

TUGAS AKHIR

PENYUSUNAN PETA KERENTANAN GEMPA DI BERBAH KABUPATEN SLEMAN MENGGUNAKAN METODE HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO (HVSR) BERDASARKAN PENGUKURAN MIKROTREMOR DI LAPANGAN

(PREPARATION OF AN EARTHQUAKE VULNERABILITY MAP IN BERBAH, SLEMAN REGENCY USING THE HORIZONTAL TO VERTIKAL SPECTRAL RATIO (HVSR) METHOD BASED ON MIKROTREMOR MEASUREMENTS IN THE FIELD)

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



**Diinaa Romiizahathuuf Haniifah
19511241**

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

2023

TUGAS AKHIR

**PENYUSUNAN PETA KERENTANAN GEMPA DI BERBAH
KABUPATEN SLEMAN MENGGUNAKAN METODE
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO (HVSR)
BERDASARKAN PENGUKURAN MIKROTREMOR DI
LAPANGAN
(PREPARATION OF AN EARTHQUAKE VULNERABILITY
MAP IN BERBAH, SLEMAN REGENCY USING THE
HORIZONTAL TO VERTIKAL SPECTRAL RATIO (HVSR)
METHOD BASED ON MIKROTREMOR MEASUREMENTS
IN THE FIELD)**

Disusun Oleh

Diinaa Romiizahathuuf Haniifah
19511241

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

Diuji pada tanggal 6 Februari 2023

Oleh dewan penguji

Pembimbing

 13/2 23

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

Penguji I



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

Penguji II

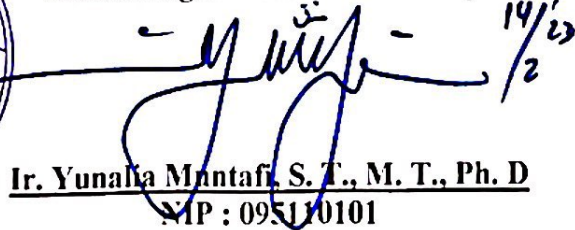


Elvis Saputra, S. T., M. T
NIP : 20511302



Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil

 14/2 23
Ir. Yunalia Muntafi, S. T., M. T., Ph. D
NIP : 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

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

Yogyakarta, 29 Desember 2022

Yang membuat pernyataan,



Diinaa Romiizahathuuf Hanjifah

(19511241)

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil'aalaamiin, segala puji bagi Allah SWT atas rahmat dan karunianya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul **“Penyusunan Peta Kerentanan Gempa di Berbah Kabupaten Sleman Menggunakan Metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr) Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor di Lapangan”**. Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat untuk mendapatkan gelar sarjana (S.T) di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Selawat dan salam tidak lupa penulis sampaikan kepada junjungan kita, Nabi Muhammad SAW, yang telah membawa kita menuju keterangan. Dalam menyelesaikan Tugas Akhir, penulis menyadari adanya banyak rintangan yang dihadapi. Namun karena dukungan, kritik dan saran dari banyak pihak penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terimakasih untuk segala yang diberikan kepada :

1. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S. T., M. T., Ph. D. 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 yang telah banyak memberi arahan, bimbingan dan motivasi kepada penulis,
3. Kedua orang tua penulis, untuk semua doa yang selalu diberikan dan kesabaran serta kerja keras yang selalu diberikan,
4. Seluruh keluarga besar, yang sudah memberikan dukungan dan juga doa,
5. Faishal AMD yang sudah menemani saya menyelesaikan rangkaian proses tugas akhir ini, dan selalu memberikan semangat serta dorongan untuk menyelesaikan tugas akhir ini,

6. Teman – teman seperjuangan kuliah “ODADING”, yang selalu mendukung penulis untuk segera menyelesaikan Tugas Akhir,
7. Teman – teman HMTS 2021/2022 yang sudah memberikan kesempatan dan waktunya agar segera dapat menyelesaikan Tugas Akhir,
8. Semua pihak yang telah membantu penulis menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Penulis berharap Proposal Tugas Akhir ini dapat menjadi manfaat bagi penulis dan juga pembaca, dan juga dengan selesainya Proposal Tugas Akhir ini penulis berharap dapat menyelesaikan tahap – tahap selanjutnya sesuai dengan target.

Yogyakarta, 29 Desember 2022

Penulis,

Diinaa Romiizahathuuf Haniifah

19511241

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	ii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xvi
ABSTRAK	xviii
<i>Abstract</i>	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Penelitian Terdahulu	6

2.1.1 Analisis Mikrotremor dengan Metode HVSR untuk Mikrozonasi Kabupaten Gunungkidul Yogyakarta	6
2.1.2 Karakteristik Situs dan Kerentanan Seismik di Kabupaten Klaten dengan Metode <i>Horizontal to Vertikal Spectral Ratio</i> (HVSR) dari Data Mikrotremor	7
2.1.3 Analisis Mikrotremor Berdasarkan Metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio untuk Mengetahui Indeks Kerentanan Seismik Kota Jambi	10
2.1.4 Penilaian Indeks Kerentanan Gempa Area Jaringan Gas di Kota Dhaka Menggunakan Pengukuran Mikrotremor	13
2.2 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian yang Akan Dilakukan	15
BAB III LANDASAN TEORI	21
3.1 Kondisi Geologi	21
3.1.1 Kondisi Geologi Berbah	21
3.2 Gempa Bumi	22
3.2.1 Pengertian Gempa Bumi	22
3.2.2 Parameter Gempa Bumi	23
3.3 Mikrotremor	29
3.4 Mikrozonasi	29
3.5 Uji <i>Outlier</i>	30
3.6 Metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR)	31
3.7 Frekuensi Natural (F_0)	32
3.8 Periode Dominan (T_0)	34
3.9 Amplifikasi Maksimal (A_g)	34
3.10 Indeks Kerentanan Seismik (K_g)	35

3.11	Percapatan Tanah Maksimum (PGA)	36
3.12	Peta Kerentanan Gempa bumi	37
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN		39
4.1	Lokasi Penelitian	39
4.2	Peralatan dan teknik pengumpulan data	39
4.2.1	Peralatan	40
4.2.2	Teknik Pengumpulan Data	42
4.3	Pengolahan Data	43
4.3.1	Pengolahan Data Mikrotremor	43
4.3.2	Perhitungan Frekuensi Natural (f_0), Amplifikasi (A_0), Periode Dominan (T_0)	44
4.3.3	Perhitungan Indeks Kerentanan Seismik (K_g)	45
4.3.4	Perhitungan Percepatan Tanah Maksimum (PGA)	45
4.3.5	Peta Kerentanan Gempabumi	45
4.4	Diagram Alur Penelitian	46
BAB V ANALISIS, HASIL, DAN PEMBAHASAN		48
5.1	Pengambilan Data di Lapangan	48
5.2	Uji <i>Outlier</i>	48
5.3	Analisa Data	50
5.4	Analisa Nilai Faktor Amplifikasi Tanah (A_g)	54
5.5	Analisa Frekuensi Dominan Tanah (F_g)	56
5.6	Analisis Periode Dominan Tanah (T_g)	58
5.7	Analisis Indeks Kerentanan Seismik (K_g)	61
5.8	Analisis <i>Peak Ground Acceleration</i> (PGA)	63
5.8.1	Menentukan Jarak Episenter	64

5.8.2 Menentukan Jarak Hiposenter (R)	65
5.8.3 Analisis <i>Peak Ground Acceleration</i> (PGA)	65
5.9 Hubungan antara nilai Ag, Fg, Kg dan PGA	71
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	73
6.1 Kesimpulan	73
6.2 Saran	73
DAFTAR PUSTAKA	75



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan	16
Tabel 3.1 Intensitas Gempa Bumi Skala MMI	28
Tabel 3.2 Klasifikasi Nilai Frekuensi Natural Berdasarkan Klasifikasi Kanai	33
Tabel 3.3 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Periode Dominan Menurut Kanai	34
Tabel 3.4 Klasifikasi Nilai Amplifikasi Tanah	35
Tabel 5.1 Analisis Outlier Pada Data Penelitian	48
Tabel 5.2 Nilai Amplifikasi Tanah (A_g) di Kapanewon Berbah	54
Tabel 5.3 Nilai Frekuensi Dominan Tanah (F_g) di Kapanewon Berbah	56
Tabel 5.4 Nilai Analisis Periode Dominan Tanah (T_g)	59
Tabel 5.5 Nilai Analisis Indeks Kerentanan Seismik (K_g)	61
Tabel 5.6 Data Gempa Jogja 26 Mei 2006	63
Tabel 5.7 Nilai Analisis Peak Ground Acceleration (PGA) gal	66
Tabel 5.7 Nilai Analisis Peak Ground Acceleration (PGA) g	67
Tabel 5.7 Nilai Analisis Peak Ground Acceleration (PGA) MMI	68

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Peta Frekuensi Dominan Tanah (F_g)	8
Gambar 2.2	Peta Periode Dominan Tanah (T_g)	8
Gambar 2.3	Peta Faktor Amplifikasi Tanah (A_g)	9
Gambar 2.4	Peta Indeks Kerentanan Seismik (K_g)	9
Gambar 2.5	Peta Akusisi Data Mikrotremor	10
Gambar 2.6	Kurva H/V Tipe Clear Peak	11
Gambar 2.7	Nilai Frekuensi Dominan (F_0) di Kota Jambi	12
Gambar 2.8	Nilai Faktor Amplifikasi (A_0) di Kota Jambi	12
Gambar 2.9	Nilai Indeks Kerentanan Seismik (K_g) di Kota Jambi	13
Gambar 2.10	Peta Distribusi Indeks Kerentanan Seismik (K_g) Kota Jambi	13
Gambar 2.11	Distribusi Frekuensi Dasar (F_0) di Daerah Penelitian	14
Gambar 2.12	Distribusi Faktor Amplifikasi (A_0) di Daerah Penelitian	15
Gambar 3.1	Kondisi Geologi Kecamatan Berbah	22
Gambar 3.2	Gelombang P Datar	24
Gambar 3.3	Representasi Penjalaran Gelombang P pada Sebuah Grid 2 Dimensi (Bentuk Empiris)	24
Gambar 3.4	Kiri : Arah Gerak Gelombang P, Kanan : Arah Gerak Gelombang S	25
Gambar 3.5	Titik Hiposenter Pada Lapisan Bumi	26

Gambar 3.6	Contoh Data Mikrotremor Tiga Komponen di Kecamatan Gantiwarno	29
Gambar 3.7	Perbandingan Nilai Faktor Amplifikasi Hasil Analisa HVSR	31
Gambar 3.8	Ilustrasi Gerakan Horizontal dan Vertikal Pada Batuan di Cekungan	32
Gambar 3.9	Contoh Peta Kerentanan Gempa Bumi	38
Gambar 4.1	Lokasi Penelitian	39
Gambar 4.2	Grid Lokasi Penelitian Interval $\pm 1 \times 1$ km	40
Gambar 4.3	Perangkat Keras Pengukuran Mikrotremor	42
Gambar 4.4	Sinyal Mikrotremor Dari Tiga Komponen	43
Gambar 4.5	Contoh Windowing Sinyal	44
Gambar 4.6	Kurva H/V	45
Gambar 4.7	Diagram Alur Penelitian	47
Gambar 5.1	Peta Persebaran Lokasi Titik Mikrotremor	50
Gambar 5.2	Grafik Pengolahan Data Titik 1 Menggunakan Software Geopsy	51
Gambar 5.3	Filtering Pada Titik 1	52
Gambar 5.4	Proses Pemilohan Window Pada Titik 1	52
Gambar 5.5	Grafik Kurva HVSR Titik 1	53
Gambar 5.6	Nilai Puncak Kurva HVSR Pada Titik 1	53
Gambar 5.7	Peta Sebaran Faktor Amplifikasi Tanah (A_g)	55
Gambar 5.8	Peta Persebaran Nilai Frekuensi Dominan Tanah (F_g)	58
Gambar 5.9	Peta Persebaran Nilai Periode Dominan Tanah (T_g)	60
Gambar 5.10	Peta Persebaran Nilai Indeks Kerentanan Seismik (K_g)	62

Gambar 5.11 Koordinat Titik Pusat Gempa Yogyakarta 2006	64
Gambar 5.12 Peta Persebaran Nilai Peak Ground Acceleration (PGA) gal	69
Gambar 5.13 Peta Persebaran Nilai Peak Ground Acceleration (PGA) g	70
Gambar 5.14 Peta Persebaran Nilai Peak Ground Acceleration (PGA) MMI	70
Gambar 5.15 Peta Risiko Bencana Gempa Bumi DI Yogyakarta	72



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Gambar Kurva HVSR	78
Lampiran 2 Gambar Peta Geologi Kapanewon Berbah	91
Lampiran 3 Gambar Peta Administratif Kapanewon Berbah	92
Lampiran 4 Dokumentasi Penelitian	93
Lampiran 5 Surat Perizinan Penelitian di Kapanewon Berbah	97
Lampiran 6 Surat Balasan Perizinan Penelitian di Kapanewon Berbah	98

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN



V_p	= Kecepatan Gelombang Primer
k	= Modulus Inkompresibilitas
μ	= Modulus Geser
ρ	= Kerapatan Material
V_s	= Kecepatan Gelombang Sekunder
M	= Magnitudo
a	= Amplitudo Gerakan Tanah
T	= Periode
f	= Frekuensi
Δ	= Jarak Hiposenter
H	= Ketebalan Sedimen
C_s	= Faktor Koreksi
C_R	= Faktor Koreksi
T_H	= Faktor Amplifikasi Horizontal
S_{HS}	= Spektra Fourier Komponen Horizontal di Surface (Tanah Permukaan)
S_{HB}	= Spektra Fourier Komponen Horizontal di Bedrock
T_V	= Faktor Amplifikasi Vertikal
S_{VS}	= Spektra Fourier Komponen Vertikal di Surface

S_{VB}	= Spektra Fourier Komponen Vertikal di Bedrock
T_o	= Periode Dominan
f_o	= Frekuensi Natural
A_o	= Amplifikasi
V_s	= Gelombang Geser Rata - Rata
K_g	= Indeks Kerentanan Seismik
A_g	= Faktor Amplifikasi Tanah
f_g	= Frekuensi Dominan Tanah
α	= Nilai Percepatan Tanah di Bawah Permukaan
T_g	= Periode Predominan Tanah
R	= Jarak Hiposenter

ABSTRAK

Salah satu bencana gempa besar yang mengguncang kawasan Indonesia adalah gempa Jogja 2006, dan salah satu Kapanewon dengan kerusakan paling berat adalah Kapanewon Berbah. Kerusakan ini disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya kondisi geologi dan dikarenakan Kapanewon Berbah dilewati oleh sesar opak. Bencana gempa bumi sendiri merupakan bencana yang masih belum dapat diperkirakan kapan terjadinya, salah satu cara untuk meminimalisir dampak adalah dengan melakukan mitigasi bencana berupa penelitian guna mendapatkan peta kerentanan bencana yang dapat digunakan sebagai acuan dalam mitigasi. Penyusunan peta tersebut menggunakan data parameter gempa seperti Ag, Fg, Tg, Kg, dan PGA.

Penelitian ini dilakukan di 36 titik yang tersebar wilayah Kapanewon Berbah dengan bantuan alat *lunitek digital seismic sensors*. 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 Yogyakarta pada tahun 2006.

Hasil yang didapat dari penelitian ini adalah nilai Ag berkisar antara 1,621 – 15,810, nilai Fg berkisar antara 0,443 – 3,523, nilai Tg berkisar antara 0,284 – 2,259, nilai Kg berkisar antara 1,860 – 564,634, dan nilai PGA (gal) berkisar antara 290,049 – 830,451. Dari nilai – nilai tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa wilayah yang rentan dengan bencana gempa bumi berdasarkan kemampuan batuan untuk melewati seismik terletak di wilayah Tegaltirto. Wilayah dengan nilai kerentanan tinggi biasanya mempunyai kondisi tanah yang lunak, tetapi berdasarkan dengan percepatan gerakan tanah, nilai kerentanan paling tinggi terletak di Kelurahan Jogotirto, hal tersebut dikarenakan kedua parameter tersebut mempunyai nilai berbanding terbalik.

Kata Kunci : Berbah, Mikrotremor, PGA

Abstract

One of the major earthquake disasters that shook the Indonesian region was the 2006 Jogja earthquake, and one of the Kapanewon with the heaviest damage was Kapanewon Berbah. This damage was caused by several factors, including geological conditions and because Kapanewon Berbah was passed by an opaque fault. The earthquake disaster itself is a disaster that cannot be predicted when it will occur. One way to minimize the impact is to carry out disaster management in the form of research to obtain a disaster vulnerability map that can be used as a reference in mitigation. The preparation of the map uses earthquake parameter data such as A_g , F_g , T_g , K_g , and PGA.

This research was conducted at 36 points spread throughout the Kapanewon Berbah area with the help of Lunitek digital seismic sensors. After collecting data in the field, the next step is data processing to obtain the desired earthquake parameters. The analysis used in calculating these parameters is using the Kanai empirical method and using the Yogyakarta earthquake reference in 2006.

The results obtained from this study were A_g values ranging from 1.621 – 15.810, F_g values ranging from 0.443 – 3.523, T_g values ranging from 0.284 – 2.259, K_g values ranging from 1.860 – 564.634, and PGA (gal) values ranging from 290.049 – 830.451 . From these values it can be concluded that the area that is vulnerable to earthquakes based on the ability of the rock to pass seismic is located in the Tegaltirto region. Areas with high vulnerability values usually have soft soil conditions, but based on the acceleration of ground movement, the highest vulnerability values are located in Jogotirto Village, this is because the two parameters have inversely proportional values.

Keywords : Berbah, Mikrotremor, PGA

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara yang rawan sekali terjadi bencana gempa bumi, hal ini dikarenakan Indonesia berada di jalur gempa paling aktif di dunia yaitu berada di jalur cincin api pasifik. Di Indonesia sendiri terjadi pertemuan tiga lempeng benua. Di sebelah selatan terdapat pertemuan Indo – Australia, di sebelah utara terdapat lempeng Eurasia dan Pasifik di sebelah timur (National Geographic, 2012)

Salah satu bencana gempa besar yang mengguncang kawasan Indonesia adalah gempa bumi 27 Mei 2006, di Kabupaten Bantul Yogyakarta. Tercatat gempa bumi di daerah tersebut tercatat gempa bumi berkekuatan 6,2 SR (USGS). Gempa tersebut terjadi dikarenakan adanya tumbukan antara lempeng Indo – Australia dengan lempeng Eurasia dan juga diakibatkan oleh adanya sesar opak. Gempa bumi tersebut tidak hanya menyebabkan kerusakan di daerah tersebut, namun juga berdampak di Kapanewon Berbah Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta.

Kapanewon Berbah merupakan wilayah dengan kerusakan dan korban paling parah yang terjadi di Kabupaten Sleman, dengan menelan korban sebanyak 83 korban tewas, 307 luka berat, 166 luka sedang, 1607 luka ringan. Selain itu gempa ini juga memakan kerusakan yang sangat besar diantaranya 2014 bangunan rata dengan tanah, 3628 rusak berat, 839 rusak sedang, 2058 rusak ringan (Direktorat Jendral Cipta Karya, KemenPUPR). Kerusakan ini disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya faktor magnitudo, kedalaman gempa, jarak hiposenter gempa bumi, durasi getaran, kondisi tanah dan bangunan, serta kondisi geologi setempat.

Gempa bumi sendiri merupakan bencana yang tidak dapat diperkirakan kapan datangnya, dimana lokasinya, dan berapa kekuatannya. Oleh sebab itu, salah satu cara yang dapat digunakan untuk meminimalisir dampak akibat tidak bisa diperkirakan bencana tersebut adalah dengan melakukan mitigasi bencana. Salah satu upaya mitigasi adalah dengan melakukan penelitian untuk memperkirakan daerah mana saja yang nantinya mengalami kerusakan paling parah, dan tindakan apa yang harus dilakukan. Penelitian yang dapat dilakukan adalah penelitian terhadap kondisi geologi dan jenis tanah, hal ini dikarenakan dua faktor tersebut merupakan faktor penting yang mempengaruhi tingkat kerusakan.

Dari kondisi geologi Kapanewon Berbah Kabupaten Sleman yang juga termasuk dalam daerah rawan gempa, maka dapat dilakukan identifikasi karakteristik dinamika tanah, karakteristik yang diidentifikasi adalah frekuensi natural dan amplifikasi, dan juga dilakukan perhitungan untuk mengetahui periode dominan tanah, ketebalan lapisan sedimen, nilai kerentanan seismik, dan nilai percepatan tanah maksimum akibat bencana gempa bumi yang pernah terjadi di lokasi penelitian tersebut, yang tujuan kedepannya dapat menjadi landasan yang digunakan untuk pembangunan di Kapanewon Berbah berbentuk peta kerentanan bencana gempa bumi di wilayah tersebut .

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disusun, permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimanakah karakteristik dinamika tanah berdasarkan nilai frekuensi dominan (F_g), amplifikasi maksimal (A_g), periode dominan (T_g), dan indeks kerentanan tanah (K_g) ?
2. Bagaimanakah percepatan tanah maksimum (PGA) di daerah Berbah, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta ?
3. Bagaimanakah peta kerentanan gempa di Kapanewon Berbah ?

1.3 Tujuan Penelitian

Melihat permasalahan yang telah disusun, maka tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menentukan karakteristik dinamika tanah berdasarkan nilai frekuensi dominan (F_g), amplifikasi maksimal (A_g), periode dominan (T_g), dan indeks kerentanan tanah (K_g)
2. Mengetahui percepatan tanah maksimum (PGA) di daerah Berbah, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta
3. Mengetahui peta kerentanan gempa di Kapanewon Berbah.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian untuk tugas akhir ini dilakukan di Berbah Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta.
2. *Software* yang digunakan dalam analisis data adalah Geopsy, dan metode yang akan digunakan dalam pengolahan data adalah menggunakan metode HVSR. Metode dan software ini nantinya akan digunakan untuk memperoleh amplifikasi dan frekuensi dominan yang nantinya akan menjadi parameter perhitungan nilai percepatan tanah dan juga indeks kerentanan tanah.
3. Percepatan tanah maksimum (PGA) dapat ditentukan menggunakan parameter periode dominan dan referensi gempa Yogyakarta pada 2006, dan dihitung dengan perhitungan empiris metode kanai.
4. Penelitian ini terbatas pada informasi berupa nilai periode dominan, indeks kerentanan tanah (K_g), nilai percepatan tanah maksimum (PGA), amplifikasi dan peta zonasi.
5. Alat yang digunakan untuk pengambilan data mikrotremor adalah *Lunitek Digital Seismic Sensors*, dengan jarak pengukuran $\pm$ per 1 Km sebanyak 37 titik.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari dilakukanya penelitian tugas akhir ini adalah, nantinya informasi yang ada dapat diggunakan untuk mengetahui karakteristik dinamika tanah daerah Kapanewon Berbah berdasarkan frekuensi dominan, faktor amplifikasi dan indeks kerentanan tanah, selain itu dapat diggunakan untuk memberikan informasi dan rekomendasi kepada Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) dan pihak – pihak yang terkait dengan mikrozonasi daerah rawan gempa bumi daerah Berbah, Yogyakarta.

Manfaat lain dari dilakukanya penelitian ini adalah, Hasil dari penelitian ini nantinya dapat dikembangkan dan dijadikan sebagai literatur bagi peneliti lain, dan juga dilakukanya penelitian ini diharapkan mampu memuhi tugas akhir peneliti sebagai mahasiswa teknik sipil dan juga dapat menambah wawasan dan pengalaman peniliti.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Bab I – Pendahuluan
Bab ini berisi mengenai latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan laporan penelitian.
2. Bab II – Tinjauan Pustaka
Bab ini berisi mengenai penelitian – penelitian yang dilakukan sebelumnya dan perbandingan dengan penelitian yang akan dilakukan.
3. Bab III – Landasan Teroi
Bab ini berisi mengenai teori – teori yang digunakan sebaga pendukung penelitian.
4. Bab IV – Metodologi Penelitian
Bab ini berisi mengenai lokasi penelitian, observasi data, alat yang diggunakan, serta metode dan tahapan yang dilakukan selama penelitian.

5. Bab V – Analisa Data dan Pembahasan

Bab ini berisi mengenai hasil yang didapat selama penelitian, hasil tersebut berkaitan dengan karakteristik dinamika tanah, mikrozonasi dan percepatan getaran maksimum di daerah Berbah, Yogyakarta.

6. Bab VI – Penutup dan saran

Bab ini berisi mengenai kesimpulan dan pembahasan dari hasil analisa data dan juga saran – saran mengenai hasil penelitian.

7. Lampiran

Lampiran berisi mengenai data – data yang digunakan selama penelitian dan juga gambar penunjang dalam penelitian.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Terdapat beberapa penelitian yang telah dilakukan terkait dengan metode penelitian yang akan dilakukan. Penelitian tersebut antara lain adalah Deviana Ambarsari (2017), Anggit Mas (2018), M.A. Ansary et al (2020).

2.1.1 Analisis Mikrotremor dengan Metode HVSR untuk Mikrozonasi Kabupaten Gunungkidul Yogyakarta

Deviana Ambarsari (2017) melakukan penelitian mengenai analisis mikrotremor dengan metode HVSR untuk mikrozonasi Kabupaten Gunungkidul Yogyakarta. Penelitian ini dilakukan karena adanya sejarah kegempaan di Yogyakarta yaitu pada tahun 2006 yang diakibatkan oleh adanya sesar opak, dan Kabupaten Gunungkidul merupakan Kabupaten yang dekat dengan sesar opak. Bencana gempa bumi sendiri adalah bencana yang menyebabkan beragam kerusakan yang diakibatkan oleh beberapa faktor. Salah satunya adalah kondisi geologi, kondisi ini sendiri adalah salah satu peranan penting yang mempengaruhi kerusakan di suatu tempat. Salah satu metode untuk mengetahui kondisi tersebut adalah dengan menggunakan metode HVSR.

Dilakukanya penelitian ini adalah untuk menentukan karakteristik dinamika tanah berdasarkan frekuensi natural (f_0), periode dominan (T_0), ketebalan sedimen (h), amplifikasi (A_0), dan indeks kerentanan tanah (K_g) akibat yang ditimbulkan gempa bumi, selain itu penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui mikrozonasi gempabumi dan menentukan nilai PGA di daerah Kabupaten gunung Kidul.

Dari penelitian tersebut didapatkan bahwa karakteristik dinamika tanah tersebar di sisi sebelah barat Kabupaten Gunungkidul, selain itu dari mikrozonasi didapat daerah yang memiliki tingkat kerusakan yang tinggi apabila terjadi

gempabumi adalag Kecamatan Playen, Kecamatan Paliyan, Kecamatan Wonosari. Daerah tersebut memiliki nilai percepatan getaran tanah maksimum (PGA) sebesar 393,74 gal sampai dengan lebih dari 551,68 gal.

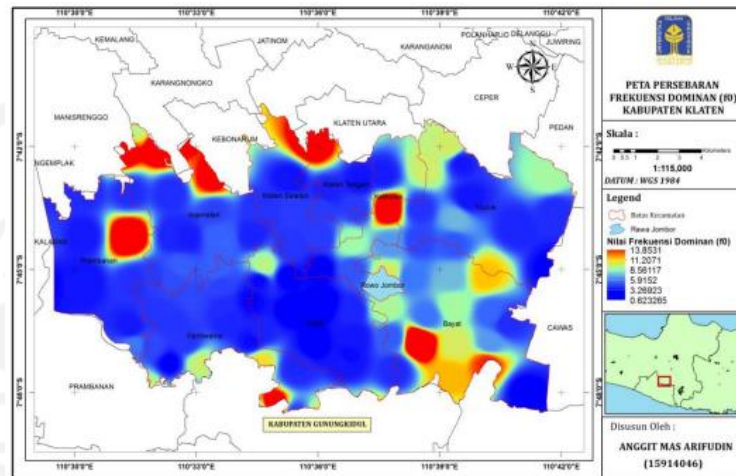
2.1.2 Karakteristik Situs dan Kerentanan Seismik di Kabupaten Klaten dengan Metode *Horizontal to Vertikal Spectral Ratio* (HVSr) dari Data Mikrotremor

Anggit Mas (2018) melakukan penelitian mengenai karakteristik situs dan kerentanan seismik di kabupaten Klaten dengan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr) dari dara mikrotremor. Penelitian ini dilakukan karena adanya zona subduksi aktif yang dapat mengakibatkan daerah tersebut mempunyai tingkat kegempaan tinggi. Salah satu bukti kegempaan tinggi yang terjadi adalah gempa bumi Yogyakarta 2006, dan klaten merupakan daerah yang mengalami kerusakan terparah di Jawa Tengah. Gempa sendiri merupakan bencana yang tidak terprediksi, salah satu cara untuk meminimalisir kerusakan yang terjadi adalah dengan melakukan mitigasi berupa mengetahui penyebab dan zona mana saja yang sangat rawan terhadap bencana ini.

Penelitian ini dilakukan di 9 kecamatan di wilayah Kabupaten Klaten, yang meliputi Kecamatan Gantiwarno, Wedi, Bayat, Kalikotes, Klaten Tengah, Klaten Selatan, Jogonalan, Prambanan, Trucuk dan wilayah Klaten yang berbatasan dengan Kabupaten Gunung Kidul. Alat yang diggunakan dalam pengambilan data mikrotremor dalam penelitian ini adalah *Digital Portable Seismograph* tipe TDL-303S. manfaat dari dilakukanya penelitian ini adalah untuk memberikan informasi mengenai tingkat kerawanan gempa, sebagai acuan dalam pembangunan infrastruktur, dan juga penelitian ini dapat diggunakan sebagai literatur untuk penelitian berikutnya.

Hasil dari penelitian ini adalah, distribusi nilai frekuensi dominan dengan nilai 0,623 – 13,853 Hz. Dari peta frekuensi dominan **Gambar 2.1** dapat dilihat bahwa nilai frekuensi dominan tertinggi terletak di daerah Kecamatan Jogonalan bagian utara, Klaten Tengah bagian utara, Prambanan bagian timur, Bayat bagian

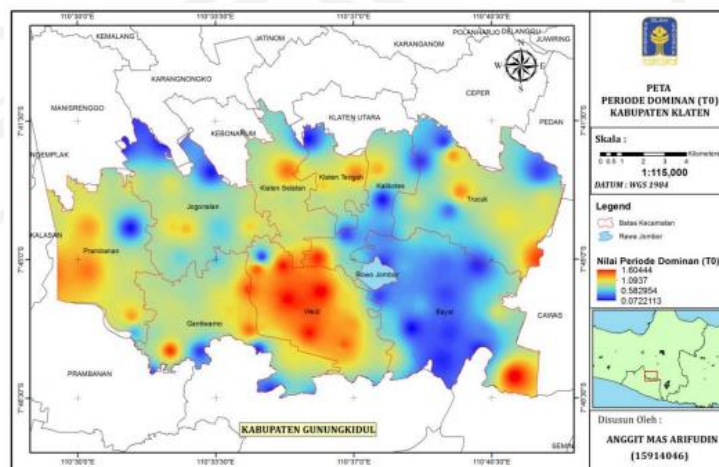
barat. Perbedaan nilai frekuensi dominan dipengaruhi oleh faktor keras lunaknya lapisan tanah, frekuensi dominan yang tinggi berhubungan dengan daerah yang memiliki ketebalan sedimen yang rendah.



Gambar 2.1 Peta Frekuensi Dominan Tanah (Fg)

Anggit Mas, 2018

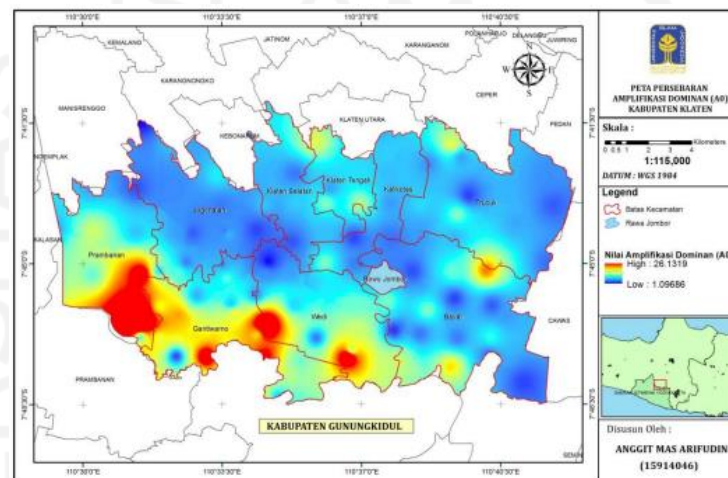
Distribusi nilai periode dominan berkisar antara 0,072 – 1,604 detik hal ini dapat dilihat pada **Gambar 2.2**. nilai periode dominan yang tinggi dipengaruhi oleh adanya lapisan sedimen dengan struktur yang lunak dan tebal begitupula sebaliknya. Daerah dengan periode dominan yang tinggi pada umumnya akan memiliki peluang kerusakan yang lebih tinggi pula.



Gambar 2.2 Peta Periode Dominan Tanah (Tg)

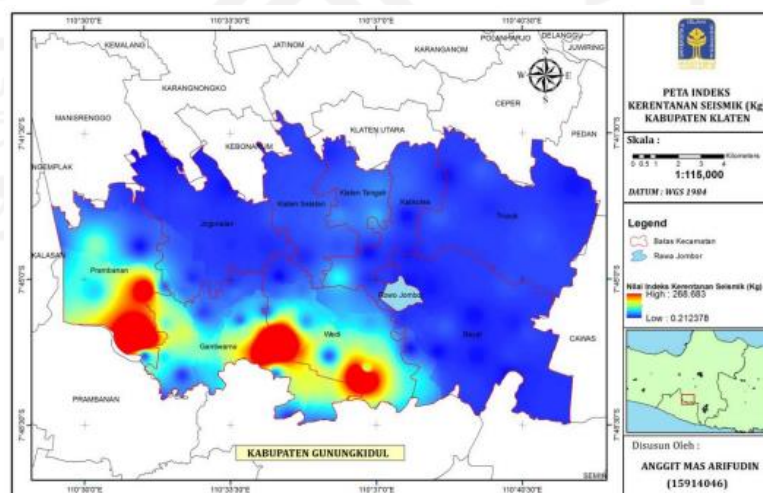
Anggit Mas, 2018

Distribusi nilai faktor amplifikasi berkisar antara 1,09 – 26,134, sebaran nilai faktor amplifikasi dapat dilihat pada **Gambar 2.3**. nilai faktor amplifikasi sendiri juga merupakan nilai puncak kurva HVSR. Hal ini menunjukkan adanya perubahan impedansi dari perlapisan, kemungkinan perubahan ini disebabkan oleh perubahan kekompakan batuan. Hal tersebut menjadikan daerah dengan faktor amplifikasi tinggi menjadi lebih rentan terhadap guncangan gempa bumi.



Gambar 2.3 Peta Faktor Amplifikasi Tanah (Ag)
Anggit Mas, 2018

Distribusi nilai indeks kerentanan seismik berkisar antara 0,212 – 270,184, persabaran indeks kereantanan seismik dapat dilihat pada **Gambar 2.4**.

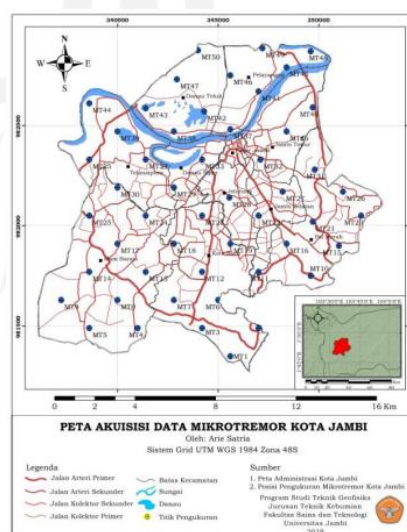


Gambar 2.4 Peta Indeks Kerentanan Seismik (Kg)
Anggit Mas, 2018

Selain itu hasil yang didapat dari penelitian ini adalah karakteristik dinamika tanag yang ditunjukkan oleh kecepatan gelombang geser adalag sebesar 130 – 570,83 m/s. Rata - rata hasil Vs30 mikrotremor dengan Vs30 USGS adalah sebesar 1,165. Nilai PGA yang dihitung menggunakan metode kanai adalah sebesar 123,324 – 819,353 gal atau 0,13 – 0,84 g.

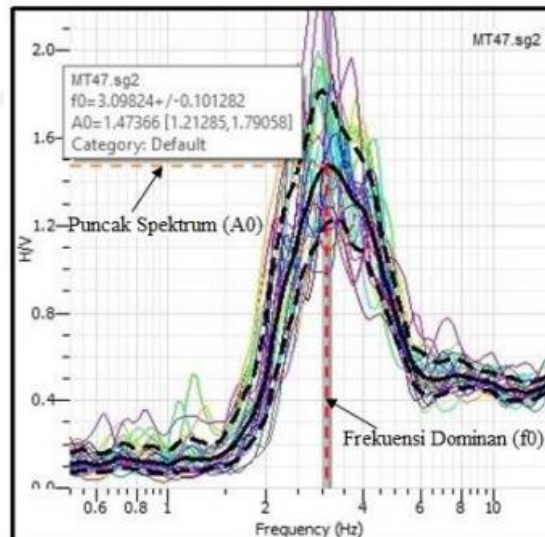
2.1.3 Analisis Mikrotremor Berdasarkan Metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio untuk Mengetahui Indeks Kerentanan Seismik Kota Jambi

Arie Satria dkk (2020) melakukan penelitian mengenai analisis mikrotremor berdasarkan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* untuk mengetahui indeks kerentanan seismik Kota Jambi. Latar belakang dilakukanya penelitian ini karena Kota jambi sendiri merupakan wilayah yang sering terjadi gempa bumi. Namun kerap terjadi kerusakan di wilayah tersebut apabila terjadi bencana gempa bumi, hal ini dikarenakan kerusakan yang terjadi akibat pengaruh kondisi geologis setempat. Dalam upaya mitigasi penelitian ini dilakukan, metode yang diggunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan metode HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*). Alat yang diggunakan adalah seismograf MAE A6000S, dengan jarak antara titik pengukuran adalah 2,8 km **Gambar 2.5**.



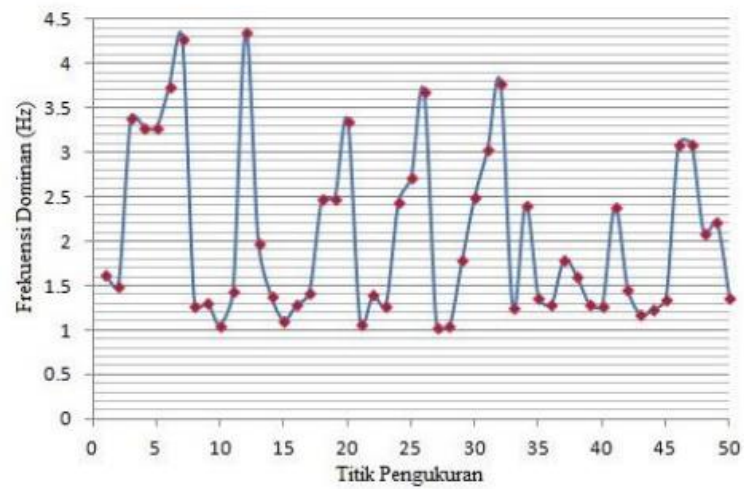
Gambar 2.5 Peta Akuisisi Data Mikrotremor
Arie Satria dkk, 2020

Dari hasil pengambilan data di lapangan sebanyak 50 titik, diperoleh hasil akhir berupa kurva. Dalam kurva tersebut terdapat nilai frekuensi dominan tanah (f_0), faktor amplifikasi (A_0), dan standar deviasi (σ) **Gambar 2.6**.



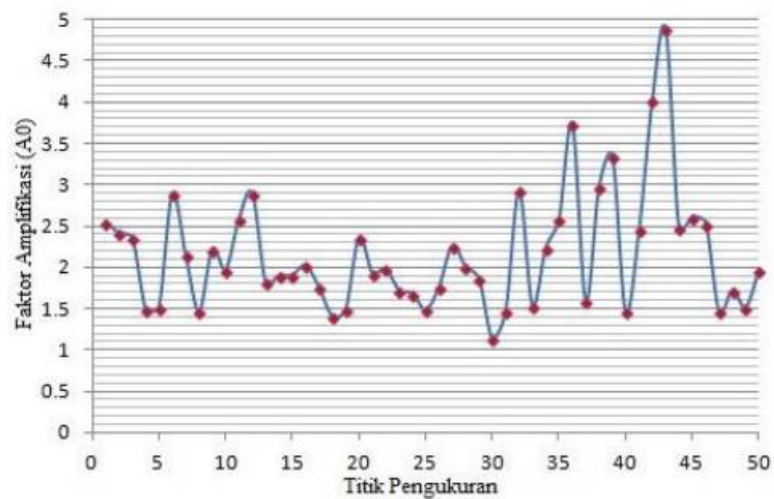
Gambar 2.6 Kurva H/V tipe clear peak
Arie Satria dkk, 2020

Dari grafik tersebut dapat dilihat nilai frekuensi dominan (F_0) berkisar antara 1,04 – 4,35 Hz **Gambar 2.7**. faktor amplifikasi (A_0) mempunyai rentang nilai 1,13 – 4,88 **Gambar 2.8**. dari kedua hasil nilai tersebut maka nilai kerentanan seismik (k_g) dapat diketahui yaitu sebesar 0,51 – 20,18 **Gambar 2.9**. Setelah diketahui kisaran nilai diatas dapat diketahui peta distribusi indeks kerentanan seismik **Gambar 2.10**.



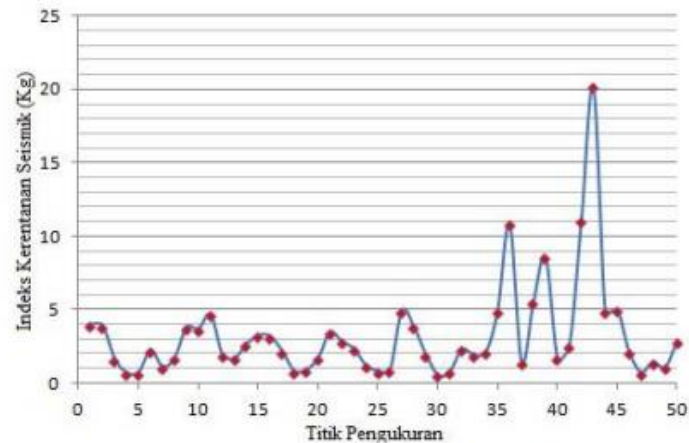
Gambar 2.7 Nilai Frekuensi Dominan (F_o) di Kota Jambi

Arie Satria dkk, 2020

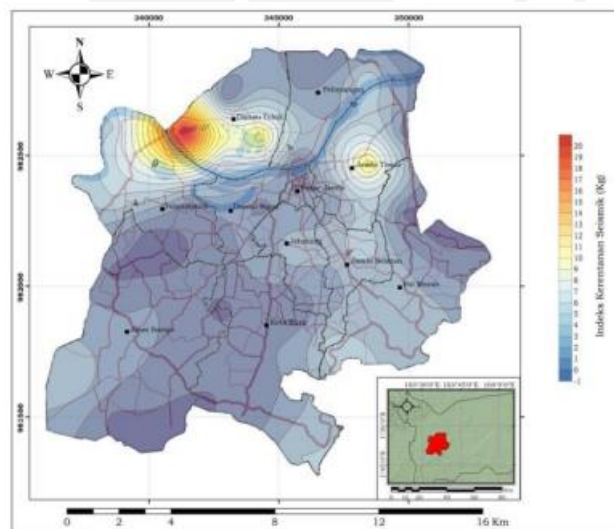


Gambar 2.8 Nilai Faktor Amplifikasi (A_o) di Kota Jambi

Arie Satria dkk, 2020



Gambar 2.9 Nilai Indeks Kerentanan Seismik (Kg) di Kota Jambi
Arie Satria dkk, 2020



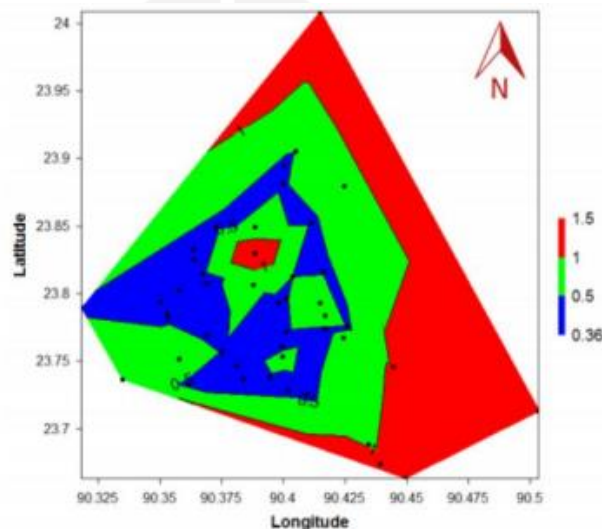
Gambar 2.10 Peta Distribusi Indeks Kerentanan Seismik (Kg) Kota Jambi
Arie Satria dkk, 2020

2.1.4 Penilaian Indeks Kerentanan Gempa Area Jaringan Gas di Kota Dhaka Menggunakan Pengukuran Mikrotremor

M.A. Ansary et al (2020) melakukan penelitian mengenai penilaian indeks kerentanan gempa area jaringan gas di Kota Dhaka menggunakan pengukuran mikrotremor. Wilayah Dhaka berada di Bangladesh, lokasi penelitian ini dipilih karena wilayah tersebut termasuk salah satu wilayah yang paling aktif secara tektonik di dunia, selain itu wilayah ini dilewati oleh sesar aktif. Bencana gempa

bumi sendiri memiliki kemungkinan kecil untuk dicegah, namun bisa dilukan mitigasi bencana. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai indeks kerentanan seismik (K_g), frekuensi dominan, amplifikasi menggunakan rasio spektral H/V mikrotremor.

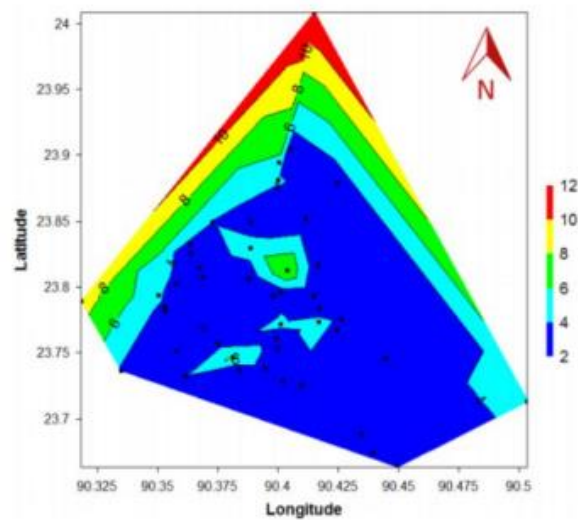
Penelitian ini dilakukan di 58 titik, dan setiap titik dilakukan perekaman selama 30 menit, hal ini berdasarkan rekomendasi dari SESAME. **Gambar 2.11** menunjukkan distribusi frekuensi dasar (F_0) dimana nilai F_0 relatif seragam, berkisar antara 0,36 – 1,5 Hz. Warna merah pada gambar menunjukkan frekuensi tertinggi, sedangkan biru untuk yang terendah.



Gambar 2.11 Distribusi Frekuensi Dasar (F_0) di Daerah Penelitian

M. A Ansary et al, 2020

Gambar 2.12 menunjukkan faktor amplifikasi (A_0) atau bisa disebut dengan puncak rasio spektral H/V. nilai A_0 di lokasi penelitian berkisar antara 2,05 – 12,1, warna merah menunjukkan nilai A_0 tertinggi dan warna biru menunjukkan nilai A_0 terendah.



Gambar 2.12 Distribusi Faktor Amplifikasi (A_o) di Daerah Penelitian
M. A. Ansary et al, 2020

2.2 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

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

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

Peneliti	Deviana Ambarsari	Anggit Mas	Arie Satria dkk	M.A. Ansary et al	Diinaa R
Tahun	2017	2018	2020	2020	2022
Judul Penelitian	Analisis Mikrotremor dengan Metode HVSR untuk Mikrozonasi Kabupaten Gunungkidul Yogyakarta	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	Penilaian Indeks Kerentanan Gempa Area Jaringan Gas di Kota Dhaka Menggunakan Pengukuran Mikrotremor	Penyusunan Peta Kerentanan Gempa di Berbah Kabupaten Sleman Menggunakan Metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR) Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor di Lapangan
Tujuan Penelitian	1. Untuk menentukan karakteristik dinamika tanah berdasarkan frekuensi natural (f_0), periode dominan (T_0), ketebalan sedimen (h), amplifikasi	1. Membuat peta distribusi nilai faktor amplifikasi sinyal, frekuensi dominan, dan periode dominan di kabupaten klaten bagian selatan	1. Untuk mengathui indeks kerentanan seismik (kg) Kota Jambi 2. Untuk mengetahui dan memperoleh peta zona rawan gempabumi berdasarkan indeks	Untuk mengevaluasi indeks kerentanan seismik (Kg) menggunakan rasio spektral H/V mikrotremor dalam hal frekuensi dominan dan amplifikasi yang sesuai	1. Menentukan karakteristik dinamika tanah berdasarkan nilai frekuensi natural (f_0), ketebalan sedimen (h), periode dominan (T_0), amplifikasi (A_0),

	<p>(Ao), dan indeks kerentanan tanah (Kg) akibat yang ditimbulkan gempabumi</p> <p>2. Untuk mengetahui mikrozonasi gempabumi dan menentukan nilai percepatan getaran tanah maksimum (PGA) di daerah kabupaten Gunungkidul, Yogyakarta.</p>	<p>berdasarkan data mikrotremor</p> <p>2. Membuat peta distribusi nilai indeks kerentanan seismik (kg), nilai percepatan tanah puncak (PGA), nilai karakteristik dinamika tanah dalam bentuk kecepatan gelombang geser (vs) dan nilai regangan geser tanah (Y)</p> <p>3. Mengetahui tingkat kerentanan seismik di Kabupaten Sleman</p>	<p>kerentanan seismik (kg) di Kota Jambi</p>	<p>dalam wilayah jaringan gas Kota Dhaka</p>	<p>dan indeks kerentanan tanah (Kg).</p> <p>2. Mengetahui percepatan tanah maksimum (PGA) di daerah Berbah, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta</p>
--	--	--	--	--	--

Hasil Penelitian	<ol style="list-style-type: none"> 1. Karakteristik dinamika tanah berdasarkan frekuensi natural, periode dominan, ketebalan sedimen (h), amplifikasi, dan indeks kerentanan tanah (kg) tersebar di sisi sebelah barat kabupaten gunung kidul 2. Mikrozonasi berdasarkan penelitian dapat diketahui kecamatan yang memiliki kerusakan paling tinggi apabila terjadi bencana gempa bumi 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Distribusi nilai frekuensi dominan, distribusi nilai periode dominan, distribusi nilai faktor amplifikasi, distribusi nilai indeks kerentanan seismik 2. Karakteristik dinamika tanah 3. Rasio perbandingan hasil Vs30 mikrotremor dengan Vs30 USGS 4. Karakteristik dinamik tanah yang ditunjukkan oleh nilai regangan geser dengan metode nakamura 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mengetahui indeks kerentanan seismik (kg) Kota Jambi 2. Mengetahui dan memperoleh peta zona rawan gempabumi berdasarkan indeks kerentanan seismik (kg) di Kota Jambi 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Distribusi frekuensi dasar (fo) di daerah penelitian 2. Distribusi faktor amplifikasi (Ao) di daerah penelitian 3. Peta kontur nilai Kg berdasarkan teknik kecepatan gelombang geser batuan dasar 800 m/s di daerah penelitian 4. Distribusi area kerusakan berdasarkan indeks kerentanan (Kg) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. karakteristik dinamika tanah berdasarkan nilai frekuensi natural (fo), ketebalan sedimen (h), periode dominan (To), amplifikasi (Ao), dan indeks kerentanan tanah (Kg). 2. percepatan tanah maksimum (PGA) di daerah Berbah, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 3. Peta kerentanan gempa bumi di Berbah
-------------------------	--	--	--	--	--

		<p>5. Nilai PGA berdasar perhitungan dengan metode kanai</p> <p>6. Regangan geser tanah menurut rumusan nakamura dipengaruhi oleh besarnya nilai indeks kerentanan seismik dan besarnya PGA di batuan dasar di titik tertentu dan berbanding lurus dengan nilai indeks kerentanan seismik dan nilai PGA</p> <p>7. Daerah bagian selatan wilayah kabupaten klaten mempunyai tingkat kerentanan seismik</p>		
--	--	---	--	--

		yang relatif lebih tinggi sesuai dengan kondisi kerusakan bangunan akibat gempa jogja mei 2006			
--	--	--	--	--	--

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Kondisi Geologi

Geologi merupakan salah satu cabang keilmuan kebumihan yang didalamnya mempelajari segala sesuatu mengenai bumi. Sedangkan kondisi geologi sendiri dapat diartikan sebagai kondisi atau keadaan mengenai geologi atau bumi itu sendiri.

3.1.1 Kondisi Geologi Berbah

Kapanewon Berbah merupakan Kapanewon yang berada di wilayah administrasi Kabupaten Sleman, dimana wilayah tersebut menjadi lokasi penelitian. Kapanewon Berbah sendiri merupakan kapanewon yang dilewati oleh Sungai Opak, Sungai Opak sendiri mulai dikenal banyak kalangan akibat adanya gempa bumi 2006 di Yogyakarta. Hal tersebut dikarenakan banyak pakar yang berpendapat bahwa gempa tersebut disebabkan oleh Sesar Opak. Dengan penyebab tersebut menandakan bahwa daerah yang dilaluinya termasuk Kapanewon Berbah aktif secara tektonik. Menurut Rahardjo dr. (1955) kondisi geologi lokasi penelitian terdiri atas perselingan breksi-tuf, breksi batu apung, tuf dasit dan tuf andesit, serta batu lempeng tufan yang termasuk formasi semilir (Tmse) **Gambar 3.1.**

Gempa Bumi

Pengertian Gempa Bumi

Gempa bumi merupakan salah satu bencana atau peristiwa yang disebabkan oleh beberapa faktor. Faktor – faktor tersebut tektonik atau gempa yang disebabkan oleh pergerakan lempeng tektonik, aktivitas sesar, ada pula yang disebabkan oleh letusan gunung berapi dengan gempa vulkanik dan gempa runtuh yang disebabkan oleh runtuhnya batuan.

3.2 Gempa Bumi

3.2.1 Pengertian Gempa Bumi

Gempa bumi merupakan salah satu bencana atau peristiwa bergetarnya bumi yang disebabkan oleh beberapa faktor. Faktor – faktor tersebut diantaranya gempa tektonik atau gempa yang disebabkan oleh pergerakan lempeng bumi dan adanya aktivitas sesar, ada pula yang disebabkan oleh letusan gunung berapi atau disebut dengan gempa vulkanik dan gempa runtuh yang disebabkan oleh runtuhnya suatu infrastruktur. Dari faktor – faktor diatas dapat disimpulkan bahwa gempa bumi terjadi akibat terlepasnya energi energi yang berada di dalam bumi, yang kemudian oleh gelombang gempa bumi energi tersebut dirambatkan ke permukaan bumi dan terjadilah getaran gempa bumi.

Seorang seismolog asal Amerika mengemukakan sebuah teori mengenai gempa bumi, teori tersebut kita kenal dengan *Teori Elastic Rebound*. Berdasarkan teori tersebut gempa bumi merupakan salah satu gejala alam yang disebabkan oleh pelepasan energi regangan elastis batuan. Pelepasan ini sendiri disebabkan oleh deformasi batuan yang terjadi akibat tekanan dan regangan pada lapisan bumi. Tekanan atau regangan yang terjadi secara terus menerus akan menyebabkan daya dukung batuan mencapai batas maksimalnya yang dapat menyebabkan patahan secara tiba tiba.

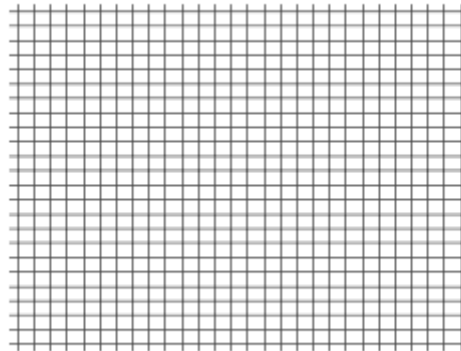
3.2.2 Parameter Gempa Bumi

Parameter gempa bumi adalah hasil pengolahan dan analisis berdasarkan data dan informasi yang ada. (Magma Indonesia, Kemestrian ESDM) data atau informasi yang dijadikan dasar untuk analisis adalah sebagai berikut :

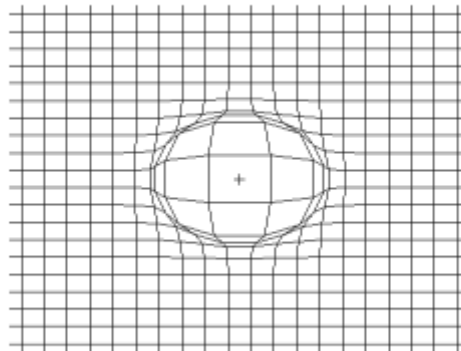
1. Gelombang P

Gelombang P **Gambar 3.2 dan Gambar 3.3** atau disebut juga dengan gelombang primer adalah salah satu jenis gelombang yang ditimbulkan oleh gempa bumi. Gelombang ini memiliki kecepatan paling tinggi dan gelombang yang pertama kali terdeteksi pada pengukuran seismik. Kecepatan gelombang P bergantung pada nilai k (modulus inkompresibilitas) dan μ (modulus geser), atau bisa juga dilihat pada **Persamaan 3.1** berikut :

$$v_p = \sqrt{\frac{k + \frac{3}{2}\mu}{\rho}} \quad (3.1)$$



Gambar 3.2 Gelombang P Datar
Sekolah Tinggi Teknologi Bandung



Gambar 3.3 Representasi Penjalaran Gelombang P pada Sebuah Grid 2 Dimensi (Bentuk Empiris)
Sekolah Tinggi Teknologi Bandung

2. Gelombang S

Gelombang S bisa disebut juga dengan gelombang sekunder. Gelombang ini merupakan gelombang transversal dimana gerak partikelnya terletak tegak lurus dengan arah penjalarannya berbeda dengan gelombang primer yang searah arah penjalarannya **Gambar 3.5**. Gelombang ini terdeteksi oleh stasiun pengukuran seismik setelah gelombang primer hal ini dikarenakan kecepatan gelombang sekunder yang lebih kecil. Rumus kecepatan untuk gelombang S dapat dilihat pada **Persamaan 3.4** berikut :

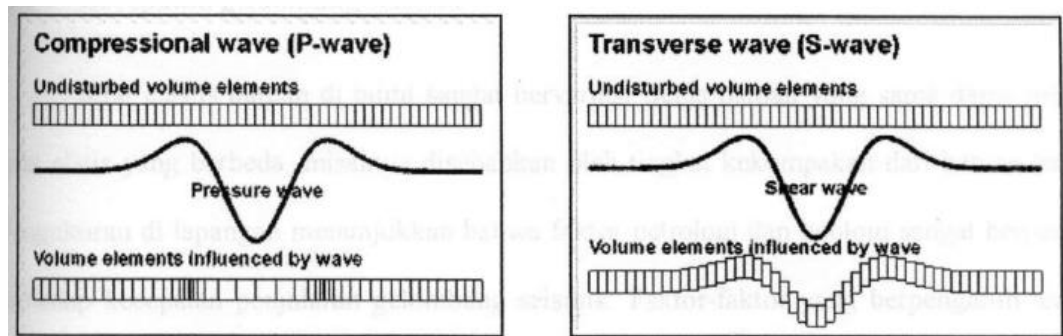
$$v_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (3.2)$$

Dimana :

v_s = Kecepatan gelombang S (m/s)

μ = Modulus geser (N/m^2)

ρ = Kerapatan Material (kg/m^3)



Gambar 3.4 Kiri : Arah Gerak Gelombang P, Kanan : Arah Gerak Gelombang S

Robertson Research International Ltd. 1997

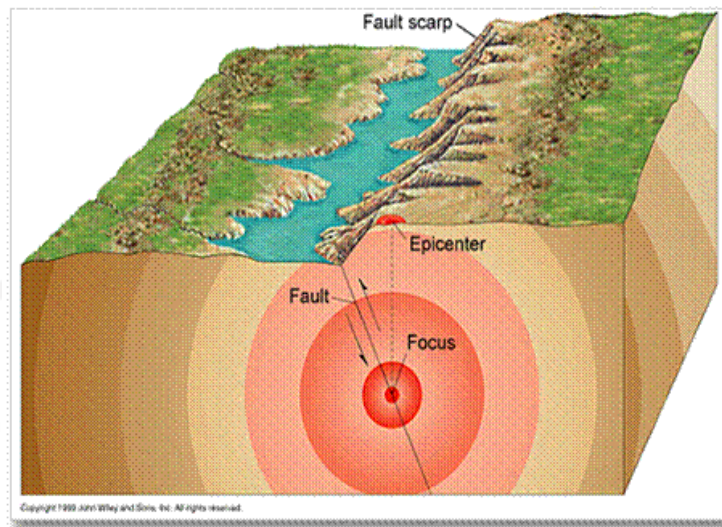
3. Episenter gempa bumi

Episenter adalah titik di permukaan bumi yang berasal dari hasil proyeksi hiposenter. Wilayah yang lokasinya berdekatan dengan episenter pada umumnya memiliki kemungkinan terjadi gempa bumi dengan kekuatan yang besar. Selain itu wilayah tersebut berpotensi mengalami kerusakan yang besar pula hal ini dapat disebut *macroseisme*.

4. Hiposenter gempa bumi

Hiposenter **Gambar 3.5** gempa bumi dapat pula disebut dengan pusat gempa bumi. Memiliki pengertian tempat terjadinya pergesaran yang dapat menimbulkan gempa bumi, berdasarkan kedalaman hiposenter (Howell 1969) membagi jenis jenis gempa bumi sebagai berikut :

- a. Gempabumi dangkal mempunyai kedalaman hiposenter < 70 km
- b. Gempabumi sedang mempunyai kedalaman hiposenter $70 - 300$ km
- c. Gempabumi dalam mempunyai kedalaman hiposenter $300 - 700$ km



Gambar 3.5 Titik Hiposenter pada Lapisan Bumi

BMKG, 2009

5. Kedalaman

Kedalaman gempa bumi dapat diklasifikasikan berdasarkan kedalaman hiposentrumnya, berikut merupakan klasifikasinya (BPBD NTB 2005) :

a. Gempa bumi dalam

Gempa ini berada pada kedalaman > 300 km di dalam kerak bumi. Gempa jenis ini tidak menimbulkan dampak yang terlalu besar atau dapat dikatakan tidak berbahaya.

b. Gempa bumi menengah

Gempa ini berada pada kedalaman 60 km – 300 km di dalam kerak bumi, jenis gempa ini dapat menimbulkan kerusakan ringan dan getarannya akan lebih terasa di permukaan dibandingkan gempa bumi menengah.

c. Gempa bumi dangkal

Gempa ini berada pada kedalaman < 60 km dari permukaan bumi, karena letaknya yang dekat dengan permukaan gempa ini relatif menimbulkan kerusakan yang besar dan semakin terasa daripada 2 jenis gempa sebelumnya.

6. Magnitude

Magnitude dapat diartikan sebagai besaran atau ukuran gempa bumi yang menggambarkan besarnya energi yang disebabkan oleh gempa, ukuran ini

muncul berasal dari alat pengukur gempa atau seismograf. Skala yang sering digunakan untuk menggambarkan besaran gempa adalah SR (Skala Richter). Magnitudo sendiri dapat dihitung menggunakan **Persamaan 3.3** berikut :

$$M = \log \frac{a}{T} + f(\Delta, h) + C_s + C_R \quad (3.3)$$

Dimana :

M = magnitudo

a = amplitudo gerakan tanag

T = periode gelombang

Δ = jarak pusat gempa atau episenter

h = kedalaman gempa

C_s dan C_R = faktor koreksi yang bergantung pada kondisi lokal dan regional

7. Intensitas gempa bumi

Intensitas gempa bumi merupakan parameter yang diggunakan untuk memperkirakan besarnya goncangan dan seberapa besar dampak kerusakanya di lokasi tempa terjadinya gempa bumi. Besaran intensitas gempa bumi biasanya dinyatakan dalam skala intensitas gempa bumi (SIG), berikut merupakan skala intensitas gempa bumi dan deskripsinya :

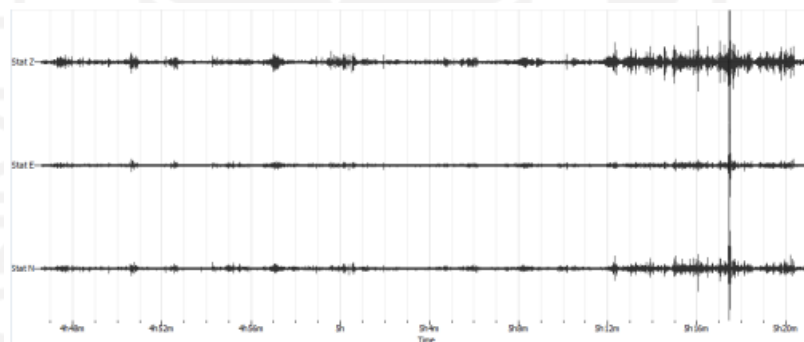
Tabel 3.1 Intensitas Gempa Bumi skala MMI

Skala SIG BMKG	Warna	Deskripsi Sederhana	Deskripsi Rinci	Skala MMI	PGA (gal)
I	Putih	Tidak dirasakan (<i>not felt</i>)	Tidak dirasakan atau dirasakan hanya oleh beberapa orang tetapi terekam oleh alat.	I-II	<2,9
II	Hijau	Dirasakan (<i>felt</i>)	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 (<i>slight damage</i>)	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 (<i>moderate damage</i>)	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 (<i>heavy damage</i>)	Sebagian besar dinding bangunan permanen roboh. Struktur bangunan mengalami kerusakan berat. Rel kereta api melengkung.	IX- XII	>564

BMKG 2016

3.3 Mikrotremor

Mikrotremor atau sering disebut dengan *ambient vibration* adalah getaran tanah yang bersumber dari alam seperti angin ataupun guncangan dan gelombang, selain itu getaran tersebut juga bisa bersumber dari manusia seperti lalu lintas, aktivitas industri dan lain sebagainya. (Nakamura,2000) menjelaskan bahwasanya pengukuran mikrotremor digunakan untuk mengetahui sifat getaran tanah, hal ini dikarenakan mikrotremor sangat berkaitan dengan kondisi struktur tanah dan keadaan di bawah permukaan tanah. Pada saat melakukan survei mikrotremor perlu diperhatikan bahwa salah satu titik lokasi penelitian harus memiliki struktur batuan keras (*hard rock*). Hal ini perlu diperhatikan agar diperoleh respon site terhadap mikrotremor yang berasal dari perbandingan rasio spektrum *hard rock* dan titik penelitian lain. Berikut dapat dilihat contoh sinyal mikrotremor yang diperoleh dari pembacaan seismograf **Gambar 3.6**.



Gambar 3.6 Contoh Data Mikrotremor Tiga Komponen di Kecamatan Gantiwarno

Karakteristik Situs dan Kerentanan Seismik di Kabupaten Klaten dengan Metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HSVR) dari Data Mikrotremor, Anggit Mas 2018

3.4 Mikrozonasi

Gempa bumi merupakan bencana yang kerap terjadi di Indonesia, dampak akibat bencana tersebut sudah banyak terlihat. Oleh sebab itu perlu diadakan pemetaan untuk mengetahui potensi gempa yang ada di permukaan. Peta tersebut dapat berupa kondisi tanah ataupun jenis tanah yang berada di permukaan. *Output* dari pemetaan tersebut adalah untuk mengetahui zona rawan gempa dan juga daerah patahannya hal ini berguna untuk pedoman ketika akan dibangun sebuah

infrastruktur diatasnya. Alasan tersebutlah yang menjadikan mikrozonasi sangat dibutuhkan untuk mitigasi bencana dan juga pedoman pembangunan.

Mikrozonasi adalah cara untuk membagi kelompok zona berdasarkan sebuah tujuan dan kriteria tertentu. Mikrozonasi yang dimaksudkan untuk tujuan di atas adalah mikrozonasi kerentanan tanah, pembagian kelompok zona berdasarkan tujuan tersebut mengacu pada parameter di yang berasal dari alat pendeteksi getaran yang berada di bumi. Parameter yang dihasilkan dari alat tersebut seperti getaran tanah, faktor amplifikasi dan periode doimanan, nilai – nilai tersebut yang kemudian di perhitungkan untuk pembuatan peta kerentanan wilayah dalam upaya mitigasi dan pedoman pembangunan.

3.5 Uji Outlier

Outlier merupakan data observasi yang didalamnya muncul nilai – nilai yang jauh berbeda dengan nilai lain dalam kelompoknya. *Outlier* dalam penelitian yang dalam prosesnya memang tidak dibutuhkan harus mendapatkan perlakuan khusus agar tidak merusak data yang sudah ada. *Outlier* dalam penelitian dapat di deteksi dengan menentukan nilai batas dengan cara mengolah data penelitian ke dalam skor standardized atau dapat disebut Z-score, nilai syarat Z-score yang digunakan sebagai batas adalah kurang dari -3 atau lebih dari +3 (Hairunnisah, 2013). Berikut merupakan persamaan yang dapat diggunakan untuk uji *outlier*.

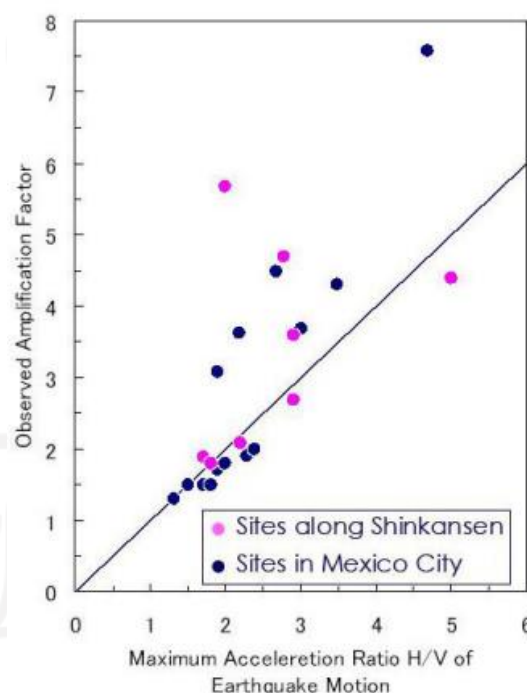
$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n} \quad (3.4)$$

$$S. \text{ Deviasi} = \sqrt{\frac{\sum (Xi - \bar{X})^2}{n}} \quad (3.5)$$

$$Z = \frac{\bar{X} - \text{Mean}}{S. \text{ Deviasi}} \quad (3.6)$$

3.6 Metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr)

Metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) merupakan metode yang dikembangkan oleh Yutaka Nakamura, metode ini dapat digunakan untuk mengetahui karakteristik dinamika lapisan permukaan tanah. Nakamura sendiri memperkenalkan metode ini berdasarkan pengalamannya dalam penelitian mengenai perambatan gelombang geser akibat peristiwa gempa, (Nakamura, 1989) berpendapat bahwa *ambient vibrations* yang di aplikasinya ke metode HVSr dapat dipergunakan untuk menganalisis frekuensi alami, dan faktor amplifikasi, berikut adalah gambar kurva HVSr dari penelitian Nakamura dan Saito **Gambar 3.7**. (Nakamura, 1989) menganalisis bahwa perbandingan nilai puncak spektral horizontal dan vertikal (H/V) mempunyai kesamaan dengan periode natural dan faktor amplifikasi dari lapisan tanah.



Gambar 3.7 Perbandingan nilai faktor amplifikasi hasil analisa HVSr

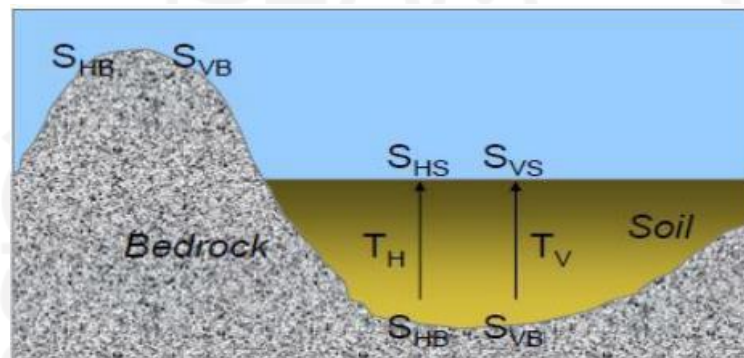
Nakamura dan Saito, 1983

Nakamura (2000) melakukan pengamatan mengenai gerakan seismik di permukaan tanah, dimana gerakan horizontal dan vertikal yang menghasilkan faktor amplifikasi bergesekan dengan batuan yang berada pada cekungan. Faktor

amplifikasi ini dilambangkan dengan T_H dan T_V , untuk ilustrasi dapat dilihat pada **Gambar 3.5.** untuk memperoleh faktor amplifikasi horizontal (T_H) dan faktor amplifikasi vertikal (T_V) dapat dicari dengan **Persamaan 3.7 dan 3.8** di bawah

$$T_H = \frac{S_{HS}}{S_{HB}} \quad (3.7)$$

$$T_V = \frac{S_{VS}}{S_{VB}} \quad (3.8)$$



Gambar 3.8 Ilustrasi Gerakan Horizontal dan Vertikal pada Batuan di Cekungan

Data yang sering digunakan untuk analisis metode HVSR adalah data mikrotremor. Data – data tersebut dapat diperoleh dengan pengamatan langsung di lapangan, pada pengukuran tersebut komponen yang diamati berdasarkan gagasan Nakamura adalah komponen horizontal utara – selatan dan komponen horizontal barat – timur, berikut merupakan **Persamaan 3.9** yang digunakan sebagai perhitungan rasio spektrum pada perhitungan metode HVSR.

$$HVSR = T_{SITE} = \frac{\sqrt{(S_{North-South})^2 + (S_{East-west})^2}}{S_{VS}} \quad (3.9)$$

3.7 Frekuensi Natural (F_0)

Frekuensi natural (F_0) atau bisa disebut dengan frekuensi dominan adalah banyaknya gelombang yang terjadi pada suatu wilayah yang sering muncul, nilai ini dapat dicari dengan analisis sumbu puncak horizontal pada kurva H/V. Nilai dari frekuensi natural digunakan untuk mengetahui jenis dan karakteristik lapisan

tanah maupun batuan. (Mucciarelli et al, 2008) Nilai frekuensi natural pada suatu wilayah besarnya dipengaruhi oleh ketebalan lapisan lapuk (H) dan kecepatan di bawah permukaan (Vs), hal ini dapat disimpulkan bahwa wilayah yang memiliki lapisan sedimen yang tebal cenderung mempunyai nilai frekuensi natural yang kecil. Untuk mengetahui klasifikasi lengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 3.2 Klasifikasi Nilai Frekuensi Natural Berdasarkan Klasifikasi Kanai

Klasifikasi Tanah		Frekuensi Dominan (Hz)	Klasifikasi Tanah Kanai	Deskripsi Tanah
Tipe	Jenis			
I	I	< 2,5	Batuan alluvial yang terbentuk dari sedimentasi delta. Top soil, lumpur kedalaman 30m atau lebih	Ketebalan permukaan sedimen sangat tebal
II	I	2,5 – 4	Batuan alluvial dengan ketebalan sedimen >5m. terdiri dari <i>sandy-gravel</i> , <i>sandy hard clay</i> , <i>loam</i>	Ketebalan permukaan sedimen masuk dalam kategori tebal, sekitar 10 – 30 m
III	I	4 – 10	Batuan alluvial dengan ketebalan sedimen >5m. terdiri dari <i>sandy-gravel</i> , <i>sandy hard clay</i> , <i>loam</i>	Ketebalan permukaan sedimen masuk dalam kategori menengah, 5 – 10 m
IV	II	6,667 - 20	Batuan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan <i>hard sandy</i> , <i>gravel</i>	Ketebalan permukaan sedimen tipis didominasi batuan keras

Arifin dkk, 2005

3.8 Periode Dominan (T_0)

Periode dominan (T_0) adalah waktu yang diperlukan oleh gelombang mikrotremor untuk merambat melewati lapisan endapan di permukaan. Nilai dari periode dominan dapat digunakan untuk menganalisis karakteristik pada lapisan di lokasi penelitian menggunakan **Persamaan 3.10** dibawah dan klasifikasi tertentu.

$$T_0 = \frac{1}{F_0} \quad (3.10)$$

Tabel 3.3 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Periode Dominan Menurut Kanai

Klasifikasi Tanah Kanai	Periode Dominan (T_0) Detik	Keterangan
Jenis I	< 0,25	Batuan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan <i>hard sandy, gravel</i> .
Jenis II	0,25 – 0,5	Batuan alluvial dengan ketebalan 5 m. terdiri dari <i>sandy – gravel, sandy hard clay, loam</i> .
Jenis III	0,5 – 0,75	Batuan alluvial, hampir sama dengan jenis II, hanya dibedakan oleh adanya formasi <i>bluff</i> .
Jenis IV	Lebih dari 0,75	Batuan alluvial, yang terbentuk dari sedimentasi <i>delta, top soil, lumpur, dll</i> . Dengan kedalaman 30 m atau lebih

Sari Pratiwi Dkk, 2017

3.9 Amplifikasi Maksimal (A_g)

Amplifikasi adalah gelombang seismik yang mengalami perbesaran pada saat merambat pada suatu medium ke medium lain yang lebih lunak. Semakin besar perbedaan pada medium maka gelombang akan mengalami perbesaran yang semakin besar pula (Arifin dkk, 2014). Atau dengan kata lain amplifikasi dapat diartikan dengan perubahan perbesaran gelombang seismik yang diakibatkan oleh perbedaan dari lapisan medium rambatnya. Nilai besarnya perubahan tersebut tidak hanya ditentukan oleh faktor lapisan saja namun nilai tersebut juga dapat bertambah

apabila lapisan tersebut mengalami deformasi yang disebabkan oleh pelapukan, pelipatan, dan pesesaran, atau dengan kata lain lapisan mengalami perubahan sifatnya. (Ratdomopurbo, 2008) nilai faktor amplifikasi mengelompokkan menjadi empat zona, yang dapat dilihat pada **Tabel 3.4**.

Tabel 3.4 Klasifikasi Nilai Amplifikasi

Zona	Klasifikasi	Nilai Amplifikasi
1	Rendah	$A < 3$
2	Sedang	$3 \leq A < 6$
3	Tinggi	$6 \leq A < 9$
4	Sangat Tinggi	$A \geq 9$

Meilan Demulawa Dkk, 2021

Selain pengelompokan berdasarkan klasifikasi di atas, nilai amplifikasi juga bisa dicari menggunakan rumus. Hal ini dikarenakan nilai penguatan amplifikasi berhubungan dengan kontras lapisan yang ada baik di bawah maupun di permukaannya. Apabila kontras lapisan tinggi maka nilai faktor amplifikasi akan tinggi, begitu juga sebaliknya. Berdasarkan hubungan di atas maka dapat dikaitkan dengan **Persamaan 3.11** berikut :

$$A_o = \frac{\rho_b V_b}{\rho_s V_s} \quad (3.11)$$

3.10 Indeks Kerentanan Seismik (Kg)

Indeks kerentanan seismik (Kg) adalah indikator yang digunakan apabila terjadi deformasi pada saat gempa bumi untuk melihat tingkat kerentanan tanah. Indikator ini digunakan untuk memperkirakan daerah yang rawan terhadap adanya gerakan tanah. Perkiraan ini diperoleh dari hubungan antara frekuensi natural dan amplifikasi, indikator ini juga bisa didapat dari pengukuran di permukaan. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi indikator ini, antara lain sedimen pada periode terakhir dari ketiga periode di era Kenozoikum yang mempunyai tingkat rendah, hal ini mempengaruhi faktor amplifikasi saat adanya gempa bumi. Pada batuan periode geologi dari 66 juta hingga 2,58 juta tahun yang lalu cenderung memiliki sifat yang lebih stabil dan solid apabila terdapat getaran gempa bumi. indeks kerentanan seismik (Kg) dapat dicari menggunakan **Persamaan 3.12** dibawah (Nakamura, 1997)

$$K_g = \frac{Ag^2}{fg} \quad (3.12)$$

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Nakamura, menjabarkan mengenai kerusakan yang terjadi di San Fransisco yang diakibatkan oleh gempa bumi. Nakamura menjelaskan bahwa kerusakan yang terjadi di sana mempunyai nilai yang sebanding dengan indeks kerentanan seismik. Kondisi geologi pada daerah tersebut didominasi oleh batuan lunak yang mempunyai nilai indikator lebih tinggi dibandingkan tanah keras di daerah perbukitan. Hal tersebut membuktikan bahwa lapisan tanah sangat mempengaruhi indeks kerentanan seismik.

3.11 Percepatan Tanah Maksimum (PGA)

Kalimat percepatan sering dikenal dalam rumus fisika, percepatan atau sering dikenal dengan akselerasi adalah perubahan kecepatan dalam waktu tertentu. Percepatan terjadi karena adanya gaya yang bekerja pada suatu objek. Percepatan tanah maksimum (PGA) adalah nilai percepatan pada getaran tanah maksimal yang disebabkan oleh gempabumi yang pernah terjadi pada suatu wilayah. Percepatan tanah maksimum (PGA) dapat diperoleh dari hasil peninjauan penjalaran gelombang seismik dari pusat gempa menuju lapisan di atasnya yang ingin diteliti pada bedrock.

Percepatan tanah maksimum sendiri menjadi salah satu parameter penting dalam menganalisis kerentanan gempa bumi, hal ini dikarenakan PGA memberikan informasi mengenai kekuatan gempa yang pernah terjadi pada suatu wilayah. Pada dasarnya kerusakan yang diakibatkan oleh gempa bumi besarnya tergantung dengan kekuatan dan kualitas bangunan, serta kondisi geologi dan juga percepatan tanah di lokasi tempat infrastruktur tersebut didirikan. faktor – faktor di atas dapat disebut dengan parameter percepatan tanah atau *Peak Ground Acceleration* (PGA), oleh sebab itu parameter ini sangat penting digunakan untuk memetakan tingkat bahaya dan rawan bencana gempa bumi.

Percepatan tanah dapat diukur dengan *accelerograph* yang langsung dilakukan di lapangan. Akan tetapi terdapat alternatif lain yaitu dengan cara

melakukan pendekatan empiris. Pendekatan empiris adalah pendekatan dalam penelitian yang dilakukan dengan tujuan menggambarkan kondisi yang ada di lapangan secara apa adanya, pendekatan ini diperkuat dengan memberikan bukti dan juga pengujian. Salah metode dalam pendekatan empiris adalah menggunakan metode kanai, metode ini dapat digunakan untuk menghitung nilai percepatan getaran tanah maksimal. Perhitungan yang di input dalam metode ini adalah parameter pada gempa bumi seperti yang dijelaskan pada sub bab 3.2.2. **Persamaan 3.13** digunakan dalam menghitung nilai percepatan getaran tanah pada metode kanai (1996) adalah sebagai berikut :

$$\alpha = \frac{\alpha_1}{\sqrt{Tg}} 10^{\alpha_2 M - P \log_{10} R + Q} \quad (3.13)$$

Rumus P dan Q dapat dicari dengan **Persamaan 3.14 dan 3.15** berikut :

$$P = \alpha_3 + \frac{\alpha_4}{R} \quad (3.14)$$

$$Q = \alpha_5 + \frac{\alpha_6}{R} \quad (3.15)$$

Nilai PGA kanai dalam satuan gal dapat dikonversi menjadi PGA satuan g dengan **Persamaan 3.16** dan PGA MMI dengan **Persamaan 3.17**.

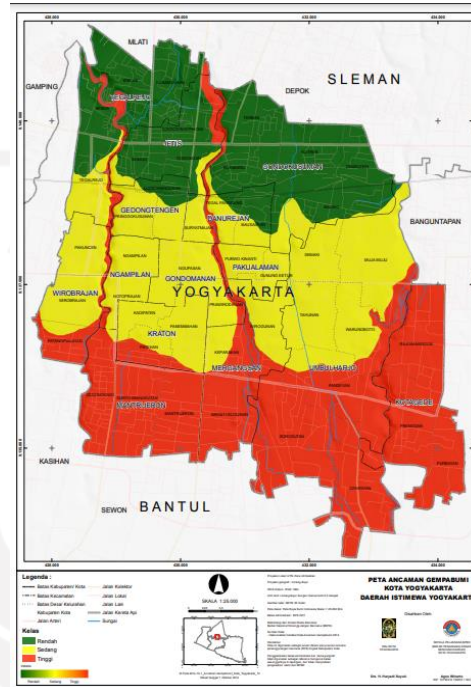
$$\alpha g = \text{PGA (gal)} \times 0,0010197 \quad (3.16)$$

$$\alpha g = 3,66 \times \log (\text{PGA(gal)}) - 1,66 \quad (3.17)$$

3.12 Peta Kerentanan Gempa bumi

Peta adalah gambaran dua dimensi permukaan bumi yang terdapat tambahan skala, simbol dan informasi terkait lainnya. Peta kerentanan gempa bumi dapat diartikan sebagai gambaran kawasan di bidang datar yang diklasifikasikan berdasarkan tingkat kerentanan wilayah tersebut terhadap gempa bumi dan tingkat kerusakan yang ada di wilayah tersebut. Peta kerentanan wilayah sendiri dibuat dengan analisa terhadap nilai percepatan tanah maksimum pada wilayah penelitian. wilayah dengan nilai PGA tinggi apabila terjadi gempa bumi akan mengalami

kerusakan yang besar dibandingkan wilayah yang memiliki nilai PGA yang kecil. Berikut merupakan contoh peta kerentanan gempa bumi **Gambar 3.6**.



Gambar 3.9 Contoh peta kerentanan gempa bumi

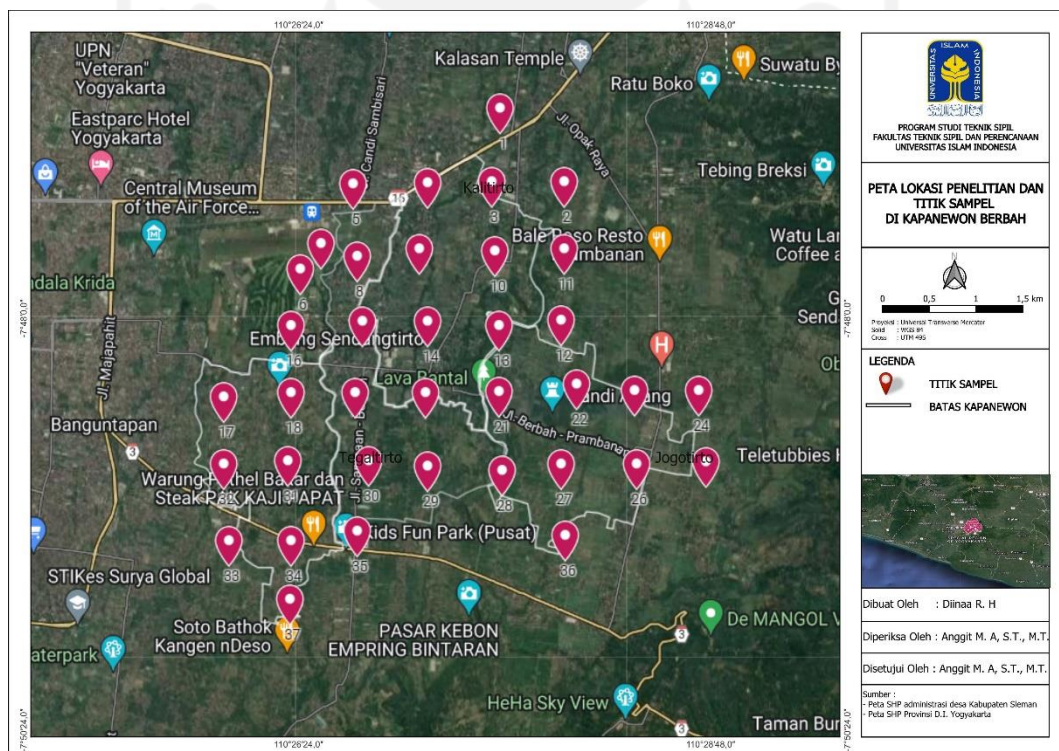
Badan Penanggulangan Bencana Daerah Kota Yogyakarta, 2014

BAB IV

METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di wilayah Kecamatan Berbah, Kabupaten Berbah. Meliputi 4 desa yaitu Desa Tegaltirto, Sendangtirto, Kalitirto, Joglotirto. Wilayah penelitian ini terletak pada koordinat $110^{\circ}42'47,8''$ - $110^{\circ}48'83,0''$ dan $07^{\circ}77'47,6''$ - $07^{\circ}83'80,4''$, berikut merupakan detail lokasi penelitian **Gambar 4.1.**

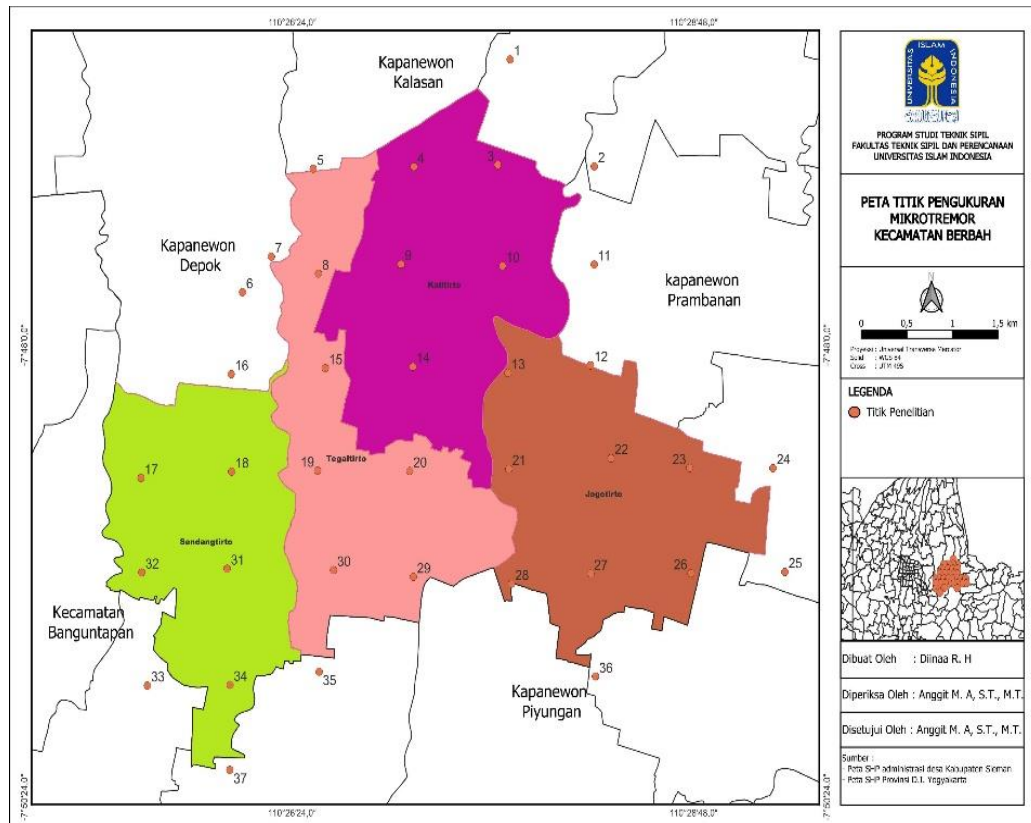


Gambar 4.1 Lokasi Penelitian

4.2 Peralatan dan teknik pengumpulan data

Data – data yang dibutuhkan dalam penelitian ini diperoleh dari penelitian di lapangan untuk mendapatkan nilai – nilai mikrotremor di titik yang sudah

ditentukan. Perencanaan lokasi penelitian diukur menggunakan grid dengan interval $\pm 1 \times 1$ km **Gambar 4.2.** pengukuran pada penelitian ini menggunakan *Lunitek Triton Digital Seismic Sensor*.



Gambar 4.2 Grid Lokasi Penelitian Interval $\pm 1 \times 1$ km

4.2.1 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari dua peralatan atau perangkat, yaitu perangkat lunak dan keras.

1. Perangkat lunak (*software*)
 - a. *Web Lunitek* berfungsi untuk mengatur instrument.
 - b. *Geopsy* berfungsi untuk menginver dan menganalisis kurva H/V.
 - c. *QGIS* berfungsi untuk membuat peta lokasi penelitian
 - d. *Google Maps* berfungsi untuk menentukan titik lokasi penelitian dan penunjuk arah.

- e. *Microsoft Excel 2016* berfungsi untuk konfersi koordinat yang akan dipindahkan ke *google maps*.
 - f. *Microsoft Word 2016* berfungsi untuk penyusunan laporan.
2. Perangkat keras (*hardware*)
- a. *Blue suitcase* berfungsi untuk merekam getaran tanah yang terjadi.
 - b. *Triton 5s* berfungsi untuk memproses data yang didapatkan dari titik penelitian.
 - c. *WIFI antena* (jika menggunakan WIFI) atau *Ethernet cable* (jika menggunakan koneksi LAN) berfungsi untuk penghubung antara instrument.
 - d. USB digunakan untuk menyimpan data penelitian.
 - e. Adaptor + power cable (to AC)
 - f. GPS antena berfungsi untuk menentukan posisi di titik penelitian.
 - g. Battery 6 buah type 18650 3400 mAh 3.7 V berfungsi sebagai sumber daya.
 - h. Laptop digunakan berfungsi sebagai sarana penghubung dan analisis data.
 - i. Lembar *check list* pengambilan data mikrotremor.

Untuk mengetahui gambaran lengkap, perangkat keras (*hardware*) dapat dilihat pada **Gambar 4.3**.



Blue Suitcase



Triton 5s



WIFI Antenna



USB

Adaptor + Power
Cable (to AC)

GPS Antena



Ethernet Cable



Battery



Laptop

Gambar 4.3 Perangkat Keras Pengukuran Mikrotremor

4.2.2 Teknik Pengumpulan Data

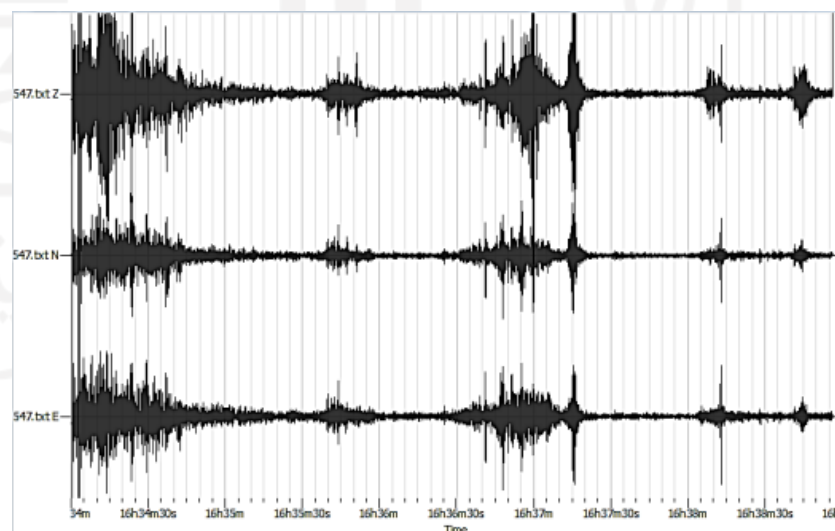
Teknik yang digunakan dalam pengumpulan data pada penelitian ini adalah melalui pengambilan data mikrotremor langsung di lapangan yaitu di lokasi penelitian. Data ini didapatkan melalui getaran tanah yang terekam pada alat dan akan menghasilkan tiga jenis gelombang, yaitu satu gelombang seismik vertikal dan dua gelombang seismik horizontal dengan format data SHE.mseed, SHN.mseed, dan SHZ.mseed. data dengan format tersebut kemudian diolah dengan perangkat lunak geopsy untuk menghasilkan paramater yang dibutuhkan dalam penelitian.

4.3 Pengolahan Data

Data hasil pengukuran mikrotremor yang sudah didapatkan, kemudian di *input* kedalam *software* Geopsy, dengan memilih *channels* sesuai dengan format data mikrotremor. Kemudian pada *windows seedlink* tekan *input* dan *software* akan mengolah sinyal secara otomatis. Untuk memperoleh kurva HVSR sesuaikan *windows* untuk menyeleksi secara otomatis parameter yang dipilih. Proses pengolahan data dapat dilanjutkan dengan menginver hasil kurva HV. Berikut merupakan penjelasan rinci mengenai pengolahan data pada masing – masing parameter.

4.3.1 Pengolahan Data Mikrotremor

Hasil pengukuran mikrotremor di lapangan diolah menggunakan metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr). Data yang tercatat dari hasil pengukuran getaran dalam fungsi tanah terdiri dari tiga komponen, yaitu komponen vertikal, utara-selatan, dan barat-timur. Komponen – komponen ini disimpan dalam format SHE.mseed, SHN.msedd, dan SHZ.mseed. berikut merupakan contoh komponen dari pengolahan data mikrotremor **Gambar 4.4**.



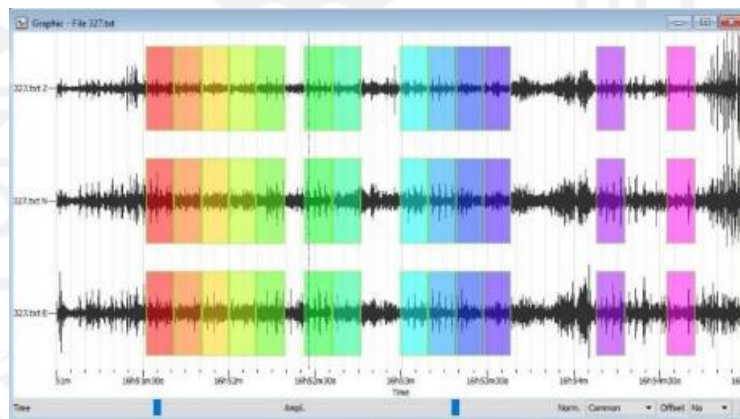
Gambar 4.4 Sinyal Mikrotremor Dari Tiga Komponen

Deviana Ambarsari, 2017

4.3.2 Perhitungan Frekuensi Natural (f_0), Amplifikasi (A_0), Periode Dominan (T_0)

Data yang sudah diolah melalui pengolahan mikrotremor kemudian diolah menggunakan *software* Geopsy, untuk mendapatkan kurva H/V. kurva – kurva tersebut akan menghasilkan parameter – parameter yang dibutuhkan, seperti Frekuensi Natural (f_0), Amplifikasi (A_0), Periode Dominan (T_0). Berikut merupakan tahapan – tahapan pengolahan data menggunakan *software* geopsy.

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

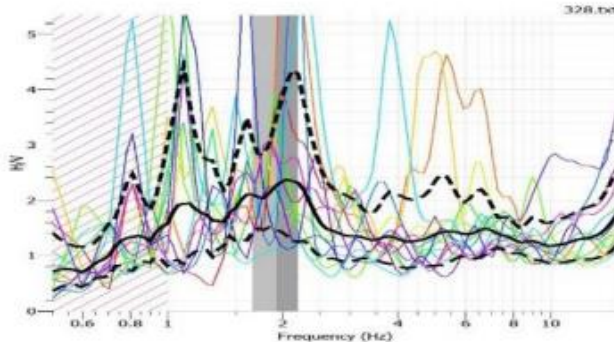


Gambar 4.5 Contoh Windowing Sinyal

Deviana Ambarsari, 2017

4. Pilih *time window* yang meliputi panjang (*length*), *range* waktu yaitu waktu mulai dan waktu maksimum *window*. Dengan cara klik kanan data tiga komponen, pilih *exactly* pada kolom *length*, dan pilih *anti triggers on raw signal*, kemudian *select* pilihan auto dan klik *start*.

5. Proses pengolahan data dilanjutkan dengan menyesuaikan *windows* untuk menyeleksi parameter yang dibutuhkan, dengan menekan tombol *start* untuk memulai perhitungan HVSR.
6. Simpan hasil kurva H/V dengan *extension* .HV, contoh kurva H/V dapat dilihat pada **Gambar 4.6**.



Gambar 4.6 Kurva H/V

Deviana Ambarsari, 2017

4.3.3 Perhitungan Indeks Kerentanan Seismik (Kg)

Perhitungan indeks kerentanan seismik pada penelitian ini dihitung menggunakan **Persamaan 3.9**. setelah didapatkan nilai indeks kerentanan seismik langkah berikutnya adalah memetakan hasil tersebut untuk mengetahui persebaran distribusinya.

4.3.4 Perhitungan Percepatan Tanah Maksimum (PGA)

Perhitungan nilai percepatan tanah atau *peak ground acceleration* (PGA) dalam penelitian ini menggunakan persamaan metode Kanai (1996) persamaan (3.10 – 3.12). parameter yang digunakan dalam perhitungan ini juga mempertimbangkan hubungan PGA dengan periode dominan tanah, magnitudo gempa, dan jarak *epicenter* pada gempabumi yang terjadi pada 2006.

4.3.5 Peta Kerentanan Gempabumi

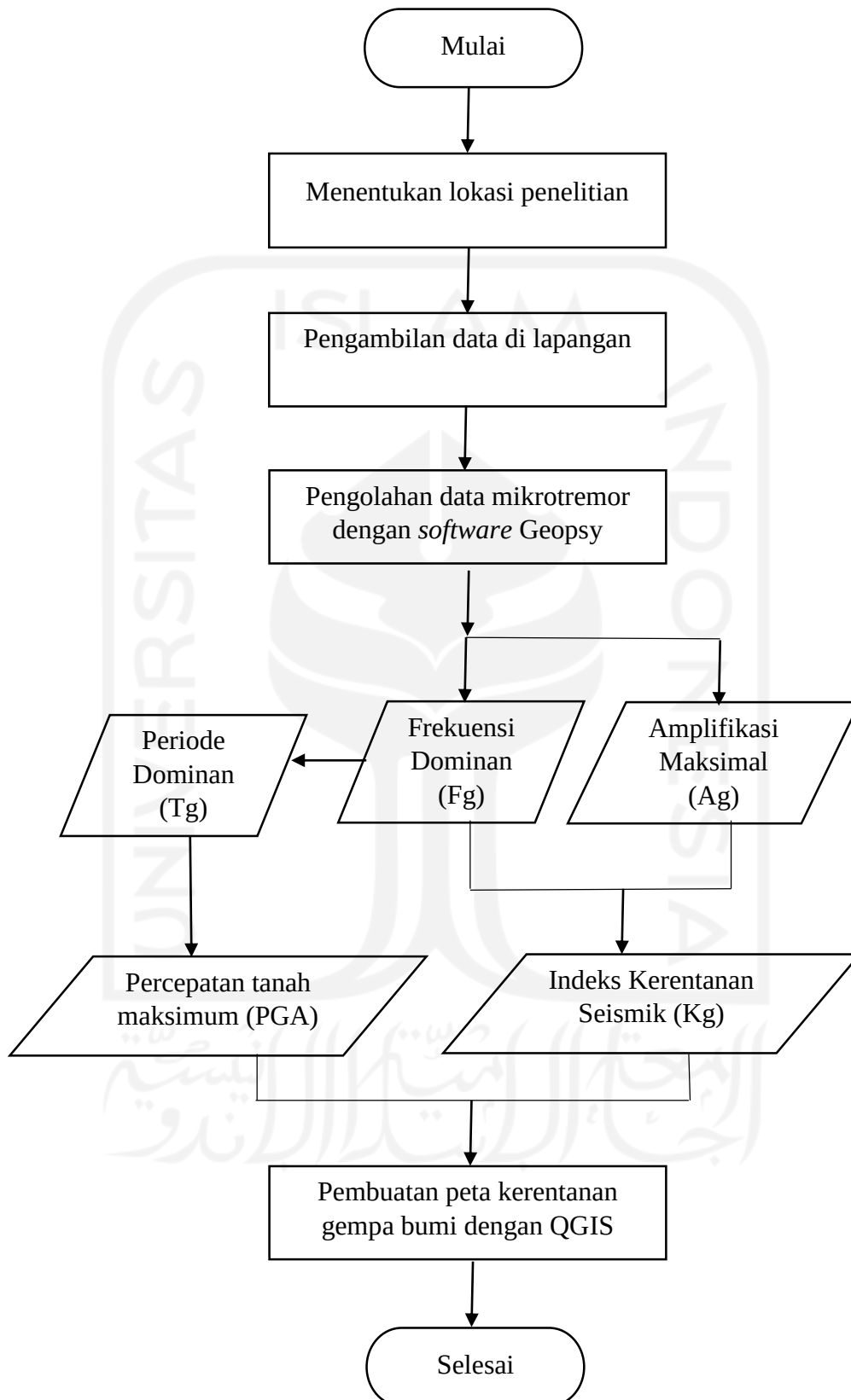
Pembuatan peta kerentanan gempabumi dibuat menggunakan software ArcGis, berdasarkan penggabungan data – data yang diperoleh dari hasil

pengukuran maupun perhitungan. Parameter – parameter yang digunakan dalam pembuatan peta ini adalah indeks kerentanan seismik (K_g), dan percepatan tanah maksimum (PGA).

4.4 Diagram Alur Penelitian

Tahapan dalam penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir berikut **Gambar 4.7**.





Gambar 4.7 Diagram Alur Penelitian

BAB V

ANALISIS, HASIL, DAN PEMBAHASAN

5.1 Pengambilan Data di Lapangan

Teknik pengambilan data yang dilakukan melalui pengambilan data mikrotremor yang didapatkan melalui getaran tanah yang direkam melalui bantuan triton 5s. proses perekaman dimulai dengan meletakkan alat pada tanah sesuai dengan panduan SESAME, dan menunggu proses perekaman selama kurang lebih 35 menit. Hasil yang diperoleh melalui pengambilan data di lapangan adalah data mentah dengan format SHE.mseed, SHN.mseed, dan SHZ.mseed.

5.2 Uji Outlier

Outlier merupakan data observasi yang didalamnya muncul nilai – nilai yang jauh berbeda dengan nilai lain dalam kelompoknya. *Outlier* dalam penelitian yang dalam prosesnya memang tidak dibutuhkan harus mendapatkan perlakuan khusus agar tidak merusak data yang sudah ada. *Outlier* dalam penelitian dapat di deteksi dengan menentukan nilai batas dengan cara mengolah data penelitian ke dalam skor *standardized* atau dapat disebut *Z-score*, nilai syarat *Z-score* yang digunakan sebagai batas adalah kurang dari -3 atau lebih dari +3 (Hairunnisah, 2013). Berikut merupakan **Tabel 5.1** analisis *outlier* pada data penelitian.

Tabel 5.1 Analisis Outlier Pada Data Penelitian

Titik	PGA (gal)	Rata - Rata	Standar Deviasi	Standardize (Z-score)	Keterangan
1	353,218	503,129	258,203	0,581	OK
2	361,399			0,549	OK
3	392,347			0,429	OK
4	400,627			0,397	OK
5	356,891			0,566	OK

Lanjutan Tabel 5.1 Analisis *Outlier* Pada Data Penelitian

No	PGA (gal)	Rata - Rata	Standar Deviasi	Standardize (Z-score)	Keterangan
6	385,136	503,129	258,203	0,457	OK
7	465,057			0,147	OK
8	465,586			0,145	OK
9	379,067			0,480	OK
10	390,339			0,437	OK
11	355,185			0,573	OK
12	551,014			0,185	OK
13	548,550			0,176	OK
14	386,555			0,451	OK
15	430,134			0,283	OK
16	490,345			0,050	OK
17	330,868			0,667	OK
18	487,483			0,061	OK
19	427,422			0,293	OK
20	424,137			0,306	OK
21	830,451			1,268	OK
22	529,011			0,100	OK
23	530,928			0,108	OK
24	526,709			0,091	OK
25	524,474			0,083	OK
26	484,488			0,072	OK
27	441,928			0,237	OK
28	685,922			0,708	OK
29	1901,805			5,417	OUTLIER
30	290,049			0,825	OK
31	502,784			0,001	OK
32	453,407			0,193	OK

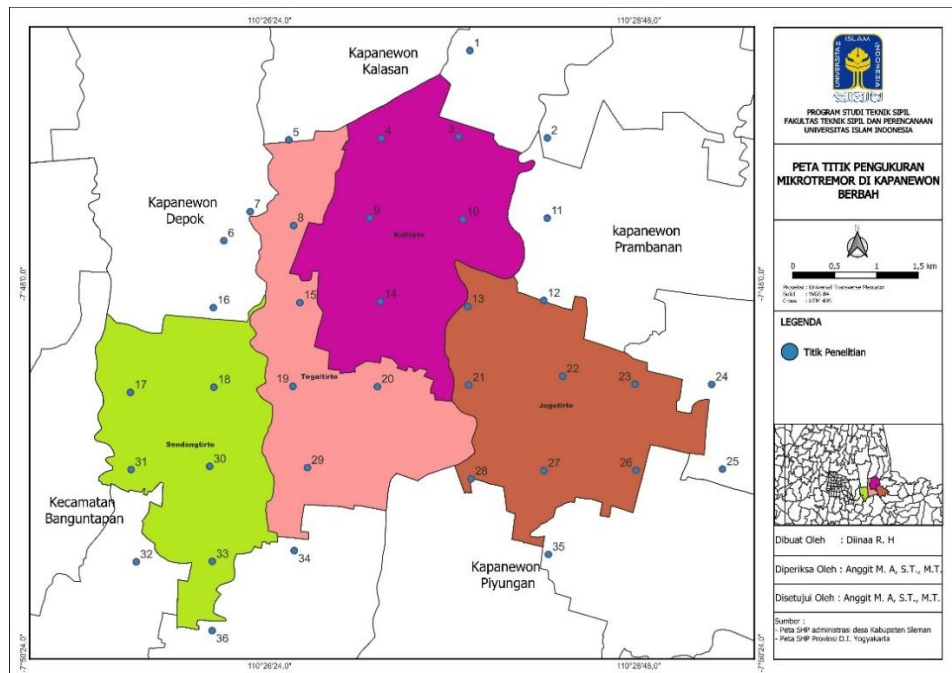
Lanjutan Tabel 5.1 Analisis *Outlier* Pada Data Penelitian

No	PGA (gal)	Rata - Rata	Standar Deviasi	Standardize (Z-score)	Keterangan
33	478,965	503,129	258,203	0,094	OK
34	544,365			0,160	OK
35	407,083			0,372	OK
36	467,716			0,137	OK
37	634,309			0,508	OK

Dari analisis ke 37 data diatas didapatkan satu *outlier* penelitian yaitu pada titik ke 29 dengan Z-score 5,417. Titik tersebut menjadi tidak sama dengan titik – titik lainnya dikarenakan memiliki nilai Fg yang sangat ekstrim dibanding pada titik lainnya, selain itu lokasi titik 29 juga merupakan lokasi yang sangat tidak memungkinkan untuk digunakan sebagai lokasi penelitian, hal tersebut dikarenakan lokasi titik 29 merupakan hamparan sawah yang dikelilingi parit besar dan tanah yang cenderung mengandung banyak air.

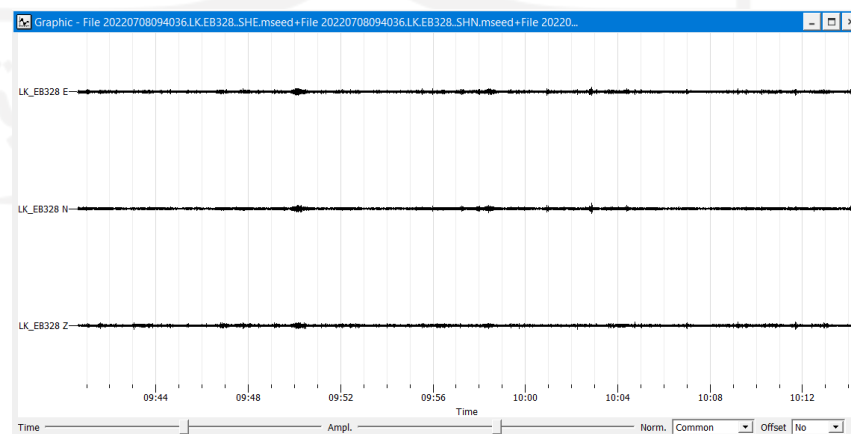
5.3 Analisa Data

Penelitian yang dilakukan di Kapanewon Berbah ini menghasilkan nilai akhir yaitu nilai percepatan tanah puncak (PGA) yang didapatkan berdasarkan pengolahan data frekuensi dominan (fg), faktor amplifikasi (Ag), periode dominan (Tg), dan indeks kerentanan seismik (Kg). pada penelitian di kecamatan tersebut didapatkan 37 titik pengukuran mikrotremor dan terdapat 1 data *outlier*, sehingga data yang dapat diggunakan sebanyak 36 titik seperti pada **Gambar 5.1**.



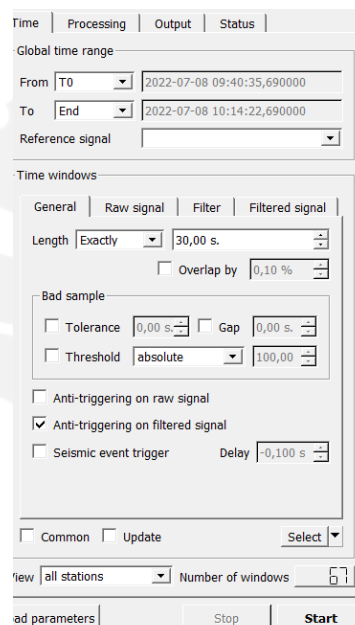
Gambar 5.1 Peta Persebaran Lokasi Titik Mikrotremor

Dari pengukuran mikrotremor pada titik – titik pada gambar 5.1 didapatkan data sinyal gelombang seismik dengan format SHE, SHN, dan SHZ. Data - data tersebut kemudian diolah menggunakan *software geopsy* dan didapatkan grafik dari 3 komponen yang berupa komponen vertikal (Z), NS (*North South*), dan EW (*Easting West*). Berikut merupakan **Gambar 5.2** contoh tampilan grafik hasil pengolahan data menggunakan *software geopsy*.

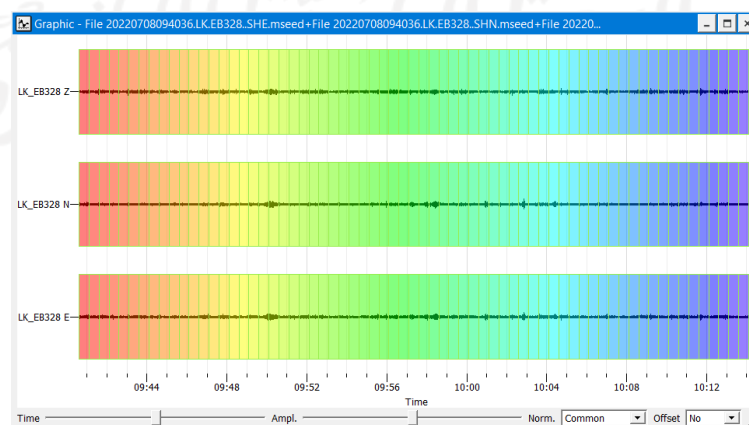


Gambar 5.2 Grafik Pengolahan Data Titik 1 Menggunakan *software geopsy*

Setelah dilakukan *input* data dari ketiga komponen tersebut, langkah selanjutnya adalah pemilihan *window* yang berupa sinyal – sinyal konstan. Pemilihan tersebut dilakukan karena selama proses perekaman sinyal, getaran tidak hanya bersumber dari dalam tanah namun juga bisa berasal dari aktivitas manusia maupun benda disekitarnya. Pemilihan *window* dilakukan menggunakan metode *auto* dengan panjang grafik 30 s, dan *filter* yang digunakan adalah *Anti-triggering on filtered signal* seperti pada **Gambar 5.3**. dan pada **Gambar 5.4** merupakan contoh dari proses pemilihan *window* pada titik 1.

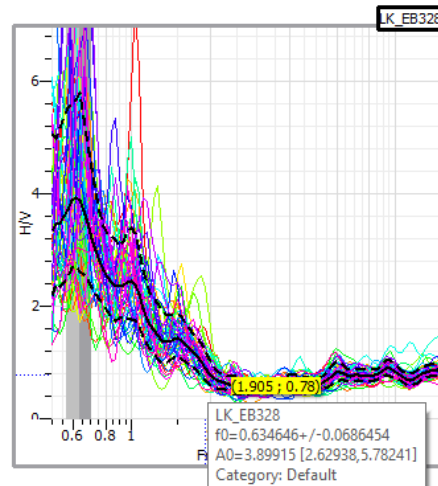


Gambar 5.3 Filtering Pada Titik 1



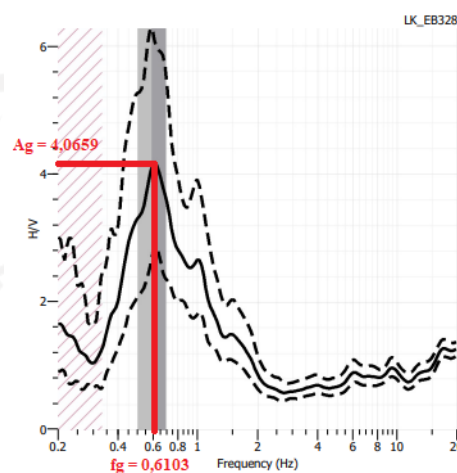
Gambar 5.4 Proses Pemilihan Window Pada Titik 1

Setelah dilakukan pemilihan *window*, langkah selanjutnya adalah melakukan analisis H/V untuk mendapatkan grafik kurva HVSR seperti pada **Gambar 5.4**.



Gambar 5.5 Grafik Kurva HVSR Titik 1

Kurva diatas merupakan kurva HVSR yang di dapat dari proses *filtering* dan *windowing* pada hasil data yang di dapat. hasil pengolahan dari kurva tersebut adalah nilai frekuensi dominan dan amplifikasi yang didapatkan dari nilai puncak dari grafik H/V seperti pada **Gambar 5.6**.



Gambar 5.6 Nilai puncak kurva HVSR Pada Titik 1

5.4 Analisa Nilai Faktor Amplifikasi Tanah (A_g)

Kerusakan infrastruktur yang diakibatkan oleh gempa dipengaruhi oleh nilai amplifikasi tanah, dimana nilai amplifikasi tanah (A_g) merupakan nilai yang didapat dari nilai puncak kurva HVSR. Nilai amplifikasi tanah berkaitan dengan sedimen, jika nilai amplifikasi tanah semakin besar maka sedimen di daerah tersebut juga akan semakin lunak. Hal tersebut dapat disimpulkan bahwa, nilai amplifikasi tanah (A_g) semakin besar maka potensi kerusakan daerah tersebut apabila terkena gempa akan semakin besar juga. Nilai amplifikasi tanah (A_g) di Kapanewon Berbah ditunjukkan pada **Tabel 5.2** berikut.

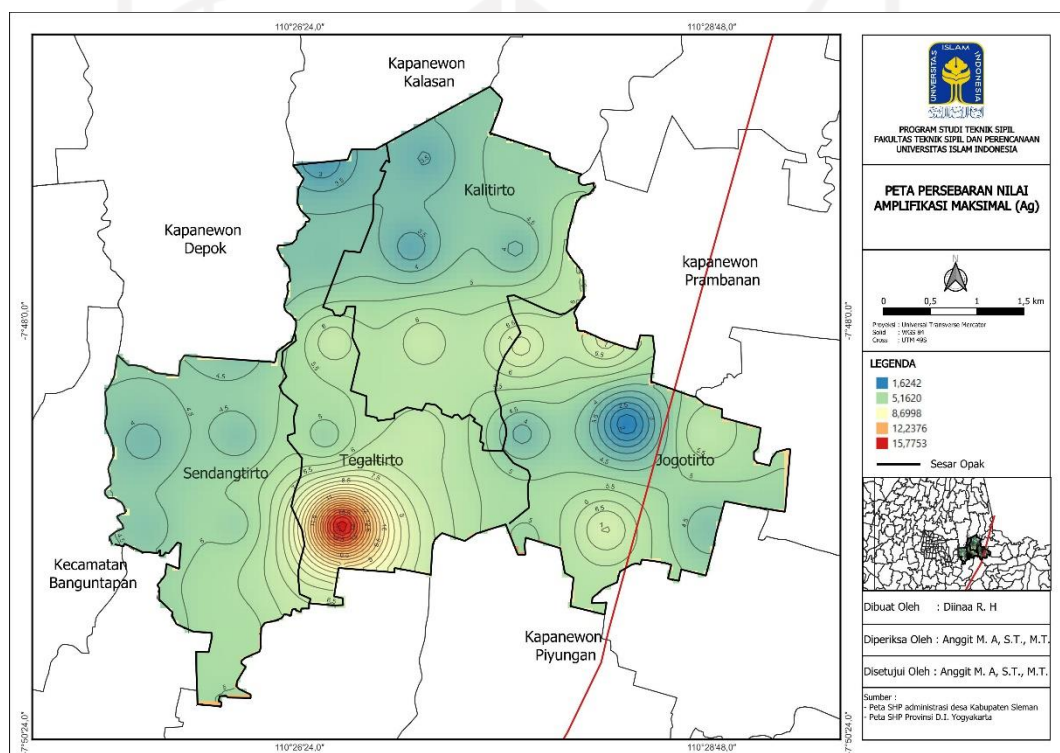
Tabel 5.2 Nilai Amplifikasi Tanah (A_g) di Kapanewon Berbah

Titik	Nilai	Titik	Nilai
1	4,0659	19	4,7558
2	4,1369	20	6,2832
3	4,6566	21	3,8467
4	3,4621	22	1,6212
5	2,5921	23	5,9835
6	3,1844	24	5,0214
7	4,1035	25	4,5469
8	4,0608	26	4,1755
9	3,2157	27	7,0384
10	3,9157	28	4,8726
11	7,5489	29	15,8103
12	7,1872	30	4,7534
13	7,1872	31	4,2378
14	6,3872	32	4,5266
15	6,3731	33	5,2704
16	4,1262	34	6,3534
17	3,8055	35	5,5935
18	4,1675	36	4,8775

Berdasarkan data nilai amplifikasi tanah (A_g) diatas dapat diklasifikasikan berdasarkan zona - zona berikut (Setiawan, 2009) :

1. Zona Rendah : $A_g < 3$
2. Zona Sedang : $3 \leq A_g < 6$
3. Zona Tinggi : $6 \leq A_g < 9$
4. Zona Sangat Tinggi : $A_g \geq 9$

Berdasarkan nilai amplifikasi yang diperoleh beserta klasifikasinya dapat dibuat peta persebaran yang dapat dilihat pada **Gambar 5.7** berikut.



Gambar 5.7 Peta Sebaran Faktor Amplifikasi Tanah (A_g)

Berdasarkan peta persebaran dan data yang ada, nilai amplifikasi tanah berkisar antara zona dengan amplifikasi tanah rendah hingga sangat tinggi (Setiawan, 2009). daerah dengan nilai amplifikasi tanah rendah berada di kelurahan Tegaltirto (pada titik 5) dengan nilai A_g kurang dari 3, selanjutnya daerah dengan nilai amplifikasi tanah sedang meliputi Kelurahan Kalitirto (kecuali pada titik 14), Kelurahan Tegaltirto (pada titik 8 dan 19), Kelurahan Jogotirto (pada titik 21, 23,

26, dan 28), Kelurahan Sendangtirto (kecuali pada titik 30) dengan nilai Ag berkisar antara 3 sampai dengan 6. Daerah dengan nilai samplifikasi tinggi tersebar pada wilayah Kelurahan Jogotirti (pada titik 12, 13 dan 27), Kelurahan Kalitirto (pada titik 14), dan Kelurahan Tegaltirto (pada titik 15 dan 20) dengan nilai Ag berkisar antara 6 sampai dengan 9. Daerah dengan nilai amplifikasi sangat tinggi terletak pada Kelurahan Tegaltirto tepatnya pada titik 30 dengan nilai Ag lebih dari 9. Daerah dengan nilai amplifikasi tanah sangat tinggi disebabkan oleh jenis sedimen dan batuan di daerah tersebut yang mengakibatkan daerah dengan nilai Ag sangat tinggi menjadi daerah yang berpotensi rawan terjadi bencana gempa bumi.

5.5 Analisa Frekuensi Dominan Tanah (Fg)

Frekuensi adalah banyaknya gelombang yang terjadi dalam satu satuan waktu (Firmasnyah, 2017). Frekuensi dominan tanah adalah frekuensi yang diambil dari nilai kurva HVSR yang didapat dari hasil penelitian. Nilai frekuensi dominan tanah (Fg) di Kapanewon Berbah dapat dilihat pada **Tabel 5.3** berikut.

Tabel 5.3 Nilai Frekuensi Dominan Tanah (Fg) di Kapanewon Berbah

Titik	Nilai	Titik	Nilai
1	0,6103	14	0,7621
2	0,6412	15	0,9518
3	0,7621	16	1,2489
4	0,8007	17	0,5809
5	0,6412	18	1,2489
6	0,7621	19	0,9518
7	1,1038	20	0,9286
8	1,1038	21	3,5230
9	0,7254	22	1,4130
10	0,7621	23	1,4130
11	0,6255	24	1,3785
12	1,5216	25	1,3785
13	1,5216	26	1,1887

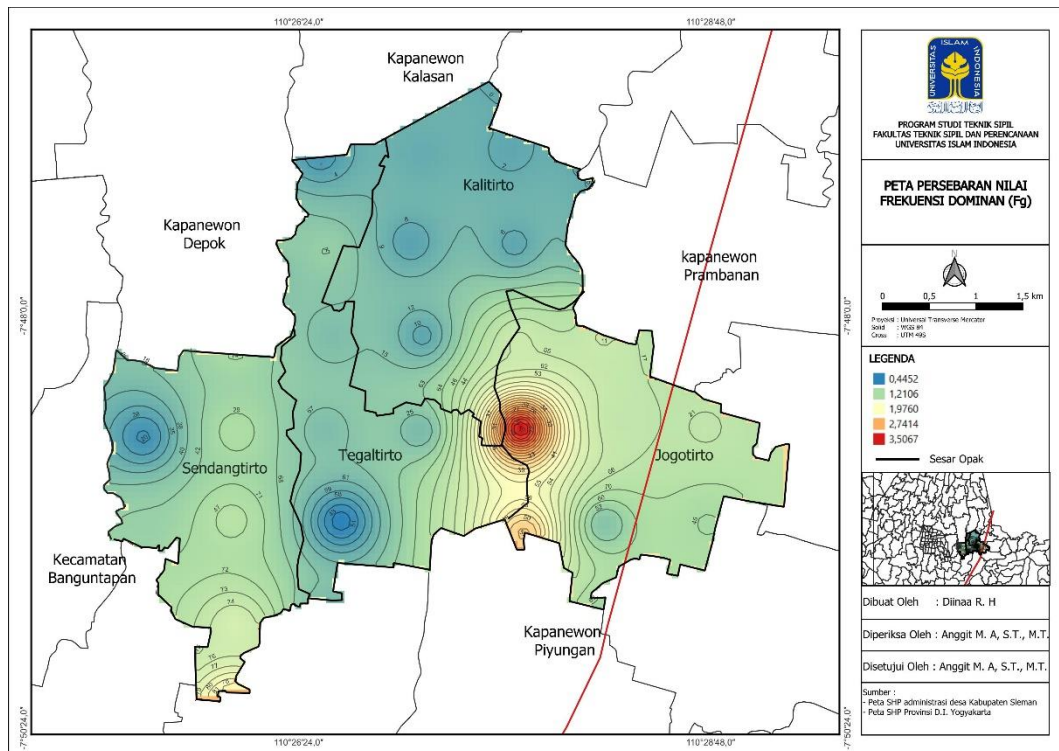
**Lanjutan Tabel 5.3 Nilai Frekuensi Dominan Tanah (Fg) di
Kapanewon Berbah**

Titik	Nilai	Titik	Nilai
27	1,0000	32	1,2489
28	2,4325	33	1,5987
29	0,4427	34	0,8839
30	1,3449	35	1,1314
31	1,1038	36	2,1933

Berdasarkan data nilai amplifikasi tanah (Ag) diatas dapat diklasifikasikan berdasarkan zona - zona berikut (Sitorus dkk, 2017) :

1. Tipe I : < 2,5 (Ketebalan sedimen permukaan kategori sangat tebal, > 30 m)
2. Tipe II : 2,5 – 4 (Ketebalan sedimen permukaan kategori tebal, 10 – 30 m)
3. Tipe III : 4 – 10 (Ketebalan sedimen permukaan kategori menengah, 5 – 10 m)
4. Tipe IV : 6,6 - 20

Berdasarkan data nilai frekuensi dominan tanah (Fg) beserta klasifikasinya, dapat dibuat peta persebaran yang dapat dilihat pada **Gambar 5.8**.



Gambar 5.8 Peta Persebaran Nilai Frekuensi Dominan Tanah (Fg)

Berdasarkan peta persebaran dan data yang ada dapat dilihat bahwa Kapanewon Berbah mempunyai nilai frekuensi dominan tanah (Fg) didominasi dengan nilai Fg tipe 1 yang berarti mempunyai ketebalan sedimen permukaan sangat tebal, dengan ketebalan lebih dari 30 m. selain tipe 1 Kapanewon Berbah tepatnya pada titik 21 di Kelurahan Jogotirto dengan ketebalan sedimen permukaan kategori rendah sekitar 10 sampai 30 m. berdasarkan klasifikasi tersebut dapat dilihat bahwa pada daerah sedimen dengan tingkat kekerasan dan jenis tanah yang sama, nilai frekuensi dominan tanah yang tinggi berhubungan dengan titik yang mempunyai ketebalan sedimen yang rendah begitupula sebaliknya, titik dengan nilai frekuensi dominan rendah mempunyai ketebalan sedimen yang tinggi.

5.6 Analisis Periode Dominan Tanah (Tg)

Periode dominan tanah (Tg) adalah waktu yang diperlukan oleh gelombang mikrotremor untuk merambat melewati lapisan endapan di permukaan. Perhitungan

periode dominan dapat dilihat pada contoh perhitungan pada titik 1 dan rekapitulasi pada **Tabel 5.4** berikut :

$$\begin{aligned}
 T_g &= \frac{1}{fg} \\
 &= \frac{1}{0,6103} \\
 &= 1,6386 \text{ s}
 \end{aligned}$$

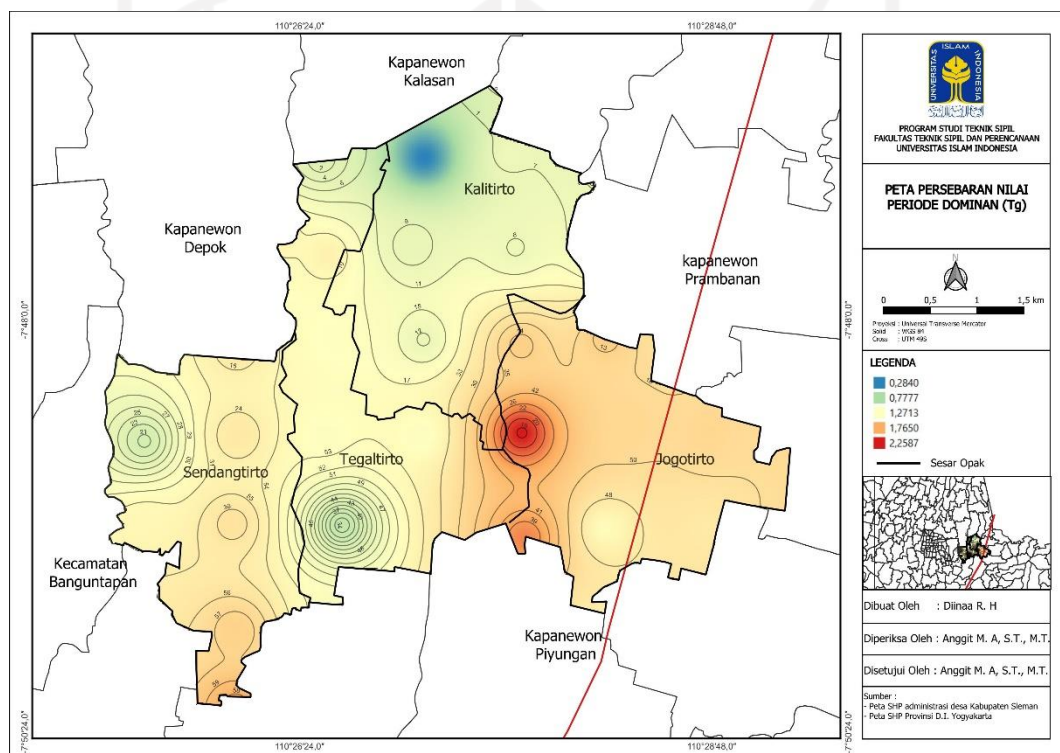
Tabel 5.4 Nilai Analisis Periode Dominan Tanah (Tg)

Titik	Nilai	Titik	Nilai
1	1,6386	19	1,0506
2	1,5597	20	1,0769
3	1,3121	21	0,2838
4	1,2489	22	0,7077
5	1,5597	23	0,7077
6	1,3121	24	0,7254
7	0,9060	25	0,7254
8	0,9060	26	0,8413
9	1,3785	27	1,0000
10	1,3121	28	0,4111
11	1,5987	29	2,2589
12	0,6572	30	0,7436
13	0,6572	31	0,9060
14	1,3121	32	0,8007
15	1,0506	33	0,6255
16	0,8007	34	1,1314
17	1,7216	35	0,8839
18	0,8007	36	0,4559

Berdasarkan data periode dominan tanah (T_g) diatas dapat diklasifikasikan sebagai berikut (Maimun dkk, 2020) :

1. Kelas A + B : $T_g < 0,2$
2. Kelas C : $0,2 < T_g < 0,4$
3. Kelas D : $0,4 < T_g < 0,6$
4. Kelas E : $T_g > 0,6$

Berdasarkan data periode dominan (T_g) beserta klasifikasinya, dapat dibuat peta persebaran nilai periode dominan tanah seperti pada **Gambar 5.9**.



Gambar 5.9 Peta Persebaran Nilai Periode Dominan Tanah (T_g)

Berdasarkan peta persebaran dan data yang ada, nilai periode dominan tanah (T_g) berkisar antara zona dengan periode dominan kelas A hingga E. Kapanewon Berbah mempunyai nilai T_g yang didominasi dengan zona E yaitu dengan nilai T_g diatas 0,6 yang berarti tanah di Kapanewon Berbah merupakan tanah lunak, adapun titik – titik yang termasuk di zona lain yaitu titik 21 yang berada di Kelurahan Jogotirto termasuk kedalam zona C memiliki nilai T_g antara 0,2 sampai 0,4 yang

berarti wilayah tersebut memiliki kondisi tanah yang termasuk tanah keras, dan titik 37 yang berada di Kelurahan Jogotirto termasuk kedalam zona D memiliki nilai T_g antar 0,4 sampai 0,6 dan memiliki jenis tanah medium.

5.7 Analisis Indeks Kerentanan Seismik (Kg)

Indeks kerentanan seismik (Kg) diperoleh berdasarkan nilai dari frekuensi dominan dan faktor amplifikasi yang dihitung seperti contoh pada perhitungan di titik 1 berikut :

$$\begin{aligned} Kg &= \frac{Ag^2}{fg} \\ &= \frac{4,0659^2}{0,6103} \\ &= 27,089 \end{aligned}$$

Rekapitulasi hasil perhitungan indeks kerentanan seismik (kg) dapat dilihat pada **tabel 5.5** berikut.

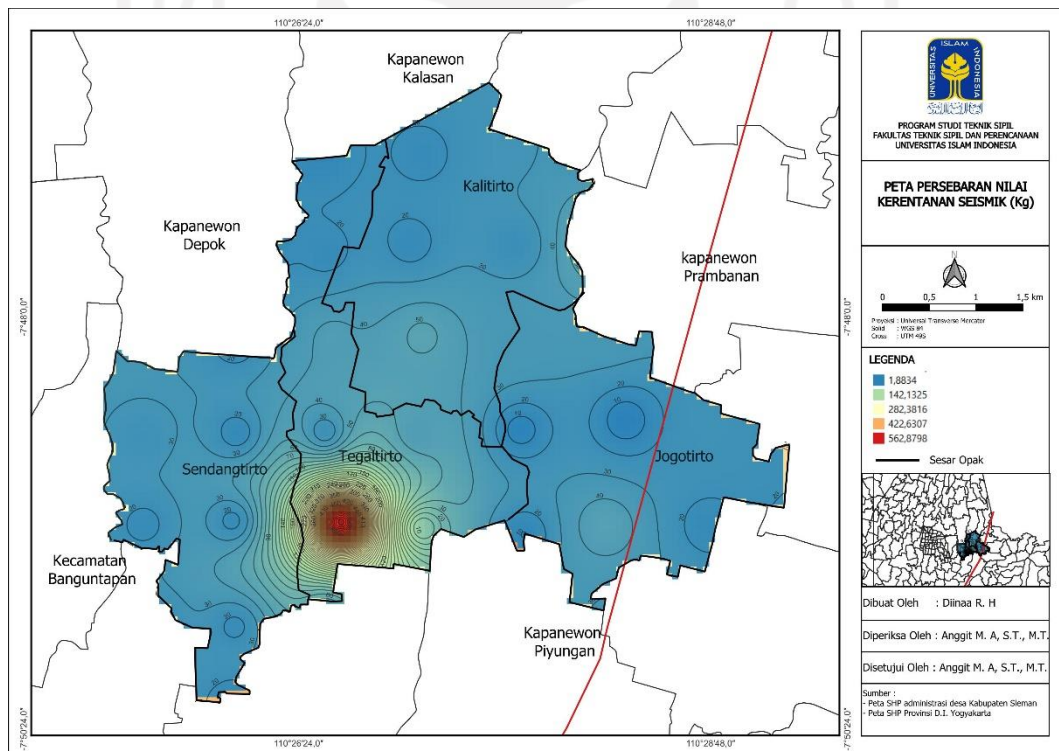
Tabel 5.5 Nilai Analisis Indeks Kerentanan Seismik (Kg)

Titik	Nilai	Titik	Nilai
1	27,0892	13	33,9480
2	26,6925	14	53,5277
3	28,4512	15	42,6725
4	14,9692	16	13,6326
5	10,4794	17	24,9317
6	13,3052	18	13,9068
7	15,2549	19	23,7625
8	14,9392	20	42,5136
9	14,2548	21	4,2000
10	20,1175	22	1,8602
11	91,0996	23	25,3380
12	33,9480	24	18,2909

Lanjutan Tabel 5.5 Nilai Analisis Indeks Kerentanan Seismik (Kg)

Titik	Nilai	Titik	Nilai
25	14,9976	31	16,2701
26	49,5397	32	16,4071
27	49,5397	33	17,3751
28	9,7601	34	45,6696
29	564,6338	35	27,6537
30	16,8005	36	10,8464

Berdasarkan data nilai indeks kerentanan seismik (Kg), dapat dibuat peta persebaran nilai indeks kerentanan seismik (Kg) seperti pada **Gambar 5.10** berikut.



Gambar 5.10 Peta Persebaran Nilai Indeks Kerentanan Seismik (Kg)

Berdasarkan peta persebaran dan data indeks kerentanan seismik (Kg) didapatkan hasil bahwa daerah dengan nilai Kg rendah yang ditunjukkan warna biru tersebar di seluruh wilayah Kapanewon Berbah kecuali pada titik 29 yang terletak

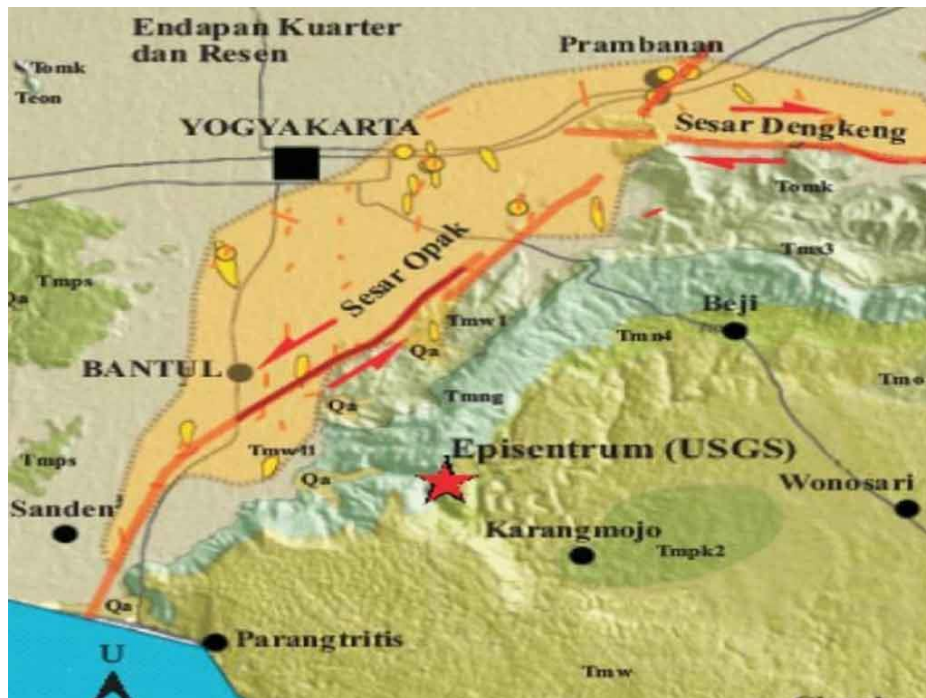
di Kelurahan Tegaltirto. Wilayah dengan nilai indeks kerentanan seismik yang tinggi diperoleh pada wilayah yang memiliki nilai amplifikasi tinggi dan frekuensi dominan rendah. Daerah dengan nilai K_g tinggi biasanya mempunyai kontras impedansi atau kemampuan batuan untuk melewati gelombang seismik dan juga dipengaruhi oleh lapisan sedimen yang tipis, daerah dengan kriteria nilai K_g tinggi biasanya terletak di daerah perbukitan, hal ini terbukti karena titik 29 yang terletak di Kelurahan Tegaltirto berada di sekitar Gunung Wangi. Suatu wilayah yang memiliki nilai indeks kerentanan seismik (K_g) tinggi akan lebih rentan terhadap bencana gempa bumi begitu pula sebaliknya (Nakamura, 2008).

5.8 Analisis *Peak Ground Acceleration* (PGA)

Analisis yang digunakan dalam analisis *peak ground acceleration* (PGA) adalah menghitung data penelitian dengan persamaan atenuasi Kanai (1966) dan meninjau dari gempa yang terjadi di DI Yogyakarta pada Mei 2006 seperti ditunjukkan pada **Tabel 5.6** dan **Gambar 5.11** menunjukkan koordinat titik pusat gempa. *Peak Ground Acceleration* (PGA) digunakan untuk menjadi parameter yang digunakan untuk memperkirakan kerusakan yang disebabkan oleh bencana gempa bumi.

Tabel 5.6 Data Gempa Jogja 26 Mei 2006

Referensi	Koordinat X	Koordinat Y	Skala (M)	Depth (m)
Gempa Jogja 2006	421758,547	9114529,083	6,2	17200



Gambar 5.11 Koordinat Titik Pusat Gempa Yogyakarta 2006
(BPPD DIY, 2006)

5.8.1 Menentukan Jarak Episenter

Jarak episenter merupakan jarak antara titik penelitian ke titik di permukaan yang berada tepat di atas maupun dibawah titik pusat gempa. Perhitungan jarak episenter dapat menggunakan koordinat titik penelitian dan data gempa yang terjadi sebelumnya yang terbesar dan menimbulkan kerusakan paling banyak, pada penelitian ini digunakan data gempa jogja 2006 yang dihitung dengan rumus berikut pada titik 1 sebagai contoh :

$$\begin{aligned}
 \text{Episenter} &= \sqrt{(X \text{ data} - X \text{ gempa})^2 + (Y \text{ data} - Y \text{ gempa})^2} \\
 &= \sqrt{(440647,7 - 421758,547)^2 + (9140567 - 9114529,083)^2} \\
 &= 32167,563 \text{ m}
 \end{aligned}$$

5.8.2 Menentukan Jarak Hiposenter (R)

Jarak hiposenter adalah jarak antara titik episenter dengan titik pusat gempa bumi. perhitungan jarak hiposenter dapat dihitung menggunakan persamaan berikut pada titik 1 sebagai contoh :

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{(\text{Jarak Episenter})^2 + (\text{Kedalaman Gempa})^2} \\ &= \sqrt{(32167,563)^2 + (17200)^2} \\ &= 36477,282 \text{ m} \end{aligned}$$

5.8.3 Analisis Peak Ground Acceleration (PGA)

Setelah didapatkan jarak hiposenter dan parameter – parameter lain yang sudah didapatkan dari perhitungan sebelumnya, nilai peak ground acceleration (PGA) dapat dicari menggunakan persamaan atenuasi kanai 1966 seperti contoh perhitungan pada titik 1 berikut :

$$\begin{aligned} \alpha_g &= \frac{\alpha_1}{\sqrt{T_g}} 10^{\alpha_2 M - P \log_{10} R + Q} \\ &= \frac{5}{\sqrt{1,639}} 10^{\{0,61 (6,2) - (1,66 + \frac{3,6}{36,477} \log_{10} 36,477) + (0,167 - \frac{1,83}{36,477})\}} \\ &= 353,218 \text{ gal} \end{aligned}$$

Konversi ke satuan PGA (g)

$$\begin{aligned} \alpha_g &= \text{PGA (gal)} \times 0,0010197 \\ &= 353,218 \times 0,0010197 \\ &= 0,360176 \text{ g} \end{aligned}$$

Konversi ke satuan MMI, menurut Wald (1999)

$$\begin{aligned} \alpha_g &= 3,66 \times \log (\text{PGA (gal)}) - 1,66 \\ &= 3,66 \times \log (353,218) - 1,66 \\ &= 7,666 \end{aligned}$$

Berikut merupakan rekapitulasi perhitungan nilai PGA (gal) pada **Tabel 5.7**, PGA (g) pada **Tabel 5.8** dan PGA (MMI) pada **Tabel 5.9**.

Tabel 5.7 Nilai Analisis *Peak Ground Acceleration* (PGA) gal

Titik	Nilai	Titik	Nilai
1	353,218	19	427,422
2	361,399	20	424,137
3	392,347	21	830,451
4	400,627	22	529,011
5	356,891	23	530,928
6	385,136	24	526,709
7	465,057	25	524,474
8	465,586	26	484,488
9	379,067	27	441,928
10	390,339	28	685,922
11	355,185	29	290,049
12	551,014	30	502,784
13	548,550	31	453,407
14	386,555	32	478,965
15	430,134	33	544,365
16	490,345	34	407,083
17	330,868	35	467,716
18	487,483	36	634,309

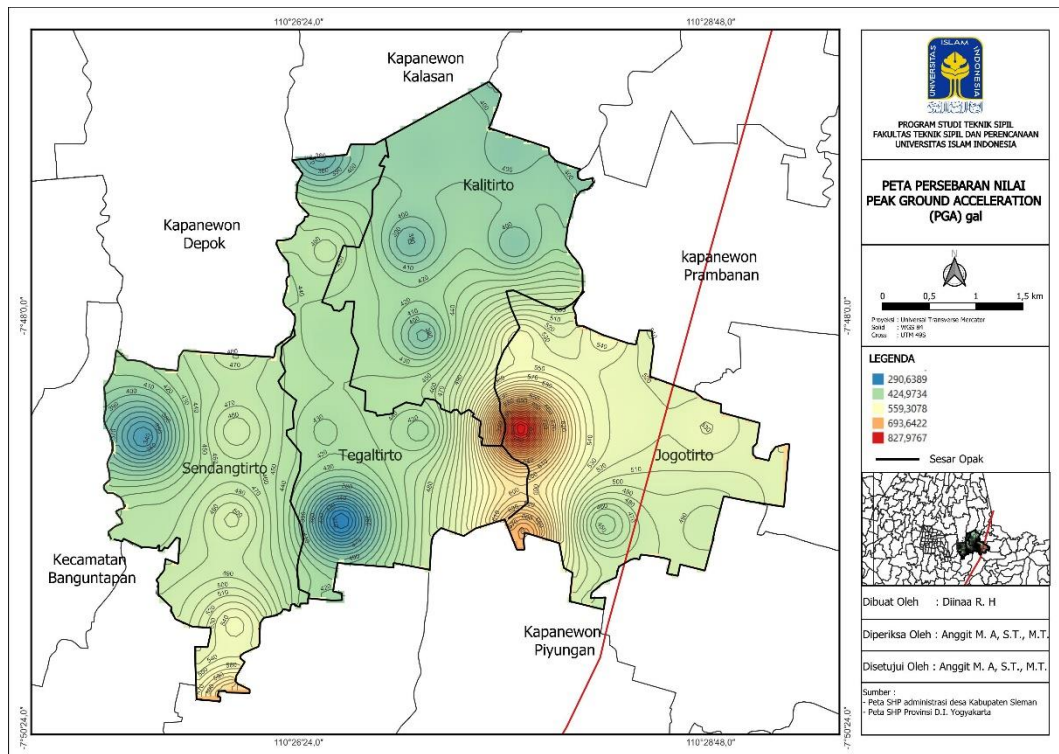
Tabel 5.8 Nilai Analisis *Peak Ground Acceleration* (PGA) g

Titik	Nilai	Titik	Nilai
1	0,360	19	0,436
2	0,369	20	0,432
3	0,400	21	0,847
4	0,409	22	0,539
5	0,364	23	0,541
6	0,393	24	0,537
7	0,474	25	0,535
8	0,475	26	0,494
9	0,387	27	0,451
10	0,398	28	0,699
11	0,362	29	0,296
12	0,562	30	0,513
13	0,559	31	0,462
14	0,394	32	0,488
15	0,439	33	0,555
16	0,500	34	0,415
17	0,337	35	0,477
18	0,497	36	0,647

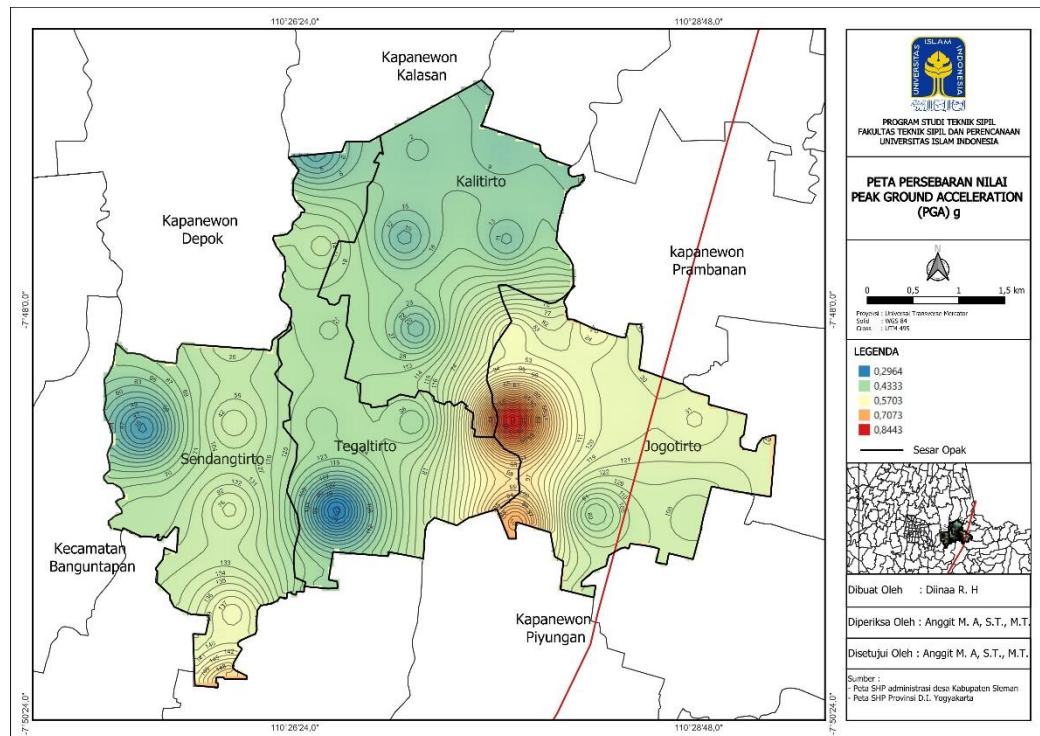
Tabel 5.9 Nilai Analisis *Peak Ground Acceleration* (PGA) MMI

Titik	Nilai	Titik	Nilai
1	7,666	19	7,969
2	7,702	20	7,957
3	7,833	21	9,025
4	7,866	22	8,308
5	7,682	23	8,314
6	7,803	24	8,301
7	8,103	25	8,294
8	8,105	26	8,168
9	7,778	27	8,022
10	7,825	28	8,721
11	7,675	29	7,353
12	8,373	30	8,227
13	8,366	31	8,063
14	7,809	32	8,150
15	7,979	33	8,353
16	8,187	34	7,891
17	7,562	35	8,112
18	8,178	36	8,596

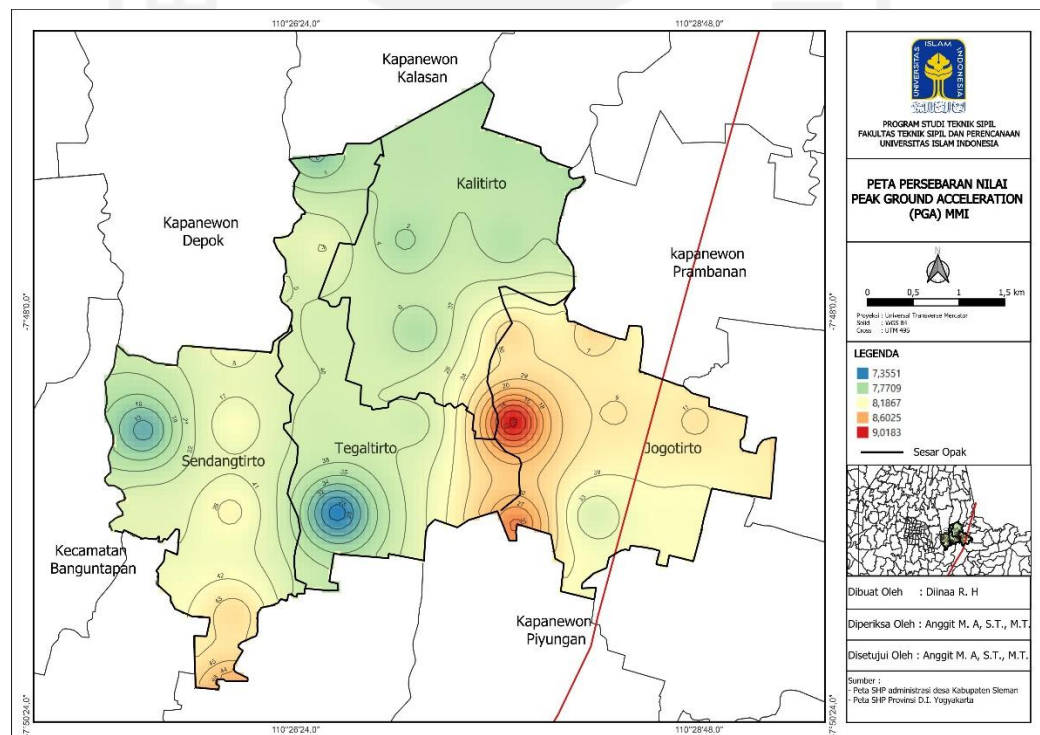
Berdasarkan data *peak ground acceleration* (PGA) , dapat dibuat peta persebaran PGA (gal) seperti pada **Gambar 5.12**, peta persebaran PGA (g) seperti pada **Gambar 5.13** dan peta persebaran PGA (MMI) seperti pada **Gambar 5.14**.



Gambar 5.12 Peta Persebaran Nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) gal



Gambar 5.13 Peta Persebaran Nilai *Peak ground acceleration* (PGA) g



Gambar 5.14 Peta Persebaran Nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) MMI

Berdasarkan peta persebaran dan nilai *peak ground acceleration* (PGA) didapatkan hasil nilai PGA di Kapanewon Berbah tersebar antara 0,296 sampai 0,847 g atau 330,868 sampai 830,451 gal. menurut BMKG wilayah dengan nilai PGA (gal) yang terletak diantara 168-564 memiliki tingkat kerusakan ringan atau bila terjadi gempa bumi maka struktur bangunan akan mengalami kerusakan ringan sampai sedang, wilayah dengan nilai PGA (gal) 168 – 564 atau memiliki skala MMI VII – VIII tersebar pada seluruh wilayah Kapanewon Berbah, kecuali pada wilayah Kelurahan Jogotirto yang memiliki nilai PGA (gal) diatas 564 dengan tipe kerusakan berat dan memiliki skala MMI IX – XII.

Berdasarkan pembahasan diatas dapat diketahui bahwa semakin tinggi nilai PGA disuatu wilayah maka akan semakin tinggi pula kerusakan yang terjadi pada wilayah tersebut, begitu juga sebaliknya. Wilayah dengan nilai PGA tinggi menandakan bahwa wilayah tersebut akan mengalami pergerakan tanah yang lebih cepat dengan durasi waktu yang lebih singkat dari wilayah lain apabila terjadi bencana gempa bumi yang episenternya terletak disekitar gempa jogja 2006.

5.9 Hubungan antara nilai Ag, Fg, Kg dan PGA

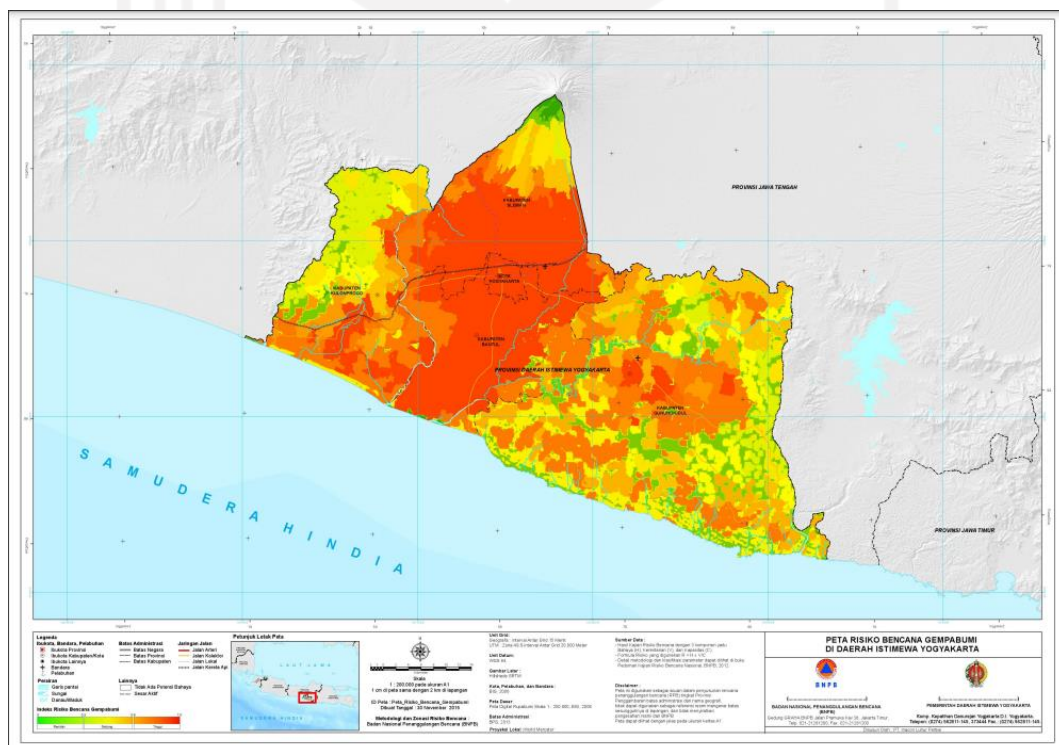
Dari analisis data dan pembahasannya dapat dilihat bahwa terdapat hubungan antara parameter – parameter indeks kerentanan seismik yaitu nilai Ag, Fg, Kg dan PGA. Suatu wilayah yang mempunyai nilai Ag tinggi mempunyai potensi gempa yang tinggi pula hal tersebut dikarenakan nilai Ag sangat berpengaruh pada jenis sedimen dan batuan di wilayah tersebut. Hal tersebut dibuktikan nilai Ag tinggi terletak pada Kelurahan Tegaltirto dimana kawasan tersebut mempunyai nilai ketebalan sedimen sangat tinggi yaitu lebih dari 30 m. wilayah dengan nilai sedimen tinggi mempunyai nilai Fg yang rendah.

Wilayah dengan nilai Ag tinggi dan Fg rendah mempunyai nilai Kg atau kerentanan sesimik yang tinggi. Wilayah dengan nilai Ag tinggi dan Fg rendah mempunyai kontras impedansi rendah dengan ketebalan lapisan yang tipis, umumnya wilayah tersebut berada wilayah perbukitan, pada daerah penelitian

wilayah dengan nilai Kg tinggi berada di Kelurahan Tegaltirto, yang wilayahnya didominasi oleh perbukitan.

Sedangkan pada nilai PGA, nilai PGA tinggi berbanding lurus dengan nilai Fg dan berbanding terbalik dengan nilai Ag. Hal tersebut berarti wilayah dengan nilai Kg tinggi mempunyai nilai PGA yang rendah begitupula sebaliknya. Peta risiko bencana didasarkan pada beberapa parameter yang harus dilakukan *scoring*, namun secara garis besar wilayah dengan Kg dan PGA tinggi berada di bagian selatan dari wilayah berbah sendiri, hal ini dikuatkan oleh peta yang dikeluarkan oleh *inrisk* BNPB.

Hasil peta kerentanan berdasarkan perhitungan parameter seismik di Kapanewon Berbah diperkuat dengan peta kerentanan gempa yang dikeluarkan oleh *Inrisk* BNPB, seperti pada **Gambar 5.15**. didalam gambar tersebut terlihat bahwa wilayah dengan kerentanan gempa bumi tinggi pada Kabupaten Sleman terletak di wilayah Kapanewon Berbah bagian selatan.



Gambar 5.15 Peta Risiko Bencana Gempa Bumi DI Yogyakarta
(Inrisk BNPB, 2019)

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan data dan pembahasan penelitian kerentanan seismik di Kapanewon Berbah, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Distribusi nilai amplifikasi maksimal berada antara 1,621 – 15,810. Distribusi nilai frekuensi dominan berada antara 0,443 – 3,523 Hz. Distribusi nilai periode dominan berada antara 0,284 – 2,259 s. distribusi nilai indeks kerentanan seismik berkisar antara 1,860 – 564,634 dengan wilayah yang mempunyai nilai relatif tinggi berada di bagian selatan Kapanewon Berbah, tepatnya di Kelurahan Tegaltirto.
2. Nilai PGA berdasarkan perhitungan dengan metode kanai berada pada kisaran 290,049 – 830,451 gal atau 0,296 – 0,847 g atau 7,353 – 9,025 MMI.
3. Wilayah di bagian selatan Kapanewon Berbah mempunyai tingkat kerentanan seismik yang relatif lebih tinggi, wilayah tersebut adalah Kelurahan Tegaltirto dan Jogotirto.

6.2 Saran

Setelah dilakukan rangkaian proses penelitian ini, maka diperoleh beberapa hal yang dapat dijadikan saran untuk penelitian yang akan dilakukan lebih lanjut. Saran – saran tersebut adalah sebagai berikut.

1. Diperlukan metode penentuan PGA dengan Atenuasi terbaru, sehingga nantinya didapatkan nilai PGA dengan metode yang paling terbaru.
2. Diperlukan data pendukung seperti pengeboran, agar batuan penyusun dibawahnya dapat terpetakan secara akurat

3. Diperlukan analisis lebih lanjut terhadap hasil penelitian ini, agar dapat mengetahui nilai karakteristik dinamika tanah yang ada di Kapanewon Berbah.



DAFTAR PUSTAKA

- Arifudin, A. 2018. Karakteristik Situs dan Kerentanan Seismik di Kabupaten Klaten dengan Metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) dari Data Mikrotremor. Tesis. Dspace UII. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Ambarsari, D. 2017. Analisis Mikrotremor dengan Metode HVSr untuk Mikrozonasi Kabupaten Gunung Kidul Yogyakarta. Tugas Akhir. Repository ITS. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.
- Satria, A., Larasati, N., Lestari, W., dan Kusuma, Ira. 2020. Analisis Mikrotremor Berdasarkan Metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio untuk Mengetahui Indeks Kerentanan Seismik Kota Jambi. Jurnal Teknik Kebumihan. Vol.05 No.02:2715-5587. Jambi.
- Santoso. 2009. Morfologi dan Umur Perpindahan Alur Sungai Opak di Daerah Berbah Sleman. JSDG. Vol.19 No.4. Bandung.
- Sulistiyo, B. 2016. Landasan Konseptual Perencanaan dan Perancangan Health Spa Resost di Cangkringan Sleman DIY. Tugas Akhir. E-journal UAJY. Universitas Atma Jaya. Yogyakarta.
- Ansary. M., Helaly. A., Hasan, M., Kabir, M., Kahir, A., Bhuiya, M., Saha, S., Helaly, S. 2020. Assessment of Seismic Vulnerability Index of Gas Network Area in Dhaka City Using Microtremor Measurement. ResearchGate. Japan. 18 September.
- Anonim. Tanpa Tahun. Magnitudo Gempa. P2K UNKRIS. (https://p2k.unkris.ac.id/id3/1-3065-2962/Magnitudo_92156_p2k-unkris.html). Diakses 20 Maret 2022.
- Sitorus, N., Purwanto, S., dan Utama, W. 2017. Analisis Nilai Frekuensi Natural dan Amplifikasi Desa Olak Alen Blitar Menggunakan Metode Mikrotremor HVSr. Jurnal Geosaintek. Vol.03 No.02.

Anonim. 2018. Peta Mikrozonasi Diperlukan Untuk Melihat Potensi Gempa. Layanan Informasi BPIW. (<https://bpiw.pu.go.id/article/detail/peta-mikrozonasi-diperlukan-untuk-melihat-potensi-gempa#:~:text=Mikrozonasi%20adalah%20salah%20satu%20teknik,dan%20jenis%20tanah%20di%20permukaan>). Diakses 2 Maret 2022.

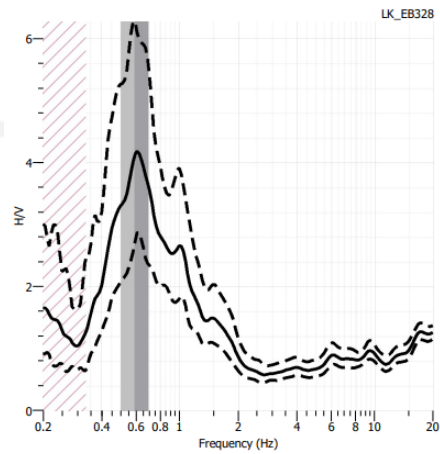
Anonim. Tanpa Tahun. Triton Digital Seismic Sensor User Guide. Inti Geopractice. Jakarta Timur.

Maimun, A., Silvia, U., Julia, V., dan Ariyanto, P. 2020. Analisis Indeks Kerentanan Seismik, Periode Dominan, dan Faktor Amplifikasi Menggunakan Metode HVSR di STAGEOF Tangerang. Jurnal Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. Vo7 No.02. Tangerang Selatan.

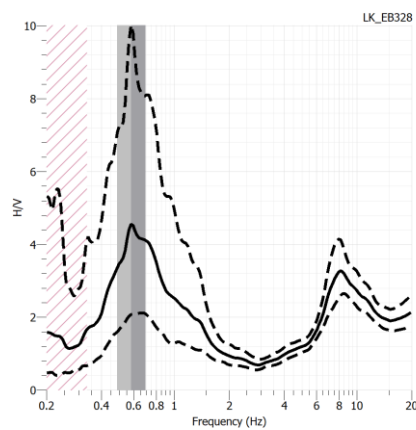
The logo of Universitas Islam Indonesia is a large, light gray watermark in the background. It features a central emblem with a stylized minaret or dome shape. The word "ISLAM" is at the top, "UNIVERSITAS" is on the left, and "INDONESIA" is on the right. At the bottom, there is Arabic calligraphy.

LAMPIRAN

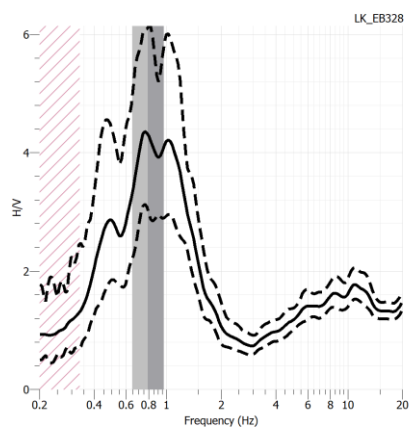
Lampiran 1 Gambar Kurva HVSR



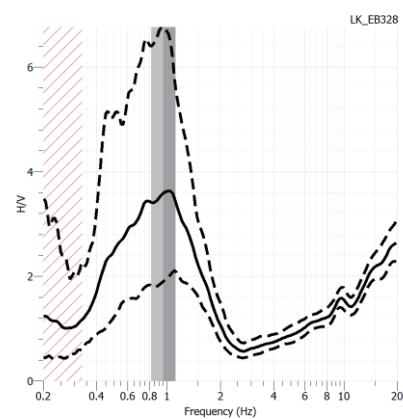
Gambar L-1.2 Kurva HVSR Titik 1



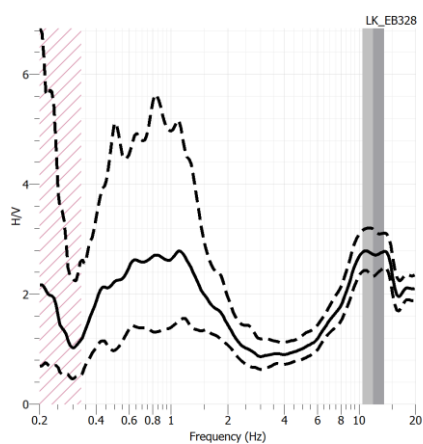
Gambar L-1.2 Kurva HVSR Titik 2



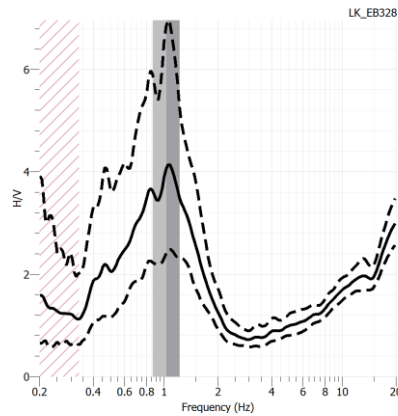
Gambar L-1.3 Kurva HVSR Titik 3



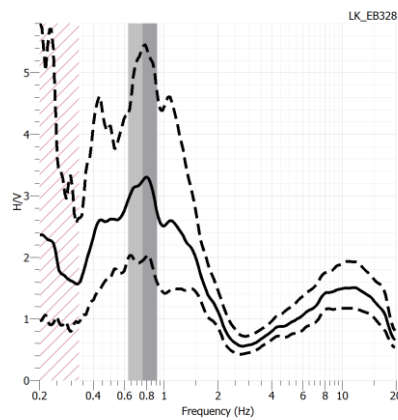
Gambar L-1.4 Kurva HVSR Titik 4



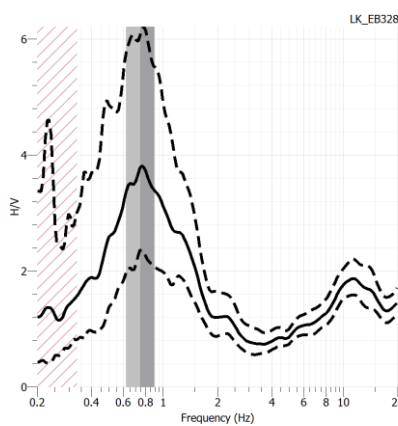
Gambar L-1.5 Kurva HVSR Titik 5



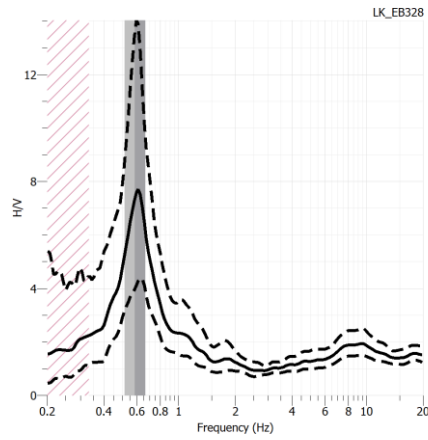
Gambar L-1.6 Kurva HVSR Titik 6



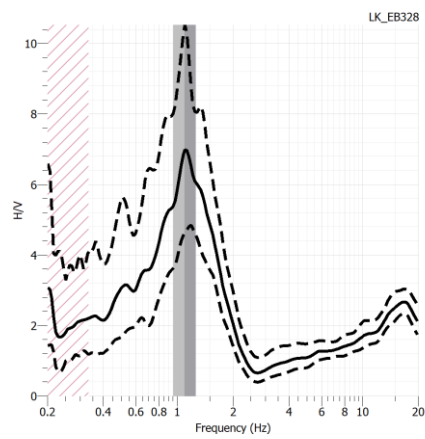
Gambar L-1.7 Kurva HVSR Titik 7



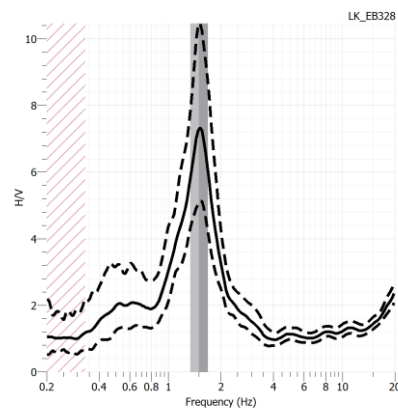
Gambar L-1.8 Kurva HVSR Titik 8



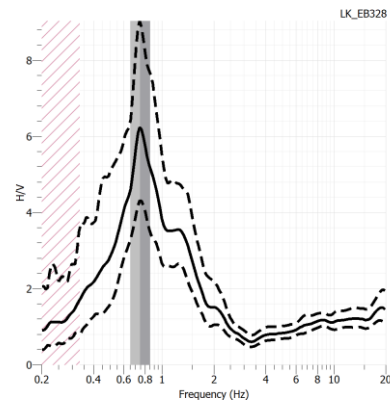
Gambar L-1.9 Kurva HVSR Titik 9



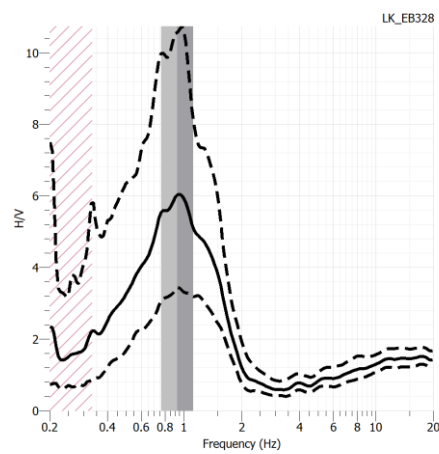
Gambar L-1.10 Kurva HVSR Titik 10



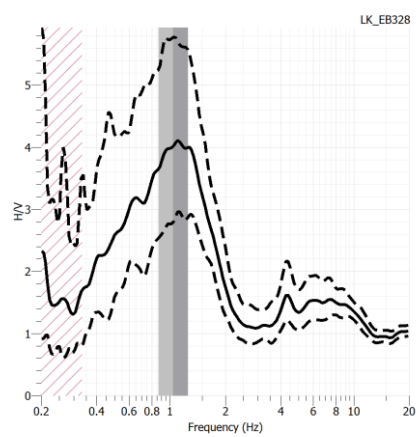
Gambar L-1.11 Kurva HVSR Titik 11



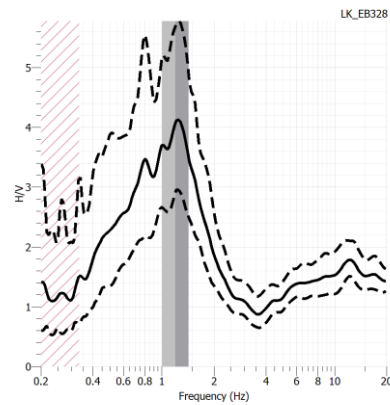
Gambar L-1.12 Kurva HVSR Titik 12



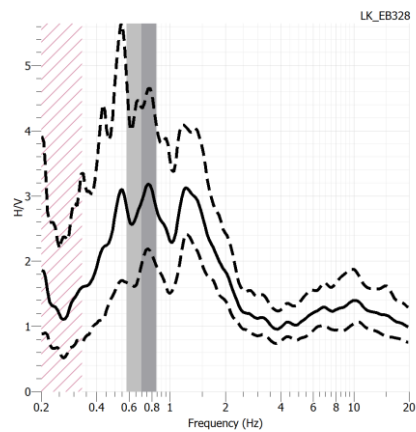
Gambar L-1.13 Kurva HVSR Titik 13



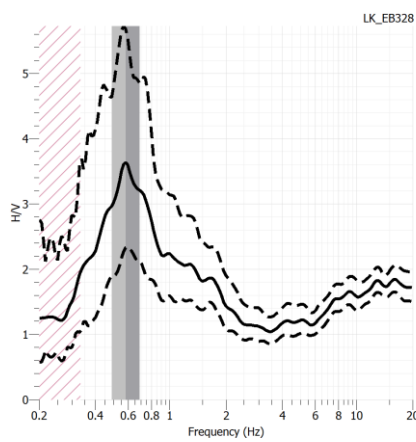
Gambar L-1.14 Kurva HVSR Titik 14



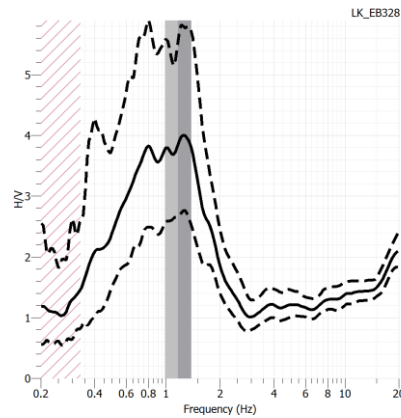
Gambar L-1.15 Kurva HVSR Titik 15



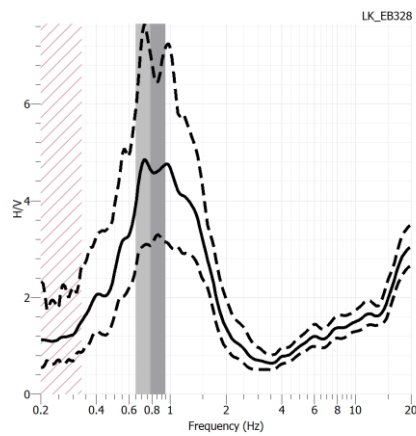
Gambar L-1.16 Kurva HVSR Titik 16



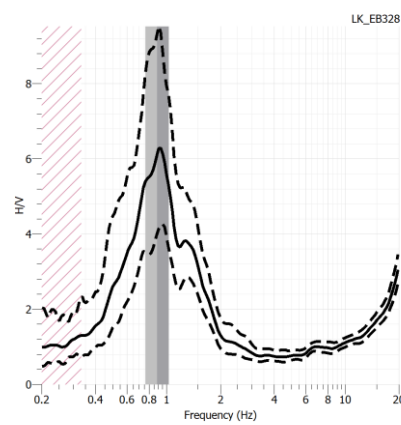
Gambar L-1.17 Kurva HVSR Titik 17



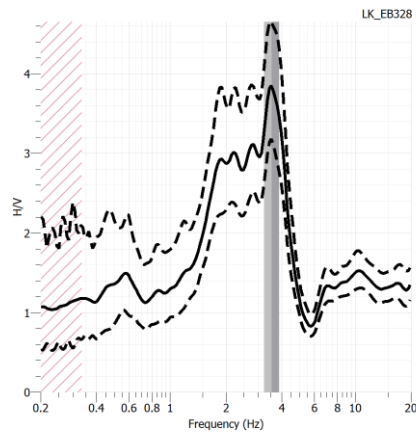
Gambar L-1.18 Kurva HVSR Titik 18



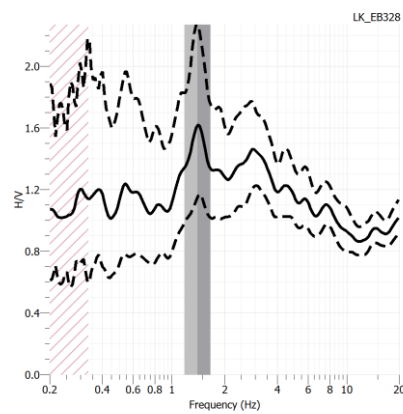
Gambar L-1.19 Kurva HVSR Titik 19



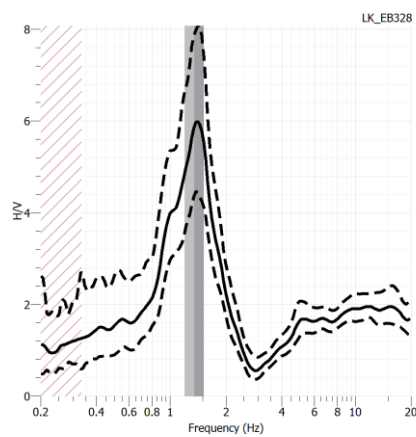
Gambar L-1.20 Kurva HVSR Titik 20



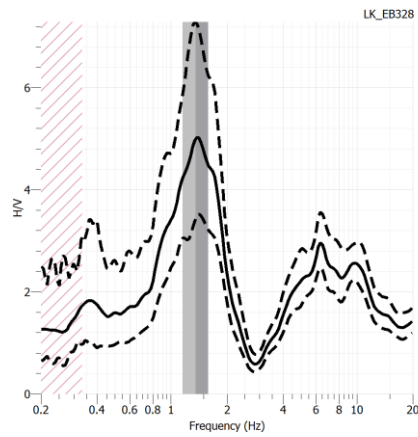
Gambar L-1.21 Kurva HVSR Titik 21



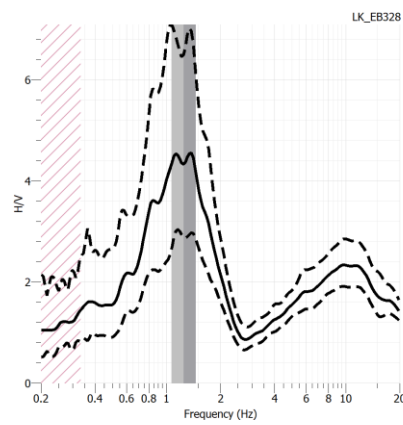
Gambar L-1.22 Kurva HVSR Titik 22



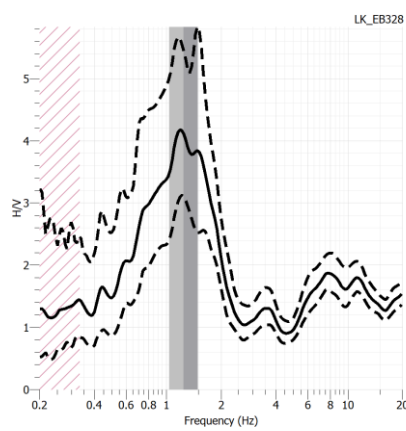
Gambar L-1.23 Kurva HVSR Titik 23



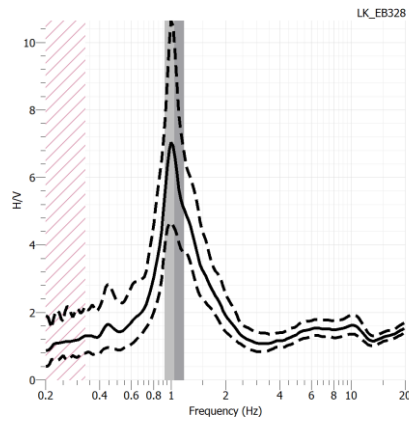
Gambar L-1.24 Kurva HVSR Titik 24



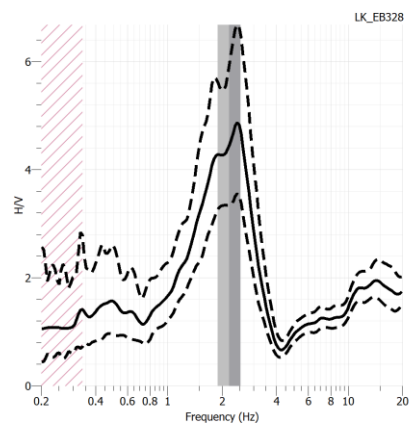
Gambar L-1.25 Kurva HVSR Titik 25



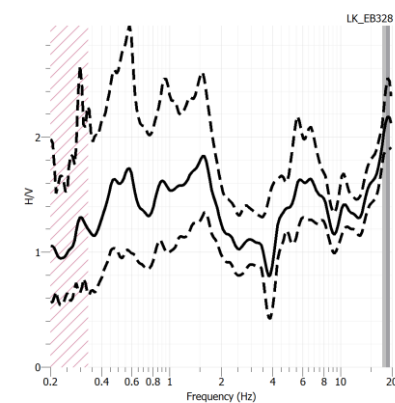
Gambar L-1.26 Kurva HVSR Titik 26



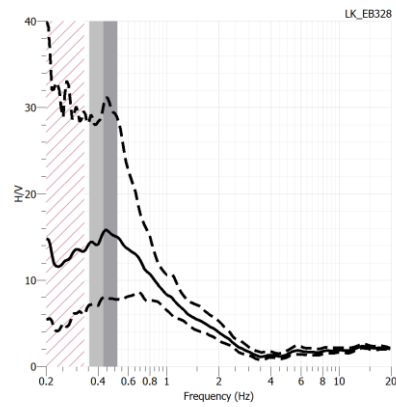
Gambar L-1.27 Kurva HVSR Titik 27



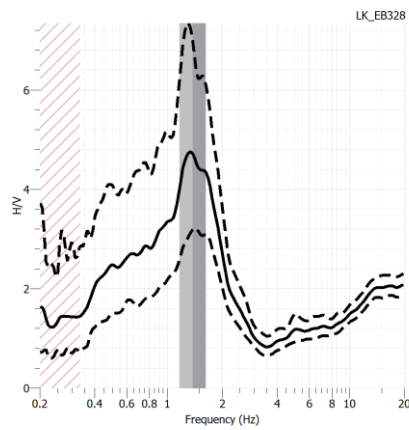
Gambar L-1.28 Kurva HVSR Titik 28



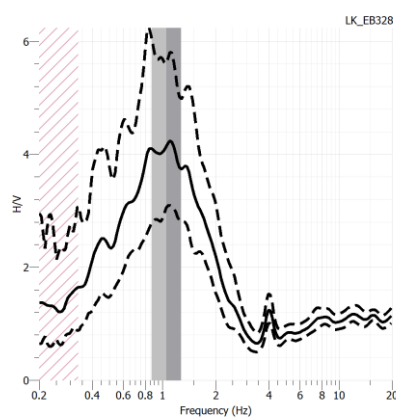
Gambar L-1.29 Kurva HVSR Titik 29 (Outlier)



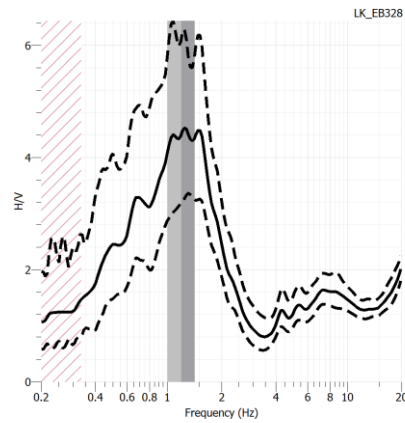
Gambar L-1.30 Kurva HVSR Titik 30



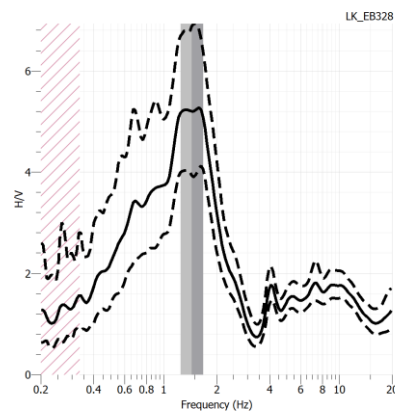
Gambar L-1.31 Kurva HVSR Titik 31



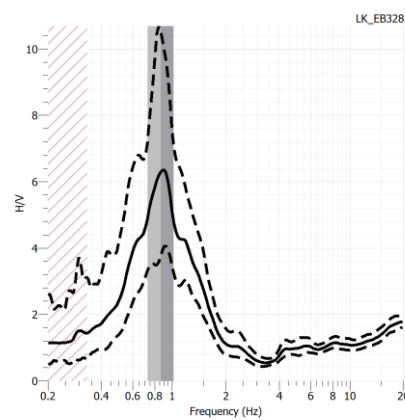
Gambar L-1.32 Kurva HVSR Titik 32



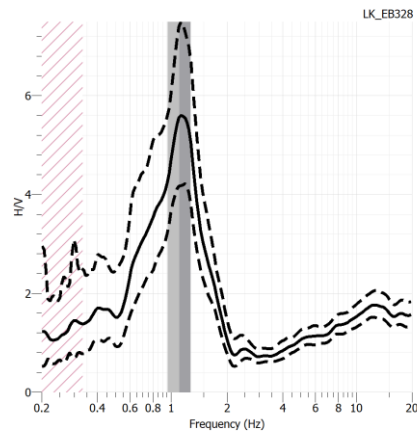
Gambar L-1.33 Kurva HVSR Titik 33



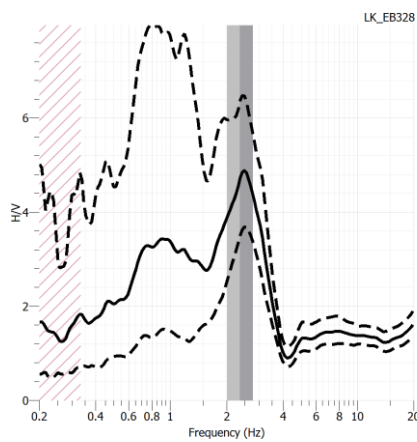
Gambar L-1.34 Kurva HVSR Titik 34



Gambar L-1.35 Kurva HVSR Titik 35

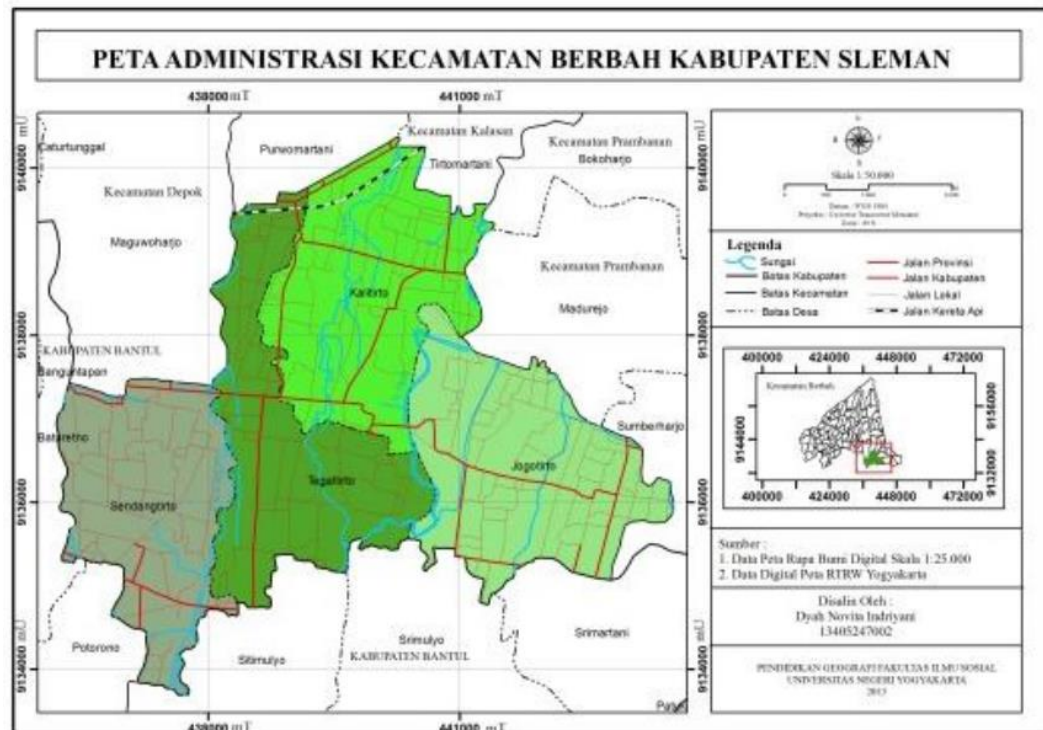


Gambar L-1.36 Kurva HVSR Titik 36



Gambar L-1.37 Kurva HVSR Titik 37

Lampiran 3 Gambar Peta Administrasi Kapanewon Berbah



Gambar L-3.1 Peta Administrasi Kapanewon Berbah
(UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA, INDRIYANI)

Lampiran 4 Dokumentasi Penelitian



Gambar L-4.1 Dokumentasi Penelitian



Gambar L-4.2 Dokumentasi Penelitian



Gambar L-4.3 Dokumentasi Penelitian



Gambar L-4.4 Dokumentasi Penelitian



Gambar L-4.5 Dokumentasi Penelitian



Gambar L-4.6 Dokumentasi Penelitian



Gambar L-4.7 Dokumentasi Penelitian

Lampiran 5 Surat Perizinan Penelitian di Kapanewon Berbah



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

PROGRAM STUDI
TEKNIK SIPIL

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

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

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

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

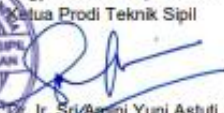
Berdasarkan alasan-alasan tersebut diatas, maka dengan ini kami mohon bantuannya untuk dapat memberikan izin Penelitian dan Pengambilan Data untuk keperluan penyusunan Tugas Akhir bagi mahasiswa Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta. Adapun nama mahasiswa tersebut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

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

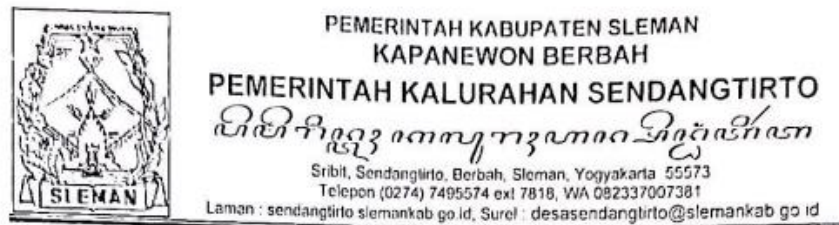
Demikian permohonan ini kami sampaikan, atas bantuan dan kerjasamanya kami ucapkan banyak terima kasih.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, 22 April 2022
Ketua Prodi Teknik Sipil
Dr. Ir. Sri Benini Yuni Astuti, MT




Lampiran 6 Surat Balasan Perzinan Penelitian di Kapanewon Berbah



SURAT KETERANGAN IJIN PENELITIAN

Nomor : 01 / ST / IV / 2022

Pemerintah Kalurahan Sendangtirta Kapanewon Berbah Kabupaten Sleman Daerah Istimewa Yogyakarta, dengan ini memberikan ijin penelitian kepada:

Nama	: 1. Diina Romiizahathuuf Haniifah 2. Muhammad Kevin Fadhilul Azyam
Perguruan Tinggi/Instansi	: Universitas Islam Indonesia
Program Studi	: Teknik Sipil
Lokasi Penelitian	: Kalurahan Sendangtirta, Kapanewon Berbah, Kabupaten Sleman 55573

Demikian Surat Keterangan Ijin Penelitian ini diberikan kepada yang bersangkutan untuk dipergunakan seperlunya.

Sendangtirta, 26 April 2022

