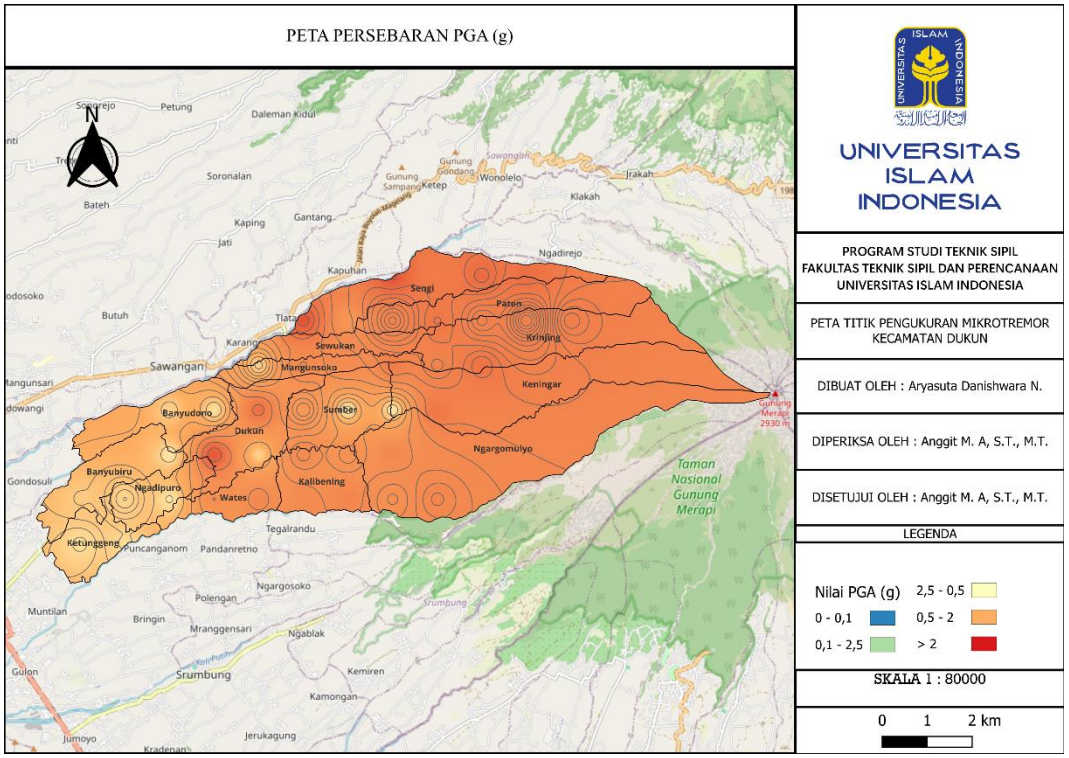
Tabel 5.9 Nilai Analisis Peak Ground Acceleration (PGA) MMI

Titik	Nilai (MMI)	Titik	Nilai (MMI)
1	1,774780462	22	2,546446988
2	1,536228078	23	2,752008026
3	**OUTLIER**	24	1,438810491
4	1,65940289	25	2,657645524
5	1,556192542	26	2,84858149
6	1,708526763	27	3,477686441
7	1,440294347	28	2,887793444
8	1,431444285	29	2,975456173
9	1,540636047	30	1,414197221
10	3,441944982	31	2,812470628
11	2,727660762	32	2,684789358
12	1,720279043	33	2,992745897
13	3,143039503	34	3,061961269
14	1,693428907	35	2,901589142
15	2,802780292	36	3,056310231
16	3,474805593	37	2,83883964
17	2,786941285	38	3,21423281
18	2,559214333	39	2,887958338
19	2,783370814	40	3,116587939
20	2,785304883	41	3,163931006
21	1,65940289	42	2,916790969

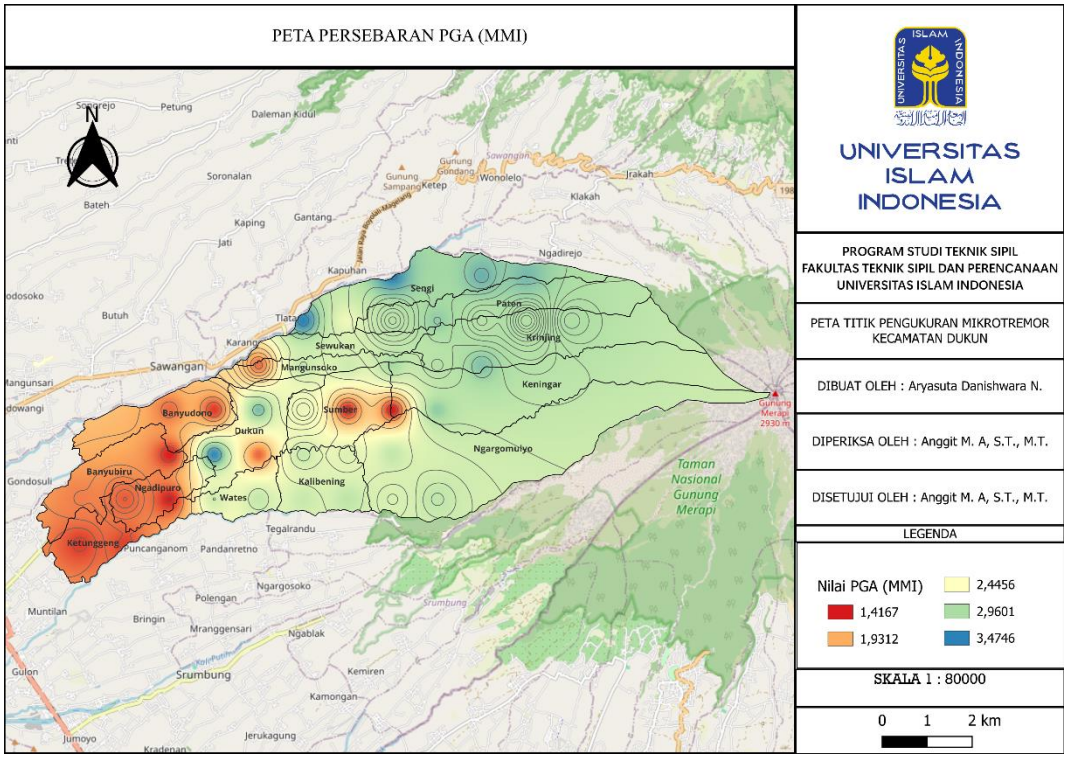
Berdasarkan data *peak ground acceleration* (PGA), dapat dibuat peta persebaran nilai PGA (gal) seperti pada **Gambar 5.15**, PGA (g) pada **Gambar 5.16**, dan peta persebaran PGA (MMI) pada **Gambar 5.17.**



Gambar 5.15 Peta Persebaran Nilai Peak Ground Acceleration (PGA) gal



Gambar 5.16 Peta Persebaran Nilai Peak Ground Acceleration (PGA) g



Gambar 5.17 Peta Persebaran Nilai Peak Ground Acceleration (PGA) MMI

Berdasarkan peta persebaran dan nilai *peak ground acceleration* (PGA) didapatkan nilai PGA pada Kecamatan Dukun, Kabupaten Magelang berkisar 0,1134g – 0,4964g dan 111,2737gal – 486,8257gal. Kecamatan Dukun didominasi persebaran nilai rentang PGA antara 168 - 564 yang berwarna jingga dan beberapa wilayah memiliki rentang nilai 89 - 167 yang berwarna kuning. Menurut BMKG, kawasan dengan rentang nilai 168 – 564 memiliki tingkat kerusakan sedang, wilayah ini memiliki skala MMI VII – VIII. Sedangkan wilayah yang memiliki rentang nilai 86 – 167 memiliki tingkat kerusakan ringan dengan skala MMI VI. Kecamatan Dukun tidak memiliki wilayah dengan nilai PGA > 564.

Berdasarkan pembahasan di atas, dapat dijelaskan bahwa nilai *peak ground acceleration* (PGA) yang tinggi berbanding lurus dengan tingkat kerusakan yang mungkin terjadi di suatu wilayah. Wilayah dengan PGA tinggi menunjukkan karakteristik percepatan tanah yang lebih besar selama gempa, sehingga berpotensi menyebabkan dampak destruktif yang lebih signifikan.

5.9 Hubungan Antara Nilai Ag, Fg, Kg, dan PGA

Berdasarkan hasil analisis, terdapat hubungan saling memengaruhi antara parameter Ag (amplifikasi tanah), Fg (frekuensi dominan), Kg (indeks kerentanan seismik), dan PGA (Peak Ground Acceleration). Secara teoritis, jika nilai Fg tinggi, artinya tanah memiliki frekuensi dominan besar yang biasanya menunjukkan kondisi tanah keras atau sedimen tipis. Pada kondisi ini, nilai Ag akan rendah karena tanah keras tidak banyak memperkuat gelombang gempa. Sebaliknya, jika Fg rendah, yang umumnya terjadi pada tanah lunak dengan sedimen tebal, maka Ag cenderung tinggi karena tanah lebih mudah memperkuat getaran gempa. Dengan demikian, Fg dan Ag seharusnya memiliki hubungan yang berbanding terbalik

Namun, hasil analisis lapangan menunjukkan bahwa hubungan tersebut tidak selalu konsisten. Pada beberapa titik, nilai Fg rendah justru diikuti oleh Ag yang juga rendah, atau sebaliknya Fg tinggi diikuti Ag tinggi. Hal ini dapat dijelaskan oleh faktor heterogenitas geologi di Kecamatan Dukun yang tersusun atas material vulkanik berbeda-beda (tuf, pasir vulkanik, lahar, breksi, hingga lava), sehingga respons tanah tidak hanya ditentukan oleh tebal-tipisnya sedimen, tetapi juga oleh variasi litologi, kepadatan, kadar air, dan kontras impedansi antar lapisan.

Indeks kerentanan seismik (Kg) merupakan parameter turunan dari Fg dan Ag . Secara teori, nilai Kg akan tinggi jika Ag besar dan Fg rendah, karena kondisi ini menunjukkan tanah yang sangat memperkuat getaran dengan frekuensi rendah sehingga berpotensi menimbulkan resonansi pada bangunan. Hal ini dapat dilihat pada titik 12, dengan Ag = 4,071 dan Fg = 1,284 menghasilkan Kg = 12,908, yang mengindikasikan tingkat kerentanan seismik tinggi. Namun, tidak semua titik mengikuti pola ini; pada beberapa titik dengan nilai Kg tinggi, nilai PGA justru rendah. Hubungan antar parameter dapat dilihat pada **Tabel 5.10** di bawah ini.

Tabel 5. 10 Nilai Hubungan Antar Parameter

Titik	Fg	Ag	Tg	Kg	PGA(gal)
1	1,3753	1,9832	0,7271	2,8599	139,6088
2	1,0187	2,6504	0,9817	6,8958	120,1530
3	**OUTLIER**				
4	1,1895	1,1895	0,8407	1,1895	129,8341
5	1,0446	1,9811	0,9573	3,7571	121,6716
6	1,2653	1,9371	0,7903	2,9654	133,9093
7	0,9029	1,9252	1,1076	4,1051	113,1157
8	0,8929	1,9877	1,1200	4,4252	112,4877
9	1,0244	1,6201	0,9762	2,5623	120,4866
10	11,2053	3,1206	0,0892	0,8690	398,4943
11	4,5615	2,8023	0,2192	1,7216	254,2509
12	1,2842	4,0714	0,7787	12,9081	134,9030
13	7,6929	2,3443	0,1300	0,7144	330,1824
14	1,2415	2,9671	0,8055	7,0912	132,6434
15	5,0137	2,8645	0,1995	1,6366	266,5551
16	11,6785	2,1203	0,0856	0,3849	406,8183
17	4,9148	2,5831	0,2035	1,3576	263,9121
18	3,6903	3,5868	0,2710	3,4862	228,6856
19	4,8928	2,1020	0,2044	0,9031	263,3200
20	4,9047	2,6653	0,2039	1,4484	263,6406
21	3,6315	3,1951	0,2754	2,8112	226,8561
22	4,7035	2,9111	0,2126	1,8018	258,1753
23	0,9012	1,7289	1,1096	3,3166	113,0102
24	4,1769	2,0533	0,2394	1,0093	243,2947
25	5,3112	2,5262	0,1883	1,2015	274,3475
26	11,7211	3,1817	0,0853	0,8637	407,5562
27	5,5799	5,5492	0,1792	5,5188	281,1995

Lanjutan Tabel 5.10 Nilai Hubungan Antar Parameter

28	6,2305	3,3419	0,1605	1,7925	297,1435
29	0,8737	1,8806	1,1445	4,0479	111,2737
30	5,0753	2,4669	0,1970	1,1990	268,1851
31	4,3221	3,0414	0,2314	2,1402	247,4851
32	6,3676	3,3099	0,1570	1,7205	300,3932
33	6,9470	3,1808	0,1439	1,4564	313,7628
34	5,6776	3,6642	0,1761	2,3648	283,6507
35	6,8978	3,1128	0,1450	1,4048	312,6493
36	5,2466	2,1484	0,1906	0,8797	272,6712
37	8,4142	2,9068	0,1188	1,0042	345,3072
38	5,5811	4,2793	0,1792	3,2811	281,2287
39	7,4414	2,8331	0,1344	1,0786	324,7333
40	7,8982	3,5717	0,1266	1,6152	334,5508
41	5,7873	5,3728	0,1728	4,9880	286,3765
42	5,9734	2,4761	0,1674	1,0264	290,9416

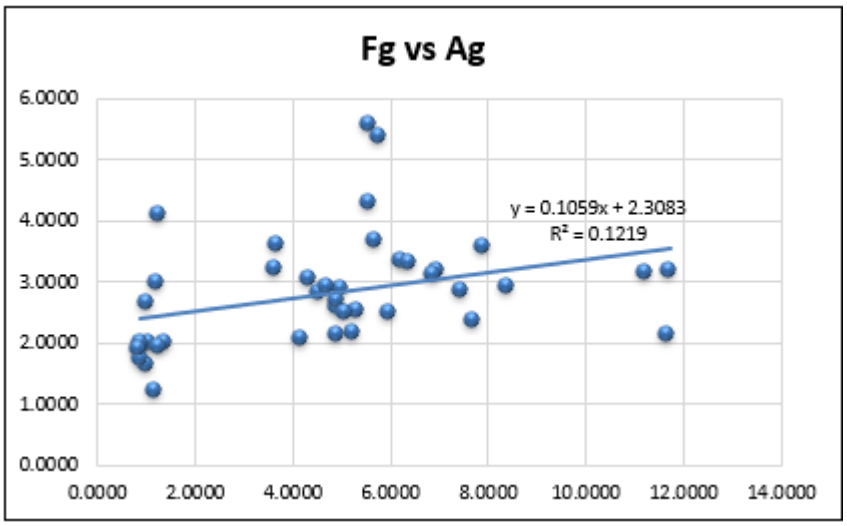
Hubungan antara PGA dan KG berkaitan dengan sifat PGA yang berbeda dari Kg. PGA menunjukkan percepatan tanah maksimum yang benar-benar terjadi akibat input gempa, sedangkan Kg lebih merepresentasikan kerentanan lokal akibat resonansi tanah. Oleh karena itu, hubungan antara PGA dan Ag umumnya berbanding terbalik, Ag tinggi seringkali diikuti PGA rendah karena sebagian energi gempa teredam di tanah lunak, sedangkan Ag rendah pada tanah keras justru dapat menghasilkan PGA lebih tinggi karena gelombang gempa diteruskan langsung tanpa banyak redaman.

Jika dilihat dari persebaran parameter, terdapat dua titik yang dapat dikategorikan paling berbahaya dengan alasan berbeda**.** Titik 12 adalah lokasi paling rawan dari sisi kerentanan seismik, ditandai dengan nilai Ag tinggi (4,071), Fg rendah (1,284), dan Kg tinggi (12,908), yang berarti tanah di lokasi ini sangat memperkuat getaran dan berisiko menimbulkan resonansi terhadap bangunan

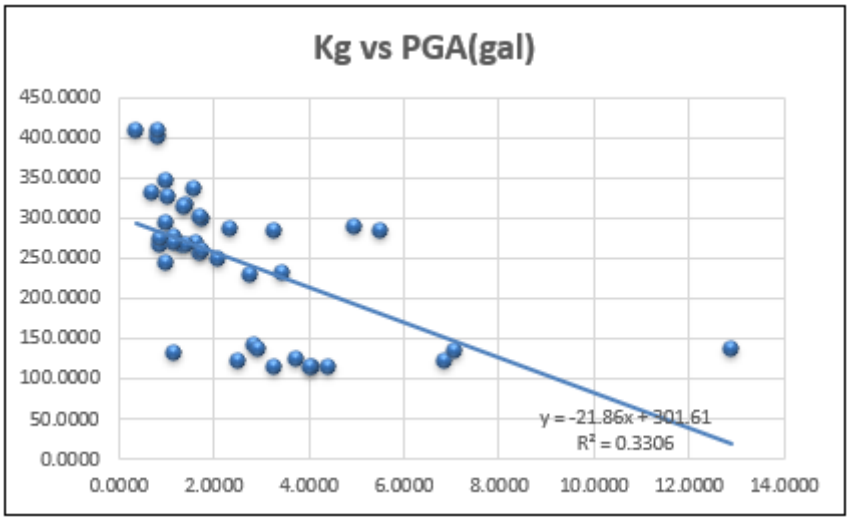
berperiode alami sekitar Tg = 0,78 detik (bangunan rendah – menengah). Sementara itu, titik 16 menjadi lokasi paling rawan dari sisi percepatan tanah, ditandai dengan nilai PGA sangat tinggi (406,8 gal) meskipun Kg rendah. Kondisi ini mencerminkan bahwa tanah keras di titik 16 langsung meneruskan energi gempa sehingga percepatan tanah maksimum lebih besar, yang berbahaya bagi struktur bangunan pada umumnya.

Temuan ini sejalan dengan penelitian – penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa hubungan antar parameter seismik tidak selalu sesuai dengan teori ideal. Madrinovella et al. (2023) di Pantai West Palu Bay menemukan nilai Kg sangat tinggi (8,79 – 41,41 s^2/cm) pada sedimen lunak, tetapi nilai PGA estimasi Kanai hanya sedang (137 – 234 gal). Putri et al. (2023) di Air Tawar Barat, Padang, juga melaporkan variasi Kg sangat besar (hingga 320), namun percepatan permukaan yang dihitung tidak selalu sebanding dengan kerentanan lokal yang tinggi. Hal serupa ditemukan oleh Karsli et al. (2024) di Erzurum, Turki, di mana nilai Kg tinggi pada area dengan Vs30 rendah dan amplifikasi besar tidak diikuti oleh nilai PGA yang ekstrem. Hal ini memperkuat pemahaman bahwa Kg dan PGA merepresentasikan dua aspek bahaya yang berbeda: Kg menekankan kerentanan lokal akibat resonansi tanah, sedangkan PGA lebih dipengaruhi oleh input gempa, jarak sumber, dan kondisi lapisan penutup. Dengan demikian, kombinasi kedua parameter ini sangat penting untuk memperoleh gambaran menyeluruh tentang potensi bahaya seismik di suatu wilayah.

Untuk memperjelas keterkaitan antar parameter seismik, hubungan Fg, Ag, Kg, dan PGA divisualisasikan dalam bentuk kurva regresi. Visualisasi ini bertujuan untuk menilai sejauh mana pola teoritis antar parameter sesuai dengan kondisi lapangan. Regresi memberikan gambaran kuantitatif mengenai arah hubungan (positif/negatif) serta kekuatan hubungan melalui nilai koefisien determinasi (R^2). Dengan demikian, scatterplot regresi tidak hanya menunjukkan tren umum antar parameter, tetapi juga mengungkap adanya anomali atau deviasi akibat faktor geologi lokal yang kompleks. Berikut merupakan kurva regresi hubungan Fg dengan Ag dan Kg dengan PGA.



Gambar 5. 18 Kurva Regresi Nilai Fg dan Ag



Gambar 5. 19 Kurva Regresi Nilai Kg dan PGA

Berdasarkan hasil regresi, hubungan antara Fg dan Ag pada wilayah penelitian menunjukkan tren positif dengan korelasi sangat lemah (R^2 = 0,1219), yang berarti pola teoritis berbanding terbalik (Fg rendah → Ag tinggi, Fg tinggi → Ag rendah) tidak terbukti di lapangan. Hal ini dapat disebabkan oleh heterogenitas geologi Kecamatan Dukun yang tersusun atas material vulkanik beragam seperti tufa, pasir vulkanik, lahar, breksi, hingga lava, sehingga respons tanah tidak hanya dikendalikan oleh tebal tipisnya sedimen tetapi juga variasi litologi dan kontras impedansi antar lapisan. Sementara itu, hubungan antara Kg dan PGA

memperlihatkan tren negatif dengan $R^2 = 0,3306$, yang lebih mendekati teori bahwa nilai Kg tinggi (pada tanah lunak dengan amplifikasi besar) cenderung diikuti nilai PGA rendah karena sebagian energi gempa diserap oleh sedimen tebal, sehingga percepatan tanah maksimum berkurang.

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan data dan pembahasan penelitian kerentanan seismik di Kecamatan Dukun, Kabupaten Magelang dengan pengukuran mikrotremor, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Distribusi nilai frekuensi dominan (Fg) berada antara 0,8733 – 16,723 Hz dengan sebagian besar wilayah memiliki nilai frekuensi dominan yang termasuk pada kategori zona sedang - tinggi. Distribusi nilai amplifikasi maksimal (Ag) berada antara 1,189 – 5,549 dengan mayoritas wilayah termasuk dalam kategori rendah - sedang. Distribusi nilai periode dominan (Tg) berada antara 0,0597 – 1,144 s, dimana wilayah persebarannya dapat dikatakan merata antara kategori I – II dan III - IV.
2. Distribusi nilai indeks kerentanan seismik (Kg) berada antara 0,3849 – 12,908 dengan sebagian besar wilayah termasuk pada kategori rendah - sedang.
3. Distribusi nilai *peak ground acceleration* (PGA) permukaan berdasarkan perhitungan metode kanai berkisar antara 111,273 – 486,825 gal, atau 0,1134 – 0,4964 gal, atau 1,41 – 3,76 MMI, dengan sebagian besar wilayah memiliki nilai PGA di rentang 168 – 564 yang berarti Kecamatan Dukun masuk dalam kategori skala VII – VIII menurut skala SIG BMKG yang berpotensi mengalami kerusakan ringan – sedang.
4. Berdasarkan peta persebaran nilai indeks kerentanan seismik di Kecamatan Dukun, Kabupaten Magelang, mayoritas wilayah memiliki nilai indeks kerentanan seismik kategori rendah – sedang, adapun wilayah yang memiliki nilai indeks kerentanan seismik tinggi (Kg > 6) hanya berjumlah 3 dari 41 titik. Titik ini tersebar di beberapa lokasi di Kecamatan Dukun, yaitu titik 2 di Desa Ketunggeng, titik 12 di Desa Mangunsoko, dan titik 14 pada Desa Dukun Hal ini menandakan bahwa Kecamatan Dukun, Kabupaten Magelang termasuk

kawasan yang aman terhadap efek seismik.

6.2 Saran

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

1. Perlu dilakukan penelitian pada kawasan Taman Nasional Gunung Merapi (TNGM) agar dapat mencakup keseluruhan wilayah Kecamatan Dukun. Untuk melakukan pengambilan data di kawasan TNGM, lakukan pengurusan izin 1-2 bulan sebelum melakukan pengambilan data.
2. Kecamatan Dukun, Kabupaten Magelang merupakan wilayah yang dekat dengan gunung berapi aktif, hal ini menyebabkan mudahnya terdeteksi aktivitas vulkanik yang dapat mengganggu penangkapan gelombang mikrotremor, pastikan untuk membedakan gelombang mikrotremor dan gelombang yang dihasilkan dari aktivitas vulkanik.
3. Hasil analisis menunjukkan bahwa hubungan antar parameter seismik berdasarkan atenuasi Kanai tidak konsisten dengan hasil penelitian. Hal ini menegaskan bahwa atenuasi Kanai kurang sesuai untuk diterapkan dengan kondisi geologi Indonesia. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan menggunakan model atenuasi lain yang telah disesuaikan dengan karakteristik geologi Indonesia agar hasil perhitungan parameter seismik lebih representatif.
4. Diperlukan data pendukung seperti data pengeboran untuk memetakan batuan penyusun di bawahnya secara akurat.

DAFTAR PUSTAKA

Aditya Yoga Purnamaa, Budi Eka Nurcahyac, Kholis Nurhanafid, Radhitya Perdhan. (2021). Mikrozonasi Berdasarkan Data Mikrotremor dan Kecepatan Gelombang Geser di Kotamadya Yogyakarta. *POSITRON, Vol. 11, No. 2*, 86-94.

Adrin Tohari, Dadan Dani Wardhana . (2018). MIKROZONASI SEISMIK WILAYAH KOTA PADANG BERDASARKAN PENGUKURAN MIKROTREMOR. *SSN 0125-9849, e-ISSN 2354-6638*, 205-220.

Agus Ariyanto, Alhada Farduwin, Yudha Styawan, Intan Andriani Putri, Wahyu Eko Junian,Nugroho Prasetyo, Reza Rizki, Rizki Wulandari. (2024, Juli). PEMETAAN KERENTANAN SEISMIK MELALUI ANALISISMIKROTREMOR HVSR DI WILAYAH KECAMATAN KEMILING DAN SEKITARNYA. *JGE (Jurnal Geofisika Eksplorasi), Vol.10 No.2*, 82-99.

Ambarsari, D. (2017). *ANALISIS MIKROTREMOR DENGAN METODE HVSR UNTUK MIKROZONASI KABUPATEN GUNUNGKIDUL YOGYAKARTA.*Surabaya: Repository ITS. Diambil kembali dari https://repository.its.ac.id/45998/1/1113100038-Undergraduate_Theses.pdf

Arifudin, A.M. (2 8) “Karakteristik itus dan Kerentanan seismik di kabupaten Klaten dengan Metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR) dari Data Mikrotremor,” hal. 146.

Arisona, Sitti Lasmi Manginsih , Nia Kurnia Praja , Hasria , Azhar. (2023). Pemetaan Lapisan Tanah Menggunakan Data Mikrotremor HVSR dan Dampaknya Terhadap Daya Dukung Tanah di Kawasan Kota Kendari. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral, Vol. 24 No. 1*, 51-58.

BMKG.(2021).SkalaIntensitasGempaBumi(SIG)BMKG.(https://www.bmkg.go.id/gempabumi/skala-intensitas-gempabumi.bmkg). Diakses 30 April 2025

Kurniawan, R. et al. (2017) " Pemetaan Daerah rawan resiko Gempa Bumi Menggunakan Metode Hvsr Di Kotamadya Denpasar Dan Sekitarnya, Bali," Kurvatek, 2(1), hal. 21–30.

Maryani, T. (2024). Microtremor Microzonation Based on Seismic Vulnerability Index (Kg) Using HVSR (Horizontal To Vertical Spectral Ratio) Method in Kapanewon Berbah, Sleman, D.I.Yogyakarta. *Sunan Kalijaga of Journal Physics*, 64-73.

Nakamura, Y. (1989). *A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface Using Microtremor*. Quarterly Report of RTRI, 30(1), 25-33.

Nakamura, Y. (2000) "Clear identification of fundamental idea of Nakamura's technique and its applications," Proceedings of the 2th world conference on…, (January 2): http://www.sdr.co.jp/papers/n_tech_and_application.pdf..

Nia Annisa Ferani Tanjung, Hakim Prima Yuniarto, Danang Widyawarman. (2019). ANALISIS AMPLIFIKASI DAN INDEKS KERENTANAN SEISMIK DI KAWASAN FMIPA UGM MENGGUNAKAN METODE HVSR. *Jurnal Geosaintek, Vol.5 No.2*, 60-67.

Satria, A. (2020). Analisis Mikrotremor Berdasarkan Metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio untuk Mengetahui Indeks Kerentanan Seismik Kota Jambi. *Jurnal Teknik Kebumian, 5 No.2*(e-ISSN 2715 - 5587).

SESAME., (2004) "Guidelines For The Implementation of the H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations Measurements, Processing and Interpretation," Project No. EVG1-CT-2000-00026, European Commission- Research General Directorate.

Tileng, K. G. (2015). Penerapan Aplikasi Edmodo di Universitas Ciputra Surabaya menggunakan Analisis Jalur. Jurnal Informatika Dan Sistem Informasi, 1(1), 28–37.

Wuri Handayani, Nahda Helena Sekarsari. (2024). Analisis Kerentanan Tanah di Selatan Zona Longsor Desa Kalongan, Kabupaten Semarang Menggunakan Metode HVSR. *Jurnal Stasiun Geofisika Sleman, Vol. 2No. 2*, 01-06.

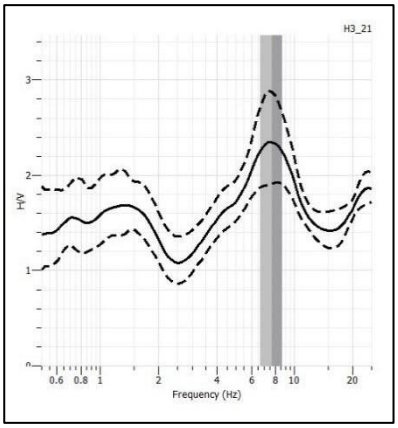
SESAME. (2004). *Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations: Measurements, processing and interpretations*. European Commission – Research Directorate General, Project No. EVG1-CT-2000-00026 SESAME.

Putri, R., Nurdin, S., & Setiawan, A. (2019). Mikrozonasi kerentanan seismik Kota Padang menggunakan metode HVSR. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, 5(2), 101–112.

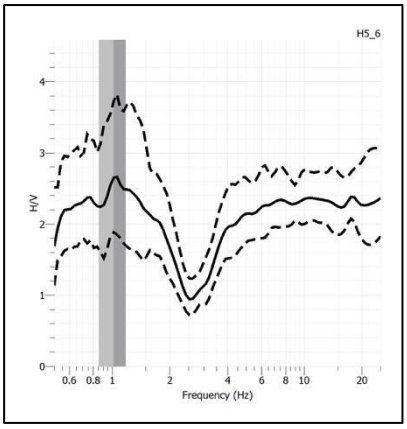
Yuliana, L., Hidayat, R., & Prasetyo, A. (2020). Analisis mikrozonasi kerentanan seismik Kota Pekalongan dengan metode mikrotremor. *Jurnal Geosaintek*, 6(1), 45–55.

LAMPIRAN

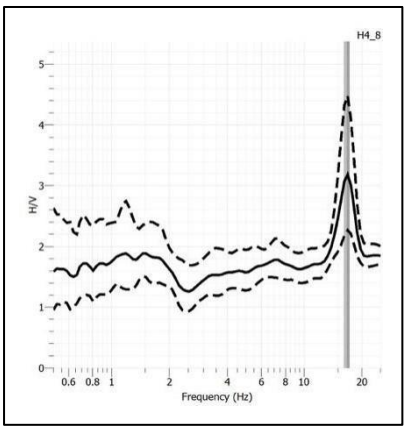
Lampiran 1 Gambar Kurva HVSR



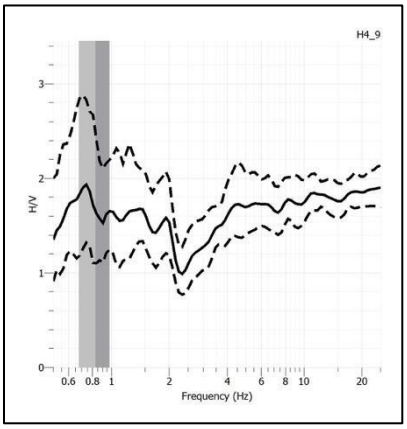
Gambar L.1- 1 Kurva HVSR Titik 1



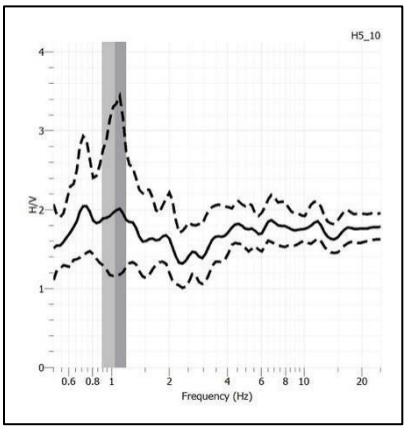
Gambar L.1- 2 Kurva HVSR Titik 2



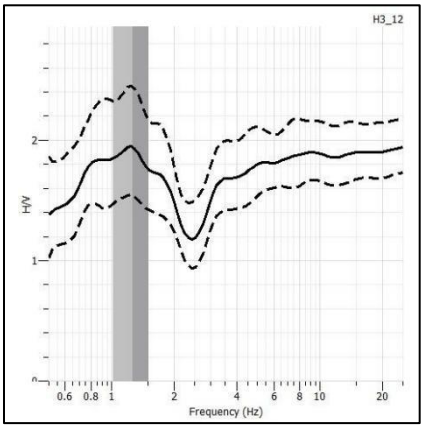
Gambar L.1- 3 Kurva HVSR Titik 3



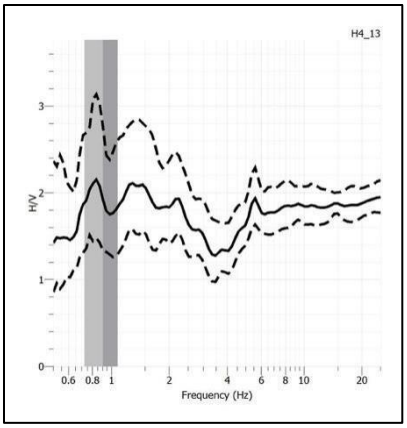
Gambar L.1- 4 Kurva HVSR Titik 4



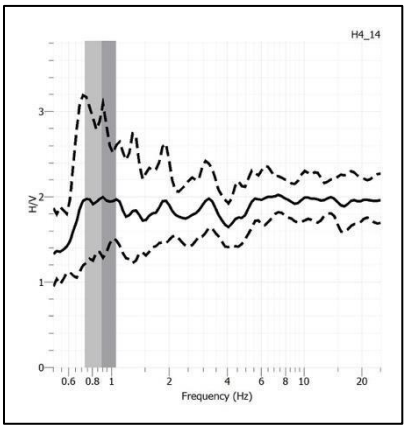
Gambar L.1- 5 Kurva HVSR Titik 5



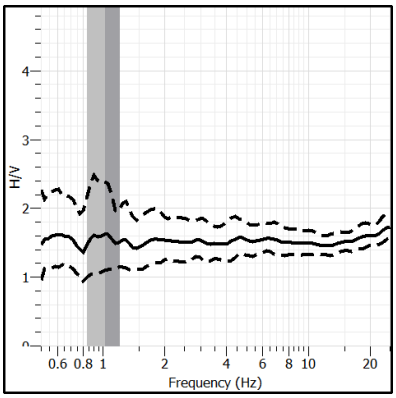
Gambar L.1- 6 Kurva HVSR Titik 6



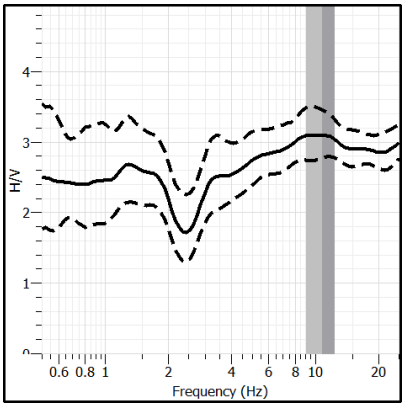
Gambar L.1- 7 Kurva HVSR Titik 7



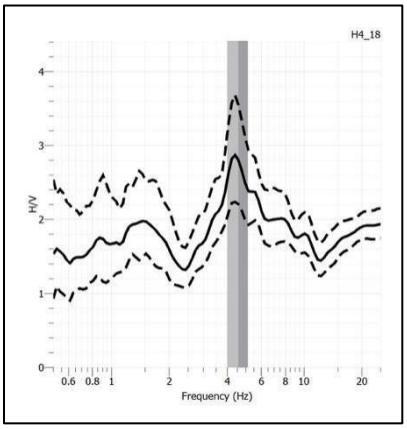
Gambar L.1- 8 Kurva HVSR Titik 8



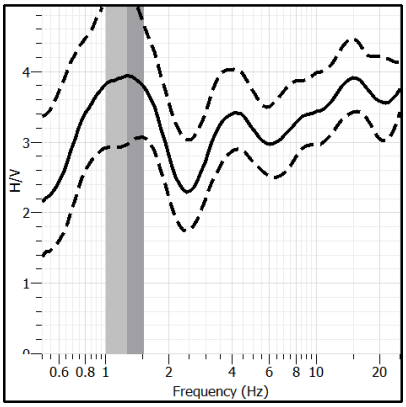
Gambar L.1- 9 Kurva HVSR Titik 9



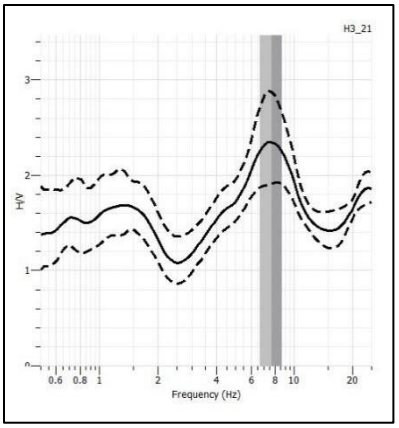
Gambar L.1- 10 Kurva HVSR Titik 10



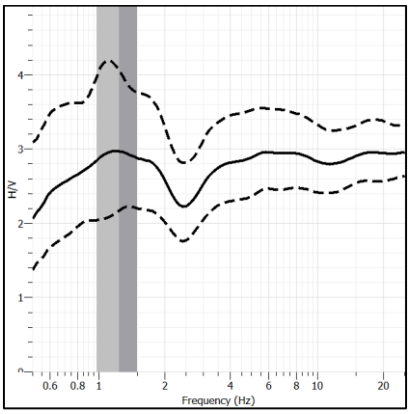
Gambar L.1- 11 Kurva HVSR Titik 11



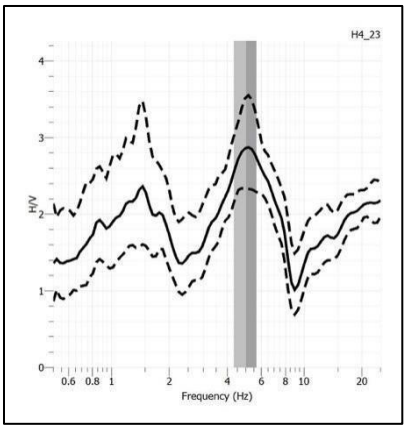
Gambar L.1- 12 Kurva HVSR Titik 12



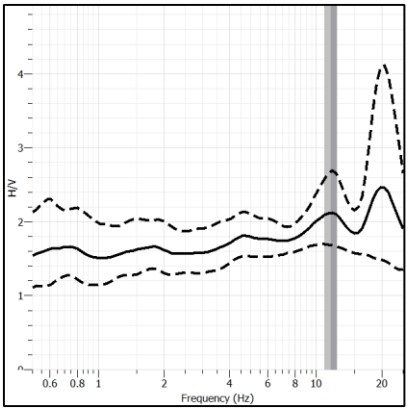
Gambar L.1- 13 Kurva HVSR Titik 13



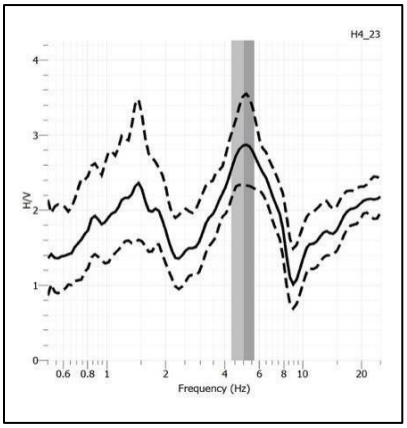
Gambar L.1- 14 Kurva HVSR Titik 14



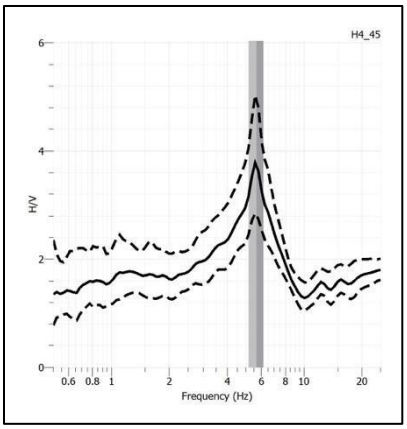
Gambar L.1- 15 Kurva HVSR Titik 15



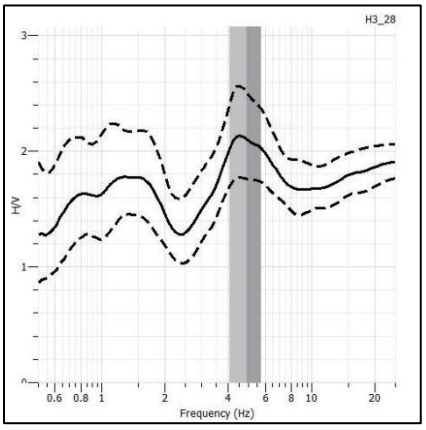
Gambar L.1- 16 Kurva HVSR Titik 16



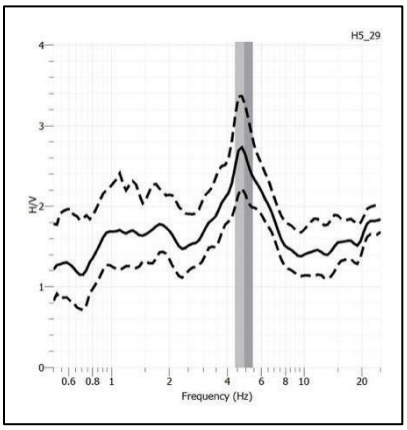
Gambar L.1- 17 Kurva HVSR Titik 17



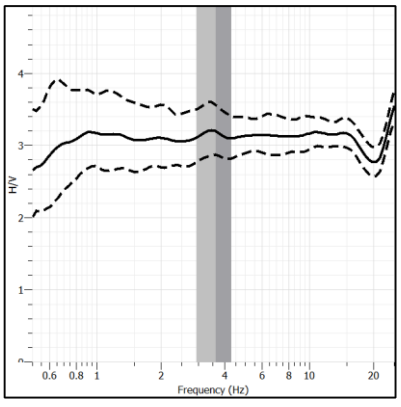
Gambar L.1- 18 Kurva HVSR Titik 18



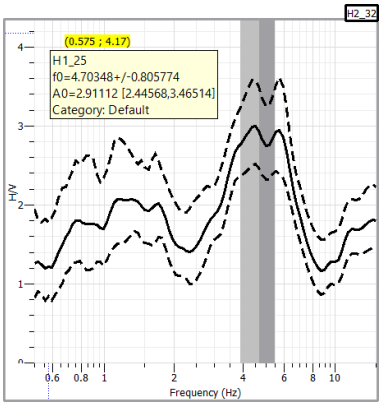
Gambar L.1- 19 Kurva HVSR Titik 19



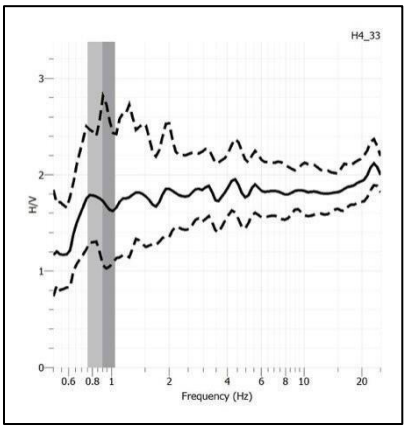
Gambar L.1- 20 Kurva HVSR Titik 20



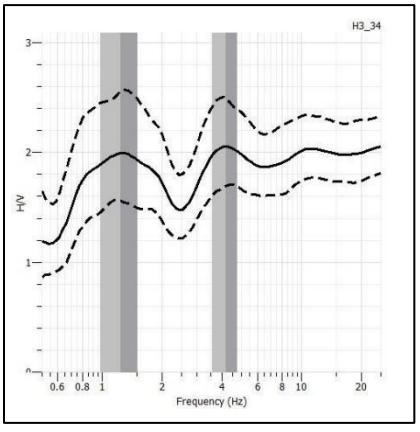
Gambar L.1- 21 Kurva HVSR Titik 21



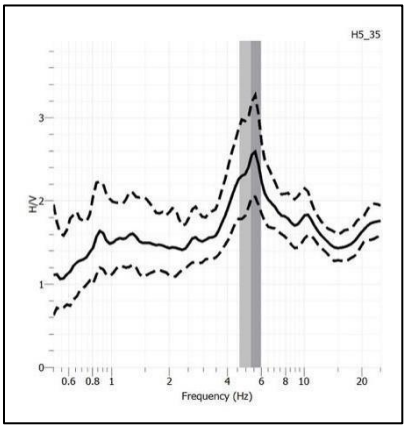
Gambar L.1- 22 Kurva HVSR Titik 22



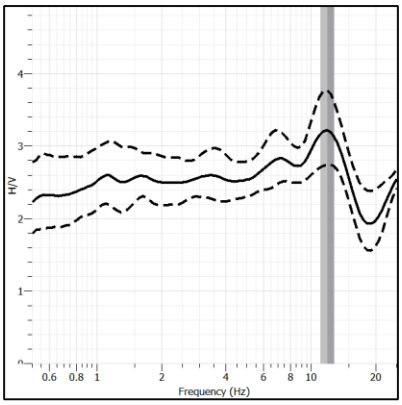
Gambar L.1- 23 Kurva HVSR Titik 23



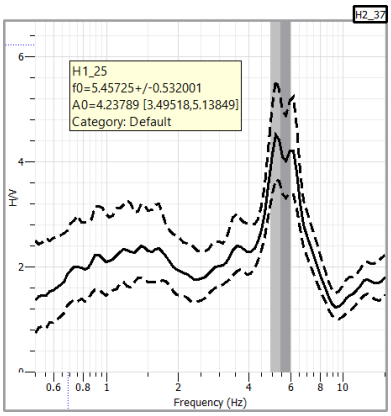
Gambar L.1- 24 Kurva HVSR Titik 24



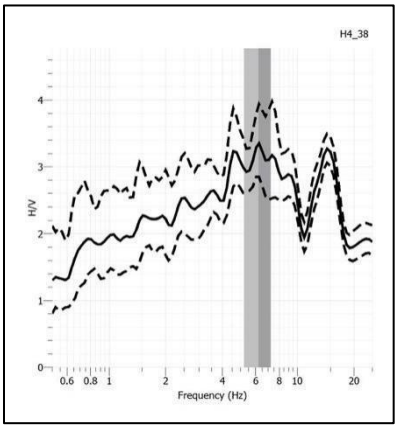
Gambar L.1- 25 Kurva HVSR Titik 25



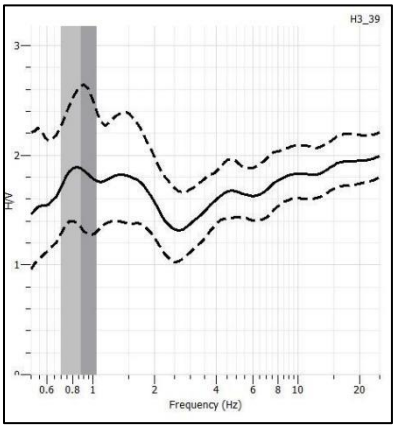
Gambar L.1- 26 Kurva HVSR Titik 26



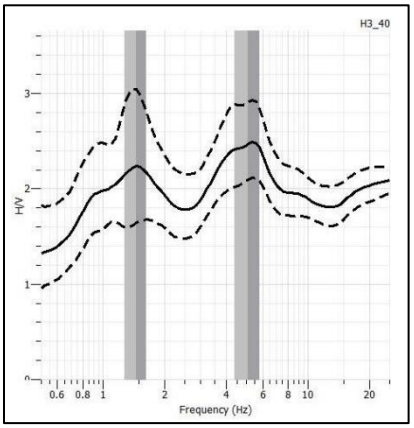
Gambar L.1- 27 Kurva HVSR Titik 27



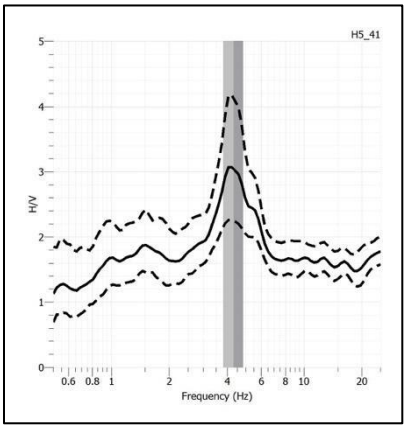
Gambar L.1- 28 Kurva HVSR Titik 28



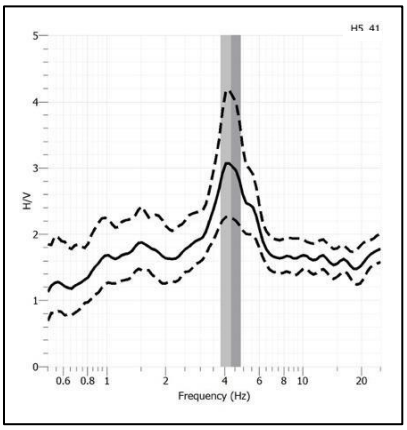
Gambar L.1- 29 Kurva HVSR Titik 29



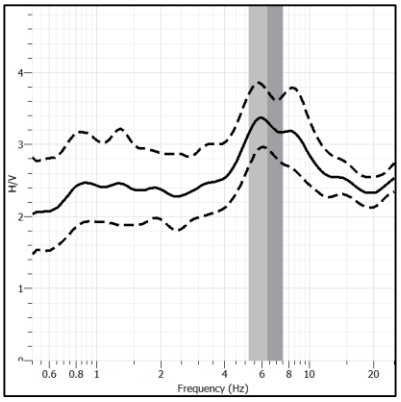
Gambar L.1- 30 Kurva HVSR Titik 30



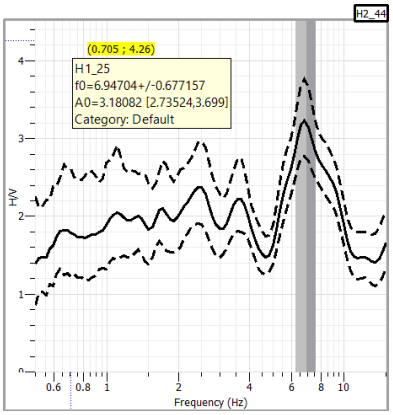
Gambar L.1- 31 Kurva HVSR Titik 31



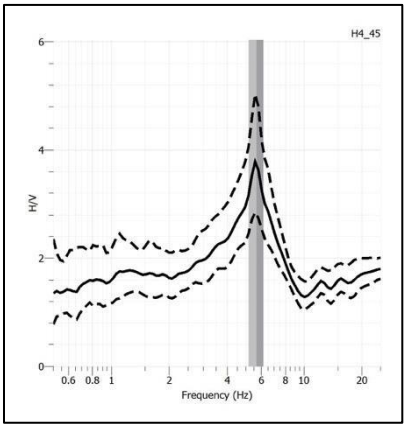
Gambar L.1- 32 Kurva HVSR Titik 32



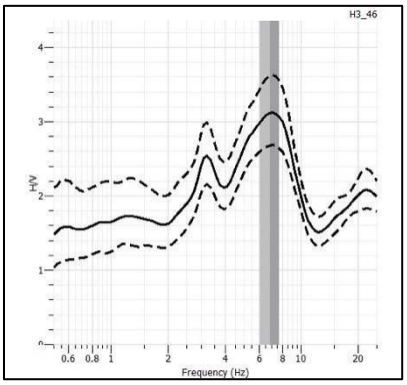
Gambar L.1- 33 Kurva HVSR Titik 33



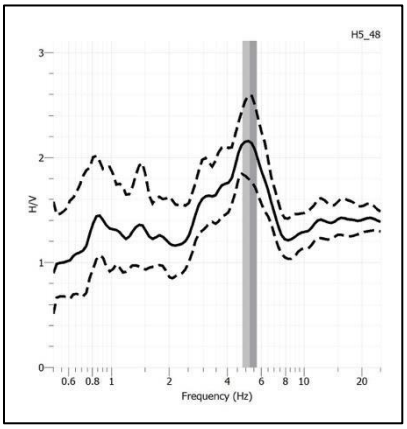
Gambar L.1- 34 Kurva HVSR Titik 34



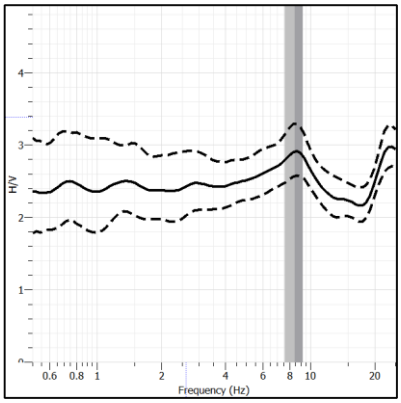
Gambar L.1- 35 Kurva HVSR Titik 35



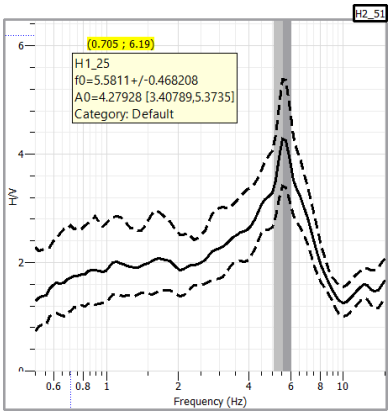
Gambar L.1- 36 Kurva HVSR Titik 36



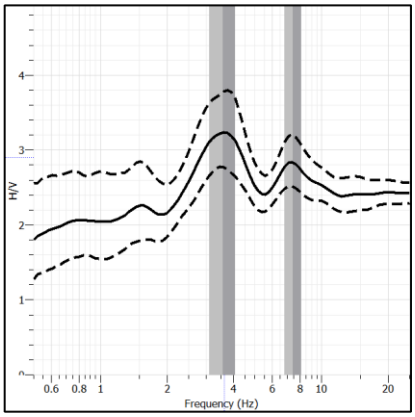
Gambar L.1- 37 Kurva HVSR Titik 37



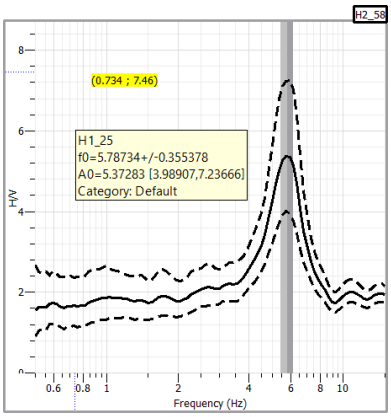
Gambar L.1- 38 Kurva HVSR Titik 38



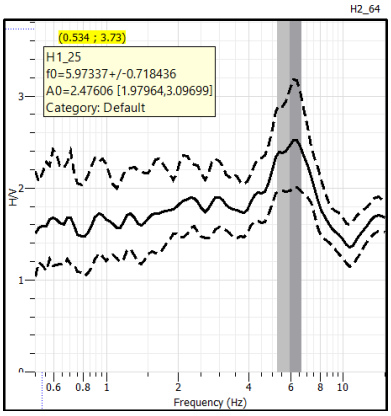
Gambar L.1- 39 Kurva HVSR Titik 39



Gambar L.1- 40 Kurva HVSR Titik 40

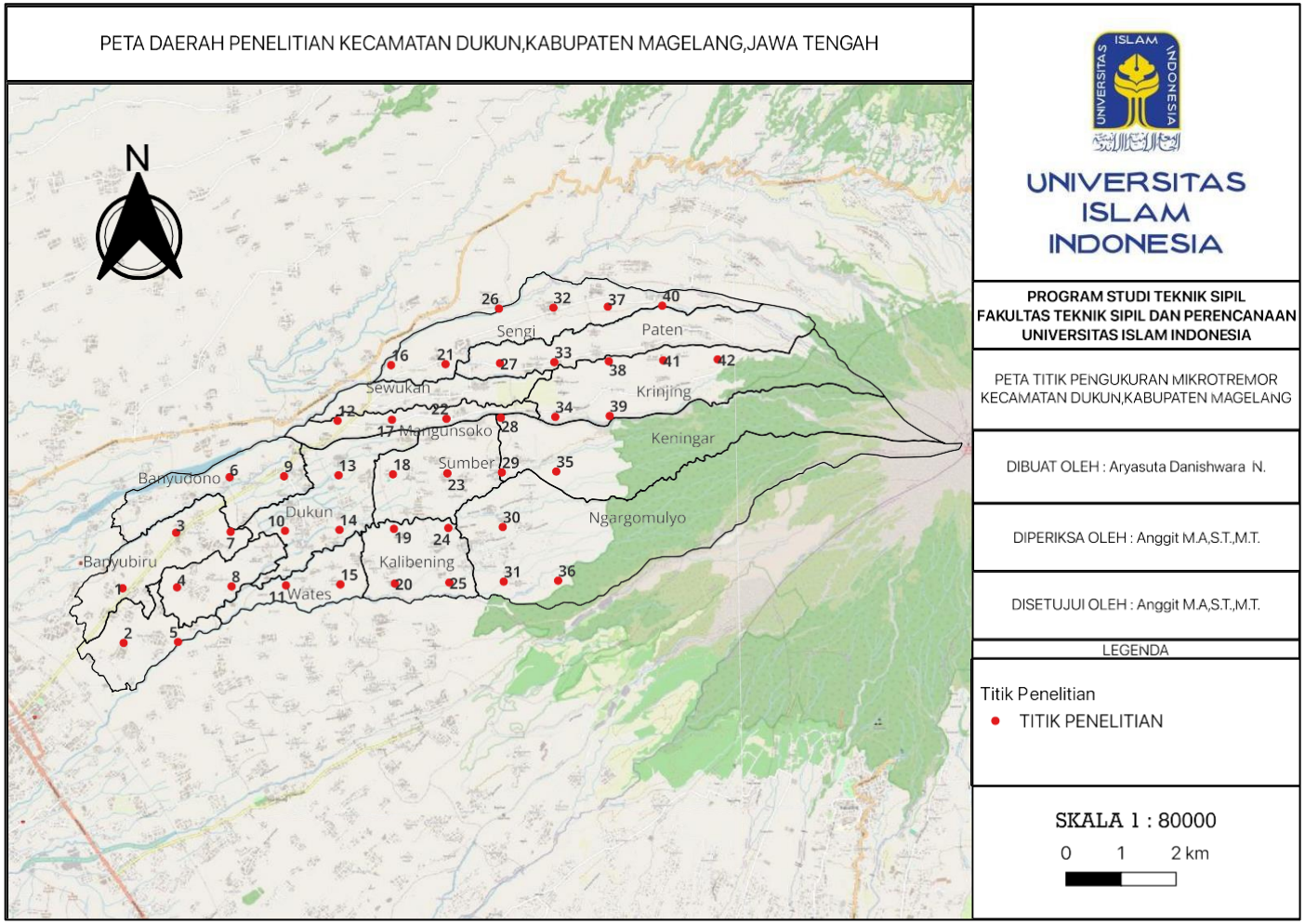


Gambar L.1- 41 Kurva HVSR Titik 41

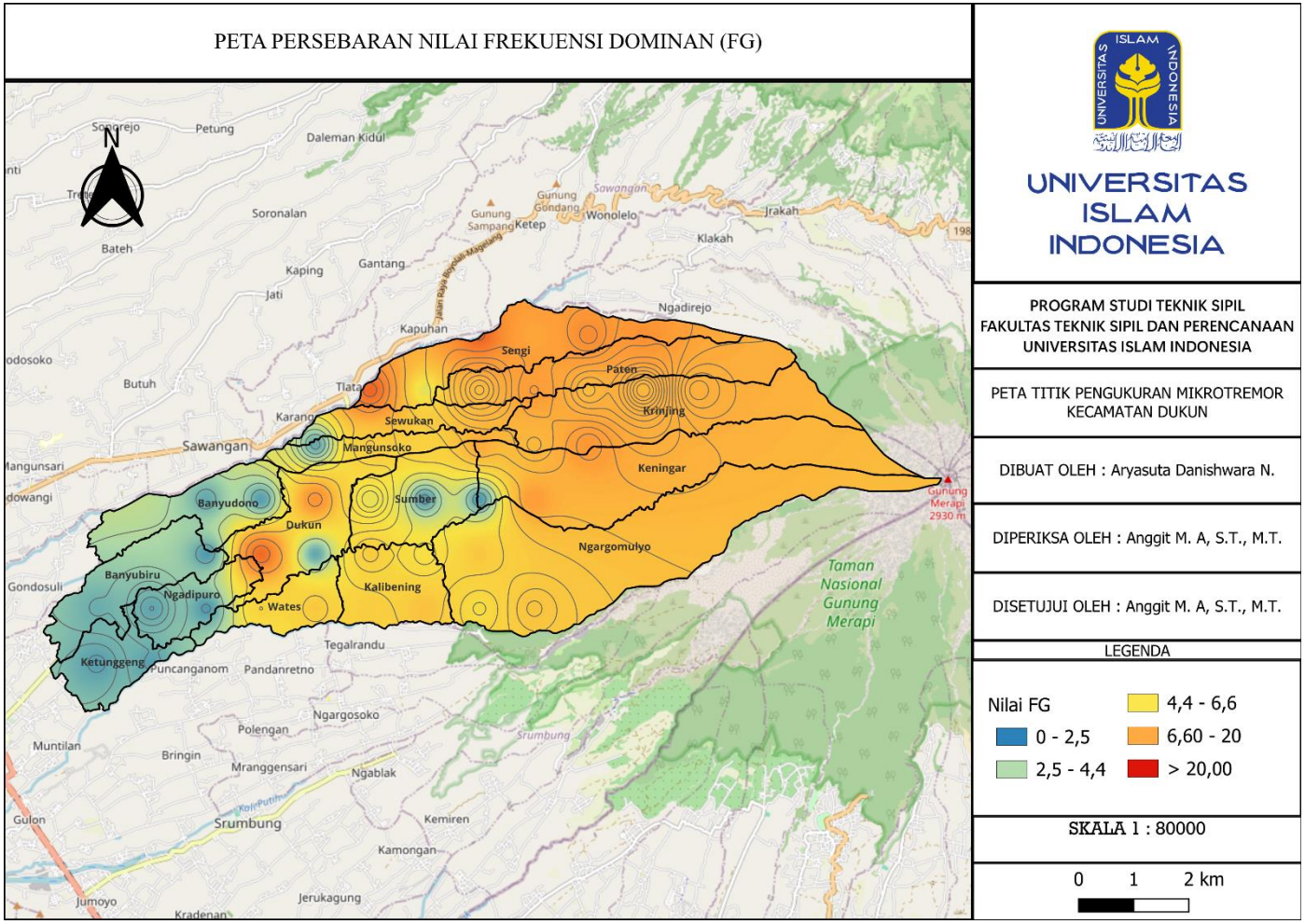


Gambar L.1- 42 Kurva HVSR Titik 42

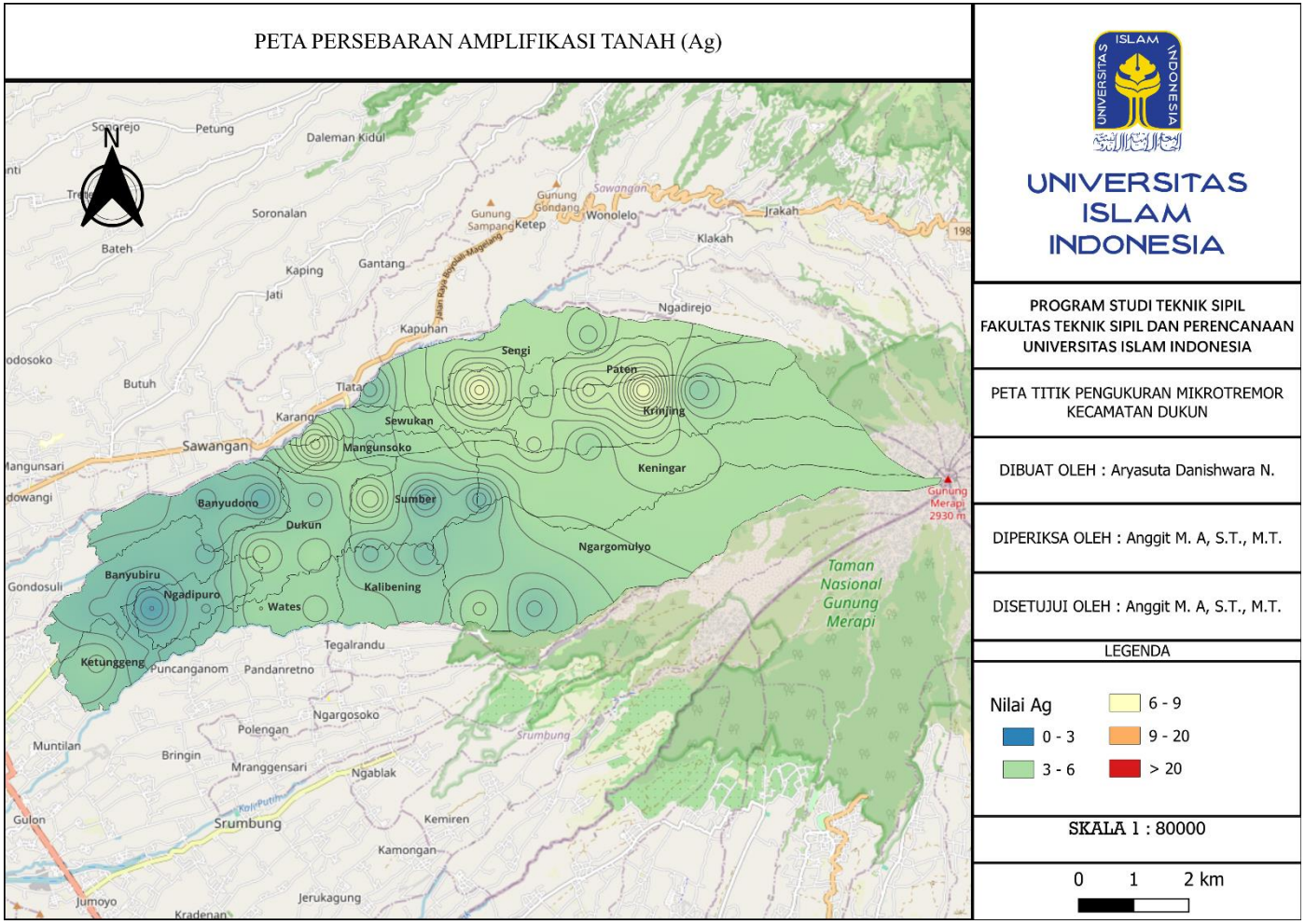
Lampiran 2 Gambar Peta Persebaran



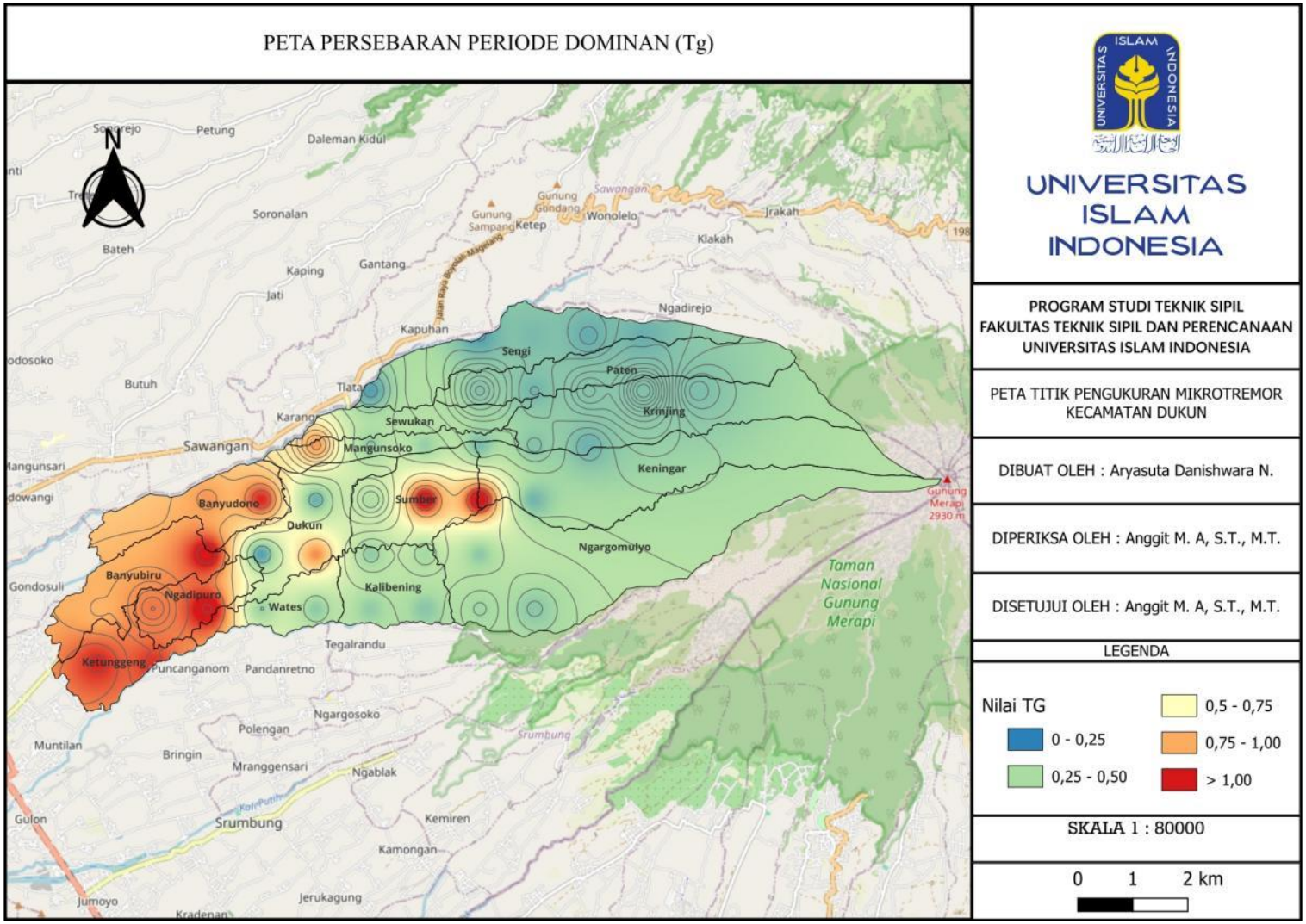
Gambar L.2- 1 Peta Titik Pengambilan Data Mikrotremor



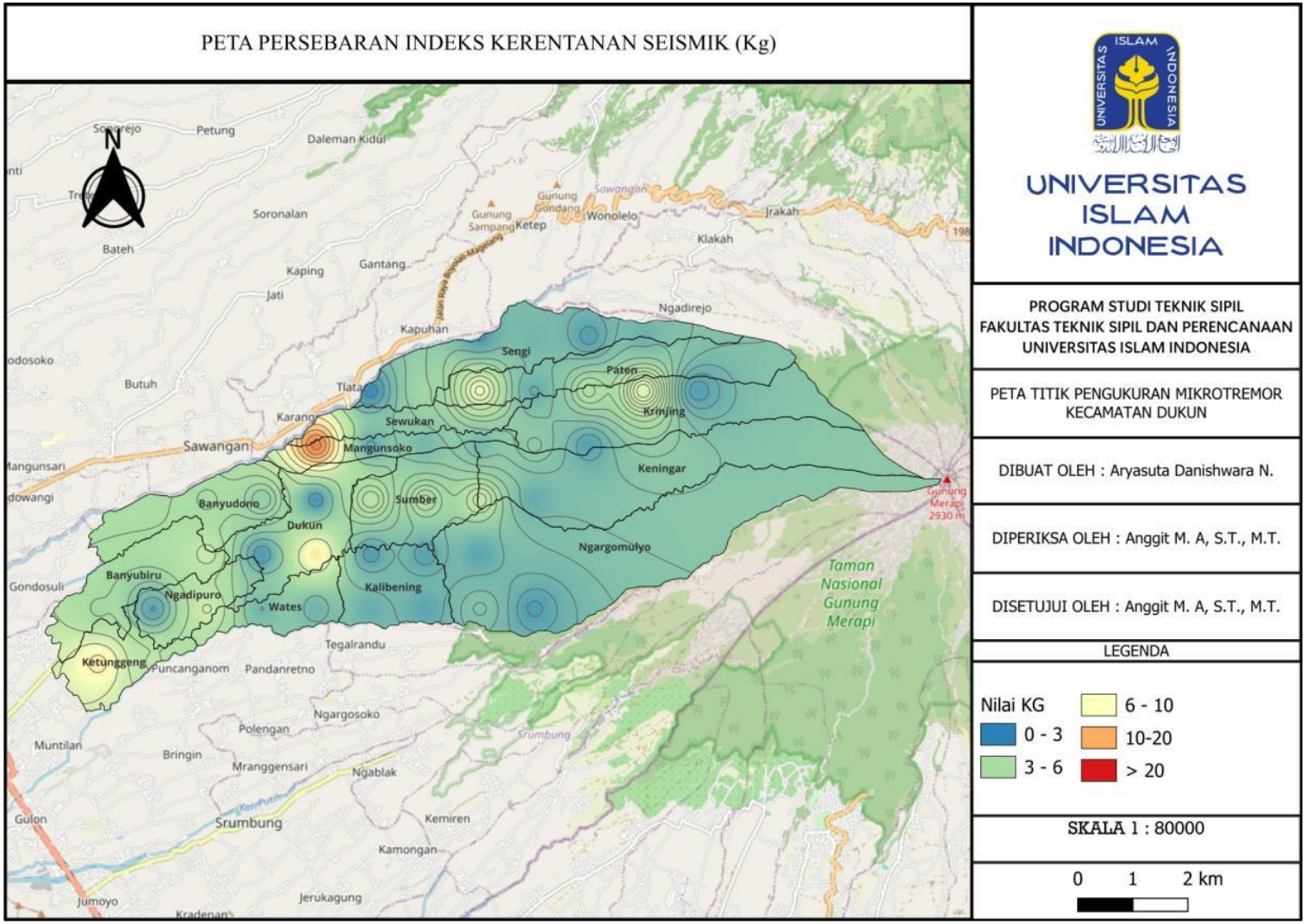
Gambar L.2- 2 Peta Persebaran Frekuensi Dominan (Fg)



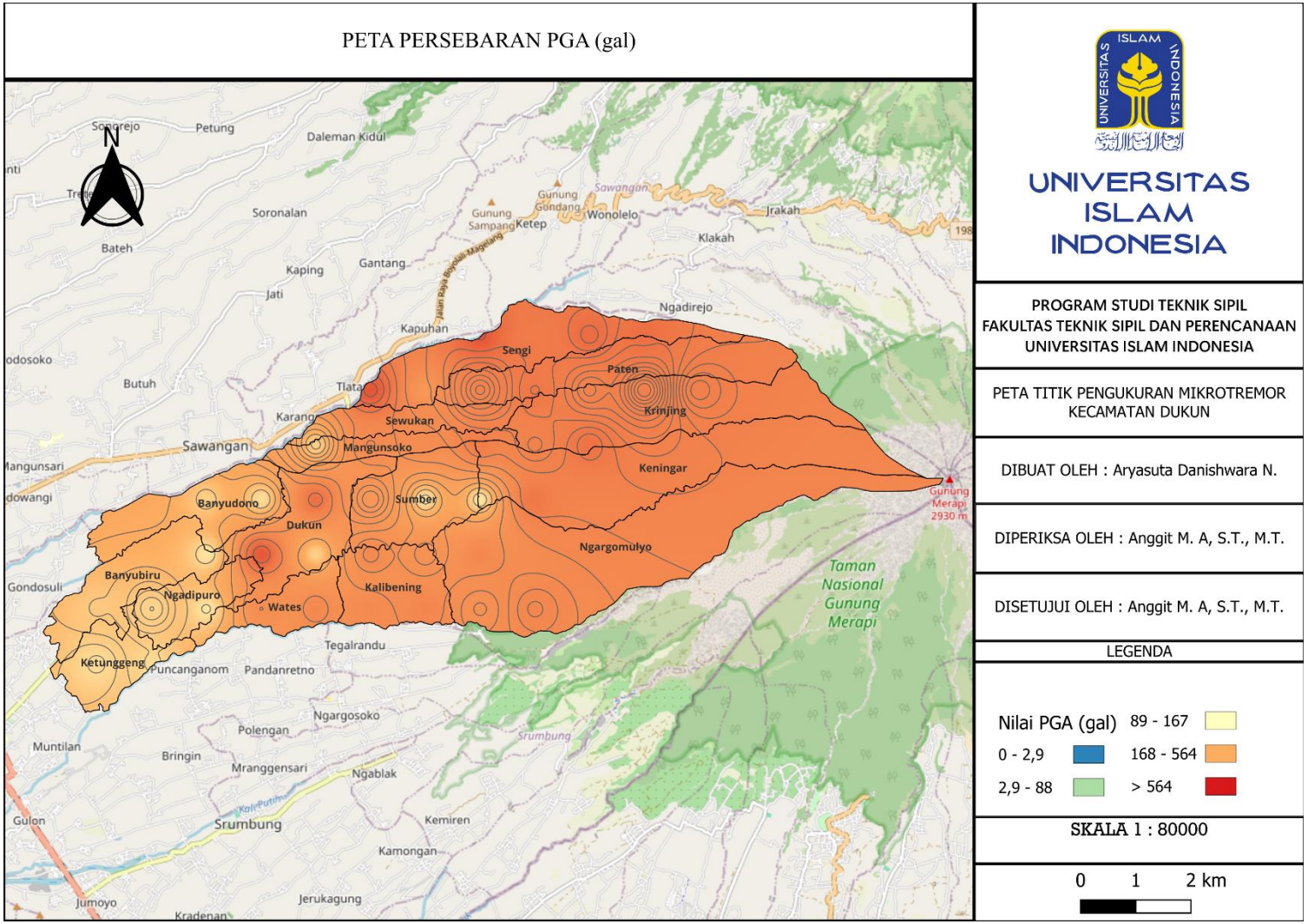
Gambar L.2- 3 Peta Persebaran Amplifikasi Tanah (Ag)



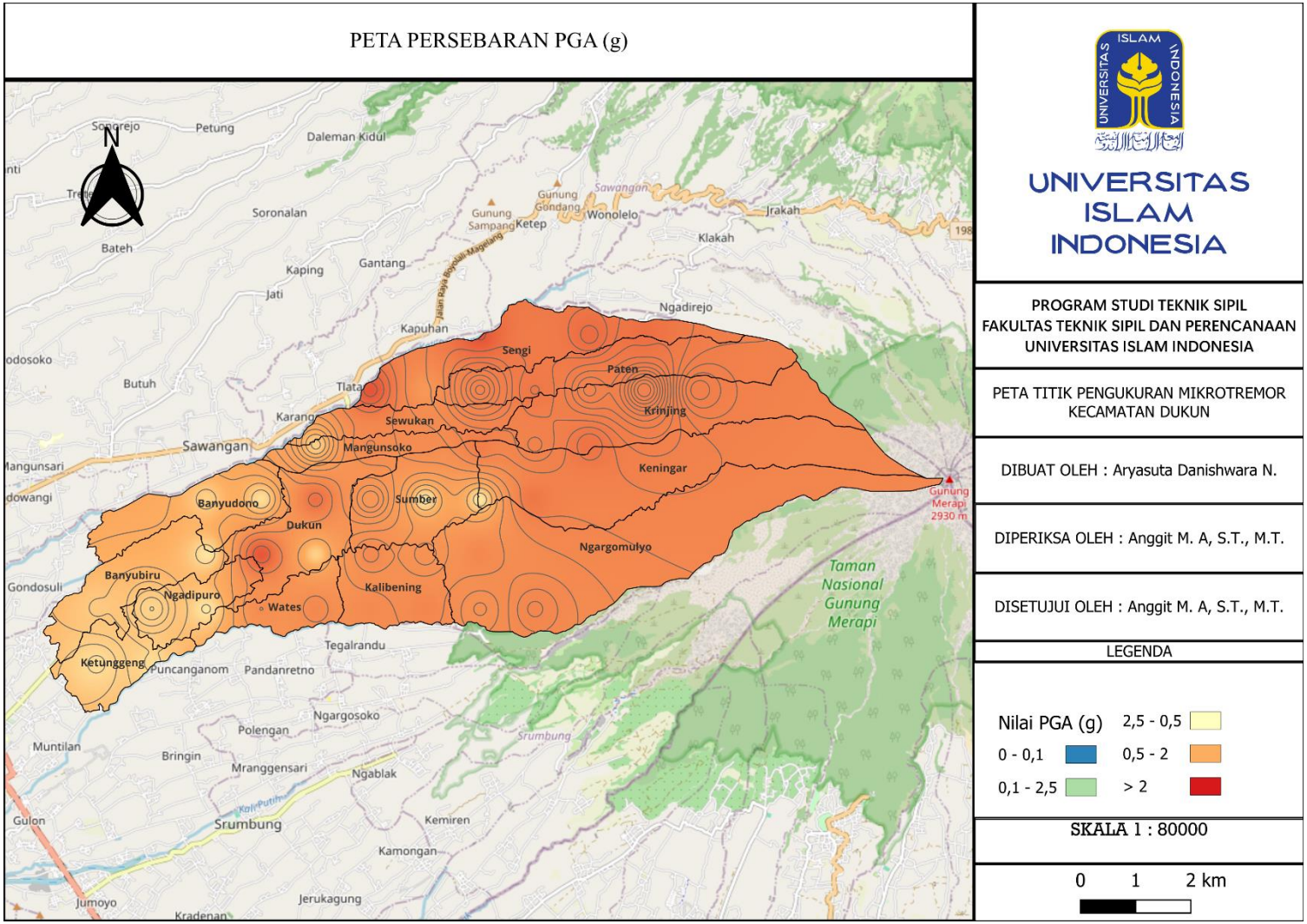
Gambar L.2- 4 Peta Persebaran Periode Dominan Tanah (Tg)



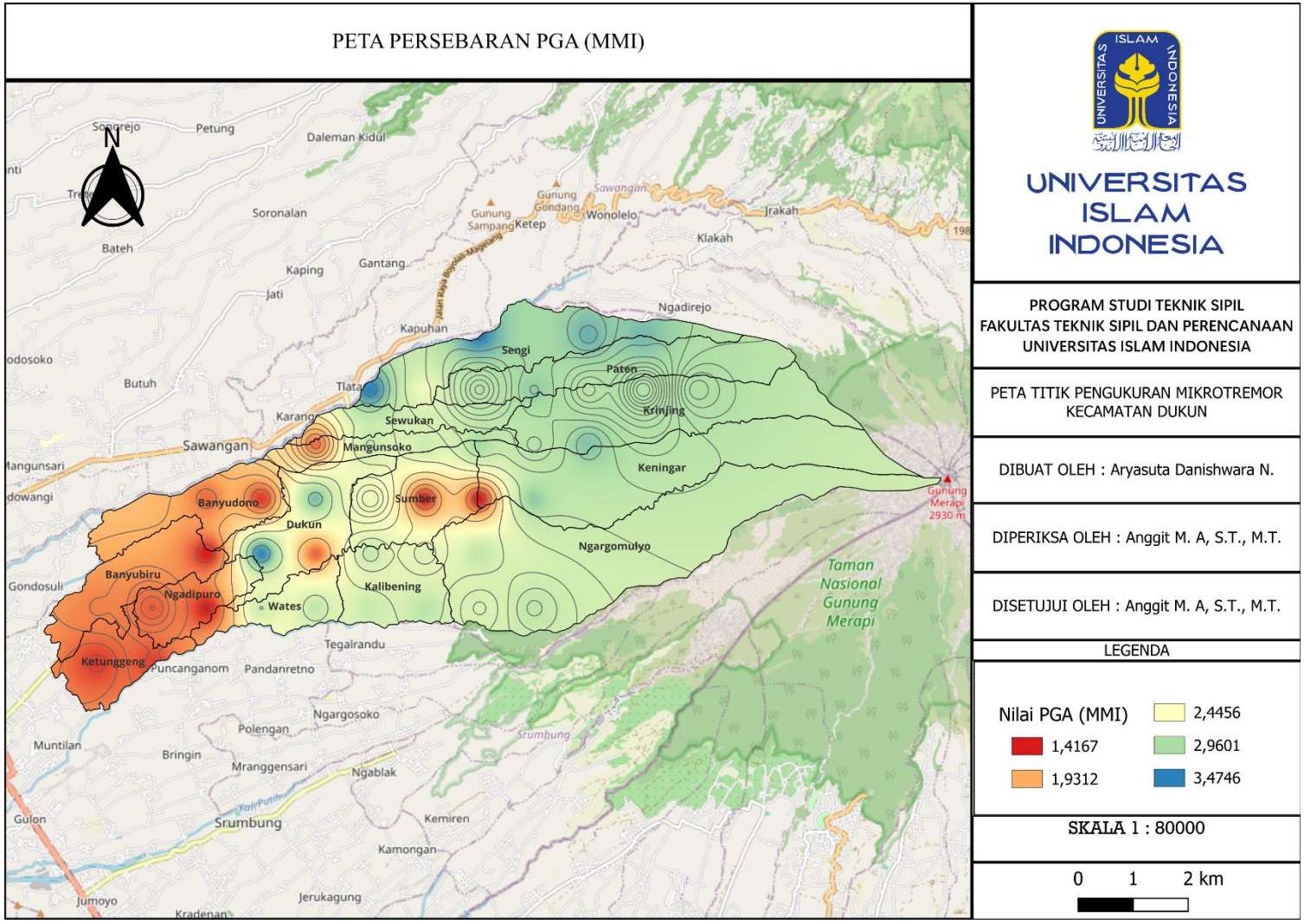
Gambar L.2- 5 Peta Persebaran Indeks Kerentanan Tanah (Kg)



Gambar L.2- 6 Peta Persebaran Peak Ground Acceleration (PGA) gal



Gambar L.2- 7 Peta Persebaran Peak Ground Acceleration (PGA) g



Gambar L.2- 8 Peta Persebaran Peak Ground Acceleration (PGA) MMI

Lampiran 3 Surat Perizinan Penelitian



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Yogyakarta, 15 Januari 2025

Nomor : 34/WDKKA-FTSP/90/FTSP/I/2025
Sifat :
Lampiran : 1 (satu) bendel
Perihal : Permohonan Rekomendasi Penelitian

Kepada:
Yth. Kepala Badan Kesatuan Bangsa dan Politik Kabupaten Magelang.
Di -
KOTA MUNGKID

Dalam rangka menyelesaikan studi pada Program Studi Teknik Sipil Prorgam Sarjana Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, setiap mahasiswa diwajibkan memenuhi salah satu persyaratan akademik diantaranya pembuatan skripsi.

Sehubungan dengan hal tersebut kami mohon Bapak/Ibu memberikan ijin kepada mahasiswa kami dibawah ini, untuk memperoleh data atau keterangan yang diperlukan dalam penyusunan skripsi.

Nama	:	1. Aryasuta Danishwara Nugrahatama 2. M. Firdaus Sani Wijaya Kusuma
NPM	:	1. 20511195 2. 20511402
No. Telp/HP	:	082324020002 (Aryasuta) 085228003796 (Firdaus)
Program Studi	:	Teknik Sipil
Alamat	:	Griya Saka Permai, Ngaglik, Sleman, Yogyakarta
Judul Penelitian	:	1. Penyusunan Peta Kerentanan Gempa Menggunakan Metode *Horizontal To Vertical Spectral Ratio* (HVSR) Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor Di Kecamatan Dukun, Kabupaten Magelang. 2. Analisis Indeks Kerentanan Seismik Dan Ketebalan Sedimen Di Kecamatan Dukun Menggunakan Metode *Horizontal To Vertical Spectral Ratio* (HVSR) Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor
Dosen Pembimbing	:	Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T.

Skripsi tersebut semata-mata hanya bersifat dan bertujuan keilmuan serta tidak disebarluaskan untuk umum.

Demikian permohonan disampaikan atas bantuan dan kerjasamanya diucapkan terima kasih.

a.n. Dekan
Wakil Dekan II,

Ir. Fitri Nugraheni, S.T., M.T., Ph.D., IPM

Tembusan:
1. Kepala DPM-PTSP Kab. Magelang
2. Kepala Bappeda dan Litbangda Kab. Magelang

PEMERINTAH KABUPATEN MAGELANG
DINAS PENANAMAN MODAL
DAN PELAYANAN TERPADU SATU PINTU
Jl. Soekarno-Hatta No.20 Kota Mungkid Telp.(0293) 788249 Fax.(0293) 789549
Kode Pos 56511 Website: https://dpmptsp.magelangkab.go.id
Email: dpmptsp@magelangkab.go.id

SURAT KETERANGAN PENELITIAN
Nomor: 070/052/16/2025

Dasar:
a. Peraturan Menteri Dalam Negeri Nomor 3 Tahun 2018 Tentang Penerbitan Surat Keterangan Penelitian;
b. Peraturan Bupati Magelang Nomor 19 Tahun 2023 tentang Penyelenggaraan Pelayanan Perizinan Berusaha, Perizinan Non Berusaha, dan Nonperizinan;
c. Surat Kepala Badan Kesatuan Bangsa dan Politik Kabupaten Magelang Nomor: 070/031/47/2025 Tanggal 16 Januari 2025, Perihal Surat Keterangan Penelitian.

Yang bertanda tangan dibawah ini, Kepala DPMPTSP Kabupaten Magelang tidak keberatan dan menyetujui pelaksanaan Kegiatan Penelitian di Kabupaten Magelang yang dilaksanakan oleh Saudara:

Nama	:	Aryasuta Danishwara Nugrahatama dan M. Firdaus Sani Wijaya Kusuma
Pekerjaan	:	Mahasiswa
Alamat	:	Griya Saka Permai, Sardonoharjo, Ngaglik, Sleman, Yogyakarta
Nomor Telp/HP	:	082324020002
Lembaga	:	Universitas Islam Indonesia
Penanggung Jawab	:	Anggit Mas Arifudin S.T., M.T.
Lokasi	:	Kecamatan Dukun
Waktu	:	18 Januari s/d 18 April 2025
Peserta	:	-
Judul Penelitian	:	Penyusunan Peta Kerentanan Gempa Menggunakan Metode Horizontal To Vertical Spectral Ratio (HVSR) Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor Di Kecamatan Dukun, Kabupaten Magelang.

Dengan ketentuan sebagai berikut:

1. Melapor kepada Pejabat Pemerintah setempat dan berkoordinasi dengan Instansi terkait untuk mendapatkan petunjuk seperlunya;
2. Wajib menjaga tata tertib dan menaati ketentuan-ketentuan yang berlaku;
3. Memenuhi ketentuan, etika dan norma yang berlaku di lokasi penelitian;
4. Surat keterangan dapat dicabut dan dinyatakan tidak berlaku, apabila pemegang surat ini tidak menaati/mengindahkan peraturan yang berlaku; dan
5. Setelah kegiatan selesai agar menyerahkan laporan/hasilnya kepada Badan Perencanaan Pembangunan, Penelitian, dan Pengembangan Daerah Kabupaten Magelang Cq. Kepala Bidang Penelitian dan Pengembangan.

Demikian surat keterangan ini untuk digunakan seperlunya.

Dikeluarkan di : Kota Mungkid
Pada Tanggal : 17 Januari 2025

a.n. BUPATI MAGELANG
Plt. KEPALA DINAS PENANAMAN MODAL
DAN PELAYANAN TERPADU SATU PINTU
SEKRETARIS,

Ditandatangani secara elektronik oleh:
DIDIK KRISTIA SOFIAN , S.Kom., M.Sc
Pembina
NIP. 197611262005011004

Tembusan:
1. Bupati Magelang;
2. Kepala Bappeda dan Litbangda;
3. Kepala Badan Kesbangpol.

Balai Sertifikasi Elektronik
- Surat ini ditandatangani secara elektronik menggunakan sertifikat elektronik yang diterbitkan oleh BSrE
- Untuk mengecek keaslian dokumen ini, bisa melakukan scan pada QR Code yang tertera

LAMPIRAN SURAT KETERANGAN PENELITIAN
Nomor : 070/052/16/2025
Tanggal : 17 Januari 2025

Daftar Peserta Penelitian
Lokasi: Kecamatan Dukun

No	Nama	NIK	Jabatan
1	Aryasuta Danishwara N	3404120109020005	Anggota
2	M. Firdaus Sani Wijaya Kusuma	3302200604020001	Anggota

Balai Sertifikasi Elektronik
• Surat ini ditandatangani secara elektronik menggunakan sertifikat elektronik yang diterbitkan oleh BSrE
• Untuk mengecek keaslian dokumen ini, bisa melakukan scan pada QR Code yang tertera