

TUGAS AKHIR

**PEMETAAN KERENTANAN GEMPA DI
KECAMATAN PACITAN KABUPATEN PACITAN
MENGUNAKAN PENGUKURAN MIKROTREMOR
DENGAN METODE HVSR
(*EARTHQUAKE VULNERABILITY MAPPING IN
PACITAN SUB-DISTRICT, PACITAN REGENCY
USING MICROTREMOR MEASUREMENT WITH HVSR
METHOD*)**

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



**Muhammad Kanz Aiman
19511258**

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

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, Juli 2023

Yang membuat pernyataan,



Muhammad Kanz Aiman

(19511258)

TUGAS AKHIR

PEMETAAN KERENTANAN GEMPA DI
KECAMATAN PACITAN KABUPATEN PACITAN
MENGUNAKAN PENGUKURAN MIKROTREMOR
DENGAN METODE HVSR
(*EARTHQUAKE VULNERABILITY MAPPING IN
PACITAN SUB-DISTRICT, PACITAN REGENCY
USING MICROTREMOR MEASUREMENT WITH HVSR
METHOD*)

Disusun oleh

Muhammad Kanz Aiman
19511258

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

Diuji pada tanggal 14 Agustus 2023

Oleh Dewan Penguji

Pembimbing I



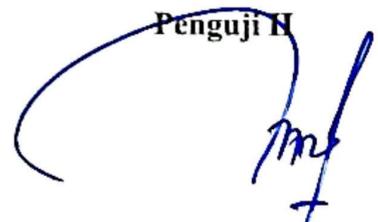
Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T.
NIP: 185111304

Penguji I



Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D.
NIP: 095110101

Penguji II

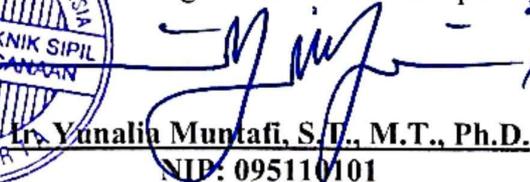


Jafar, S.T., MURP., M.T.
NIP: 18511305



Mengesahkan,

Dewan Program Studi, Teknik Sipil


Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D.
NIP: 095110101

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah *rabbil'alaamiin*, puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“Pemetaan Kerentanan Gempa Di Kecamatan Pacitan Kabupaten Pacitan Menggunakan Pengukuran Mikrotremor Dengan Metode HVSR”**. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini banyak hambatan yang dihadapi penulis, namun berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, *alhamdulillah* Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sedalam - dalamnya kepada:

1. Ibu 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 membimbing, memberi arahan, saran, nasihat, serta motivasi dan dorongan kepada penulis dalam pengerjaan Tugas Akhir hingga selesai,
3. Seluruh Dosen, yang telah memberikan banyak ilmu kepada penulis selama menempuh studi di Program Studi Teknik Sipil, FTSP UII
4. Kedua orang tua penulis, yang senantiasa memberikan doa, mengorbankan banyak waktu maupun material, dan menjadi penyemangat kepada penulis untuk dapat segera menyelesaikan Tugas Akhir ini,
5. Aninda Ayu Ramadhini, Siti Utami Dwi Putri, M. Rahmadhian A.P, Wahyu Utama selaku kakak dan keluarga besar penulis yang tidak dapat sebutkan satu persatu yang selalu memberikan doa, dukungan, dan semangat kepada penulis,

6. Sadlika Shafana Mecca, Zayyan Aranza Rahmadhian, dan Tabina Athaya Myesha selaku keponakan penulis yang selalu memberikan dorongan semangat dan pengingat kepada penulis,
7. Annisa Febriana selaku *support system* yang selalu menjadi motivasi, tempat keluh kesah, dan pengingat untuk penulis hingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini,
8. Elzan Faiqal Hudha selaku partner dalam penelitian ini yang selalu membantu dan mendukung penulis agar terselesaikannya Tugas Akhir ini,
9. Mas Adi Sulistio selaku operator dalam penelitian ini yang banyak membantu dan men-*support* penulis dan partner penulis di segala situasi,
10. Diinaa, Kevin, Alhilal, Fadhil, Sabilla, Andien, Hasna, Trio, Genta, Ilham dan Dania selaku teman – teman seperjuangan kuliah yang selalu mendukung, memberikan semangat, dan membantu penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini,
11. Salman Mutashim Billah selaku teman penulis yang telah membantu dalam mengakomodasi kendaraan demi kelancaran penelitian ini,
12. Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian penelitian Tugas Akhir ini.

Penulis sadar bahwa Proposal Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Penulis berharap semoga hasil penelitian ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca. Akhir kata penulis berharap hasil karya tulis ini dapat berguna dan berfaedah sebagai ilmu pengetahuan bagi pembaca.

Yogyakarta, Agustus 2023
Penulis,



Muhammad Kanz Aiman

1951158

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	ii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xiv
ABSTRAK	xvi
<i>ABSTRACT</i>	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Penelitian Terdahulu	6
2.1.1 Analisis Parameter Mikrotremor di Kawasan Jalur Sesar Grindulu Pacitan	6
2.1.2 Karakteristik Situs dan Kerentanan Seismik di Kabupaten Klaten Dengan Metode <i>Horizontal To Vertical Spectral Ratio</i> (HVSR) Dari Data Mikrotremor	8
2.1.3 Analisis Indeks Kerentanan Seismik Dengan Metode HVSR di Kecamatan Wedi Kabupaten Klaten	12

2.1.4 Mikrozonasi Indeks Kerentanan Seismik di Kecamatan Tambak Kabupaten Banyumas Jawa Tengah Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor	15
2.1.5 Mikrozonasi Seismik Dengan Menggunakan Metode HVSR (<i>Horizontal To Vertical Spectral Ratio</i>) di Distrik Jayapura Utara dan Selatan	18
2.2 Perbandingan Penelitian	23
2.3 Keaslian Penelitian	28
BAB III LANDASAN TEORI	29
3.1 Kondisi Geologi	29
3.1.1 Kondisi Geologi Pacitan	29
3.2 Gempa Bumi	30
3.2.1 Pengertian Gempa Bumi	30
3.2.2 Parameter Gempa Bumi	32
3.3 Mikrotremor	37
3.4 Mikrozonasi	37
3.5 Uji <i>Outlier</i>	38
3.6 Metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR)	39
3.7 Frekuensi Dominan (F_0)	40
3.8 Periode Dominan (T_0)	42
3.9 Amplifikasi Maksimal (A_g)	42
3.10 Indeks Kerentanan Seismik (K_g)	43
3.11 Percepatan Tanah Maksimum (PGA)	44
3.12 Peta Kerentanan Gempa Bumi	46
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN	48
4.1 Lokasi Penelitian	48
4.2 Peralatan	48
4.3 Teknik Pengumpulan Data	50
4.4 Pengolahan Data	53
4.4.1 Pengolahan Data Mikrotremor	53

4.4.2 Perhitungan Frekuensi Natural (f_0), Amplifikasi (A_0), Periode dominan (T_0)	54
4.4.3 Perhitungan Indeks Kerentanan Seismik (K_g)	55
4.4.4 Perhitungan Percepatan Tanah Maksimum (PGA)	55
4.4.5 Peta Kerentanan Gempabumi	56
4.5 Diagram Alur Penelitian	57
BAB V ANALISIS, HASIL DAN PEMBAHASAN	59
5.1 Pengambilan Data di Lapangan	59
5.2 Uji Outlier	60
5.3 Analisis Data Mikrotremor	64
5.4 Analisis Nilai Faktor Amplifikasi Tanah (A_g)	68
5.5 Analisis Nilai Frekuensi Dominan Tanah (F_g)	71
5.6 Analisis Nilai Periode Dominan Tanah (T_g)	74
5.7 Analisis Nilai Indeks Kerentanan Seismik (K_g)	77
5.8 Analisis <i>Peak Ground Acceleration</i> (PGA)	80
5.8.1 Menentukan Jarak Episentrum	81
5.8.2 Menentukan Jarak Hiposentrum (R)	82
5.8.3 Analisis Nilai <i>Peak Ground Acceleration</i> (PGA)	82
5.9 Hubungan Antara Nilai A_g , F_g , K_g dan PGA	88
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	91
6.1 Kesimpulan	91
6.2 Saran	92
DAFTAR PUSTAKA	93

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Peta Lempeng Tektonik Indonesia	1
Gambar 2.1 Mikrozonasi Nilai Frekuensi Predominan (f_g), Topografi dan Geologi di Kawasan Jalur Sesar Grindulu	7
Gambar 2.2 Mikrozonasi Nilai Faktor Amplifikasi (A_g), Topografi dan Geologi di Kawasan Jalur Sesar Grindulu	8
Gambar 2.3 Peta Faktor Amplifikasi Tanah (A_g)	9
Gambar 2.4 Peta Frekuensi Dominan Tanah (F_g)	10
Gambar 2.5 Peta Periode Dominan Tanah (T_g)	11
Gambar 2.6 Peta Indeks Kerentanan Seismik (K_g)	11
Gambar 2.7 Peta Nilai PGA Kanai (gal)	12
Gambar 2.8 Mikrozonasi Frekuensi Dominan (f_o) di Kecamatan Wedi	13
Gambar 2.9 Peta Mikrozonasi Nilai Amplifikasi (A_o) di Kecamatan Wedi dan sekitarnya	14
Gambar 2.10 Mikrozonasi Kecepatan Gelombang Geser Pada Batuan Dasar (v_b) di Kecamatan Wedi	14
Gambar 2.11 Peta Mikrozonasi Nilai Indeks Kerentanan Seismik (K_g) di Kecamatan Wedi	15
Gambar 2.12 Mikrozonasi Persebaran Nilai Frekuensi Predominan	16
Gambar 2.13 Persebaran Nilai A_o di Kecamatan Tambak	17
Gambar 2.14 Mikrozonasi Nilai Indeks Kerentanan Seismik di Kecamatan Tambak	18
Gambar 2.15 Peta Penyebaran Titik Pengukuran Mikrotremor di Distrik Jayapura Utara dan Selatan	19
Gambar 2.16 Contoh Hasil Kurva H/V Pada Titik JP041 dan JP125	19
Gambar 2.17 Peta Penyebaran Frekuensi Dominan Wilayah Distrik Jayapura Utara Dan Selatan	20

Gambar 2.18 Peta Penyebaran Periode Dominan Wilayah Distrik Jayapura Utara dan Selatan	21
Gambar 2.19 Peta Penyebaran Nilai Faktor Amplifikasi Wilayah Distrik Jayapura Utara dan Selatan	21
Gambar 2.20 Peta Indeks Kerentanan Seismik di Wilayah Distrik Jayapura Utara dan Selatan	22
Gambar 3.1 Kondisi Geologi Kecamatan Pacitan	30
Gambar 3.2 Ilustrasi Teori Kekenyalan Elastis	31
Gambar 3.3 Gelombang Primer	32
Gambar 3.4 Gelombang Sekunder	33
Gambar 3.5 Titik Episenter dan Hiposenter	34
Gambar 3.6 Contoh Hasil Pengukuran Sinyal Mikrotremor di Distrik Jayapura	37
Gambar 3.7 Kurva H/V dengan Metode HVSR	39
Gambar 3.8 Ilustrasi Cekungan Berisi Material Sedimen Halus	40
Gambar 3.9 Contoh Peta Bahaya Gempabumi	47
Gambar 4.1 Peta Lokasi Penelitian	48
Gambar 4.2 Perangkat Keras Pengukuran Mikrotremor	50
Gambar 4.3 Grid Lokasi Penelitian Interval $\pm 1,5 \times 1,5$ km	51
Gambar 4.4 Sinyal Rekaman Mikrotremor Tiga Komponen	53
Gambar 4.5 Contoh <i>Windowing</i> Sinyal Mikrotremor	54
Gambar 4.6 Contoh Kurva H/V	55
Gambar 4.7 Peta Persebaran Nilai Indeks Kerentanan Seismik (Kg)	56
Gambar 4.8 Peta Persebaran Nilai <i>Peak Ground Acceleration</i> (PGA) gal	57
Gambar 4.9 Diagram Alur Penelitian	58
Gambar 5.1 Persiapan Instrument Alat di Lokasi Titik Penelitian	59
Gambar 5.2 Proses Perekaman Sinyal Mikrotremor	60
Gambar 5.3 Peta Persebaran Lokasi Titik Pengukuran Mikrotremor	65
Gambar 5.4 Grafik Seismogram Hasil Perekaman Mikrotremor Titik 29	66
Gambar 5.5 <i>Filtering Options</i> Untuk <i>Windowing</i> Sinyal Mikrotremor Titik 29	66
Gambar 5.6 <i>Windowing</i> Sinyal Mikrotremor Titik 29	67
Gambar 5.7 Grafik Kurva HVSR Titik 29	67

Gambar 5.8 Nilai Puncak Kurva HVSR Titik 29	68
Gambar 5.9 Peta Persebaran Nilai Faktor Amplifikasi Tanah (A_g)	70
Gambar 5.10 Peta Persebaran Nilai Frekuensi Dominan Tanah (F_g)	73
Gambar 5.11 Peta Persebaran Nilai Periode Dominan Tanah (T_g)	76
Gambar 5.12 Peta Persebaran Nilai Indeks Kerentanan Seismik (K_g)	79
Gambar 5.13 Koordinat Titik Pusat Gempa Pacitan 8 Juni 2023	81
Gambar 5.14 Peta Persebaran Nilai <i>Peak Ground Acceleration</i> (PGA) gal	86
Gambar 5.15 Peta Persebaran Nilai <i>Peak Ground Acceleration</i> (PGA) g	86
Gambar 5.16 Peta Persebaran Nilai <i>Peak Ground Acceleration</i> (PGA) MMI	87

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Rangkuman Penelitian Terdahulu	23
Tabel 3.1 Intensitas Gempa Bumi Skala MMI (<i>Modified Mercally Intensity</i>)	36
Tabel 3.2 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Frekuensi Dominan Menurut Kanai	41
Tabel 3.3 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Periode Dominan Menurut Kanai	42
Tabel 3.4 Klasifikasi Nilai Faktor Amplifikasi	43
Tabel 4.1 Syarat Teknis Pengukuran Mikrotremor	52
Tabel 5.1 Analisis <i>Outlier</i> Nilai Frekuensi Dominan (F_g)	61
Tabel 5.2 Analisis <i>Outlier</i> Nilai Amplifikasi Dominan (A_g)	62
Tabel 5.3 Analisis <i>Outlier</i> Nilai Percepatan Tanah Maksimum (PGA)	63
Tabel 5.4 Nilai Amplifikasi Tanah (A_g) di Kecamatan Pacitan	69
Tabel 5.5 Nilai Frekuensi Dominan Tanah (F_g) di Kecamatan Pacitan	72
Tabel 5.6 Nilai Periode Dominan Tanah (T_g) di Kecamatan Pacitan	75
Tabel 5.7 Nilai Indeks Kerentanan Seismik (K_g) di Kecamatan Pacitan	78
Tabel 5.8 Data Gempa Pacitan 8 Juni 2023	80
Tabel 5.9 Nilai <i>Peak Ground Acceleration</i> (PGA) gal di Kecamatan Pacitan	83
Tabel 5.10 Nilai <i>Peak Ground Acceleration</i> (PGA) g di Kecamatan Pacitan	84
Tabel 5.11 Nilai <i>Peak Ground Acceleration</i> (PGA) MMI di Kecamatan Pacitan	84
Tabel 5.12 Nilai Hubungan A_g , F_g , K_g dan PGA	88

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Gambar Kurva HVSR	97
Lampiran 2 Gambar Peta Geologi Kabupaten Pacitan	113
Lampiran 3 Gambar Peta Administrasi Kecamatan Pacitan	115
Lampiran 4 Dokumentasi Penelitian	116
Lampiran 5 Surat Perizinan Penelitian di Kecamatan Pacitan	122
Lampiran 6 Surat Balasan Perizinan Penelitian dari Kecamatan Pacitan	123

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

LS	= Lintang Selatan
BT	= Bujur Timur
M	= Magnitudo
f	= Frekuensi
\bar{X}	= Nilai Rata – Rata Data
$\sum X$	= Nilai dari Jumlah Data
n	= Banaknya Data ke - n
x_i	= Nilai Pada Data ke - i
T_H	= Faktor Amplifikasi dari Gerakan Horizontal
T_V	= Faktor Amplifikasi dari Gerakan Vertikal
S_{HS}	= Spektrum Komponen Gerak Horizontal di Permukaan Tanah
S_{HB}	= Spektrum Komponen Gerak Horizontal di Dasar Lapisan Tanah
S_{VS}	= Spektrum Komponen Gerak Vertikal di Permukaan Tanah
S_{VB}	= Spektrum Komponen Gerak Vertikal di Dasar Lapisan Tanah
$HVSR$	= <i>Horizontal to Vertical Spectral Ratio</i>
T_{SITE}	= <i>Site Effect</i>
$S_{utara-selatan}$	= Gelombang Seismik Horizontal Utara - Selatan
$S_{batrat-timur}$	= Gelombang Seismik Horizontal Barat - Timur
$S_{vertikal}$	= Gelombang Seismik Vertikal
T_0	= Periode Dominan
F_0	= Frekuensi Natural
A_0	= Faktor Amplifikasi Tanah
P_b	= Nilai Densitas Batuan Dasar (gr/ml)
P_s	= Nilai Densitas Batuan Lunak (gr/ml)
V_b	= Nilai Cepat Rambat Gelombang pada Batuan Dasar (m/dt)
V_s	= Nilai Cepat Rambat Gelombang pada Batuan Lunak (m/dt)
K_g	= Indeks Kerentanan Seismik
A_g	= Nilai Amplifikasi Maksimal
f_g	= Frekuensi Dominan (Hz)

PGA	= <i>Peak Ground Acceleration</i>
α	= Nilai Percepatan Tanah di Bawah Permukaan (gal)
T_g	= Periode Predominan Tanah (s)
R	= Jarak Kedalaman Gempabumi
α_g	= Percepatan di Batuan Dasar

ABSTRAK

Kecamatan Pacitan dilalui oleh sesar Grindulu yang merupakan salah satu sesar aktif yang aktivitasnya dapat menimbulkan gempa bumi. Untuk meminimalisir dampak yang dapat terjadi adalah dengan melakukan mitigasi bencana berupa penelitian mengenai pemetaan kerentanan gempa sehingga dapat digunakan sebagai acuan dan informasi mitigasi bencana. Data parameter gempa yang dibutuhkan dalam penyusunan peta kerentanan gempa adalah data seperti A_g , F_g , T_g , K_g , dan PGA . Pengukuran mikrotremor pada penelitian ini dilakukan pada 47 titik dengan bantuan alat *Lunitek Digital Seismic Sensor*. Data hasil perekaman mikrotremor yang didapat kemudian diolah dengan metode HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) untuk mendapatkan kurva H/V. Kemudian hasil parameter – parameter yang telah didapat dianalisis menggunakan metode empiris Kanai dan menggunakan referensi gempa Pacitan pada 8 Juni 2023 untuk mendapatkan nilai PGA . Berdasarkan hasil penelitian didapatkan nilai A_g berkisar antara 1,548 sampai 8,830 dengan sebagian besar daerah termasuk kedalam klasifikasi zona sedang dan tinggi. Nilai F_g berkisar antara 0,612 sampai 26,035 Hz dengan sebagian besar daerah memiliki nilai frekuensi yang termasuk rendah dan sedang. Nilai T_g berkisar antara 0,038 hingga 1,635 s dengan sebagian besar daerah termasuk kedalam klasifikasi tanah lunak hingga sangat lunak. Nilai K_g berkisar antara 0,119 hingga 89,097 dengan wilayah yang memiliki nilai relatif tinggi berada di bagian selatan Kecamatan Pacitan. Nilai PGA berkisar antara 193,331 – 1265,530 gal. Melalui nilai – nilai tersebut diketahui bahwa wilayah dataran rendah tepatnya di Desa Nanggungun rentan dengan bencana gempa bumi dikarenakan kondisi tanah yang lunak. Namun, hal tersebut berbanding terbalik berdasarkan dengan parameter percepatan gerakan tanah maksimum, diketahui nilai kerentanan tertinggi berada di wilayah dataran tinggi tepatnya di Desa Bolosingo.

Kata kunci : Grindulu, Pacitan, Mikrotremor, HVSR, PGA

ABSTRACT

Pacitan sub-district is traversed by the Grindulu fault, which is one of the active faults whose activity can cause earthquakes. To minimize the impact that can occur is to conduct disaster mitigation in the form of research on earthquake vulnerability mapping so that it can be used as a reference and disaster mitigation information. Earthquake parameter data needed in the preparation of earthquake vulnerability maps are data such as A_g , F_g , T_g , K_g , and PGA. Microtremor measurements in this study were carried out at 47 points with the help of the Lunitek Digital Seismic Sensor tool. The microtremor recording data obtained was then processed with the HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) method to obtain the H/V curve. Then the results of the parameters that have been obtained are analyzed using the Kanai empirical method and using the Pacitan earthquake reference on June 8, 2023 to obtain the PGA value. Based on the results of the study, A_g values ranged from 1.548 to 8.830 with most areas included in the classification of medium and high zones. F_g values range from 0.612 to 26.035 Hz with most areas having low and medium frequency values. T_g values range from 0.038 to 1.635 s with most areas classified as soft to very soft soils. K_g values range from 0.119 to 89.097 with relatively high values in the southern part of Pacitan sub-district. PGA values range from 193.331 - 1265.530 gal. Through these values, it is known that the lowland area, precisely in Nanggungan Village, is vulnerable to earthquakes due to soft soil conditions. However, this is inversely proportional based on the maximum ground motion acceleration parameter, it is known that the highest vulnerability value is in the highland area, precisely in Bolosingo Village.

Keywords : *Grindulu, Pacitan, Mikrotremor, HVSR, PGA*

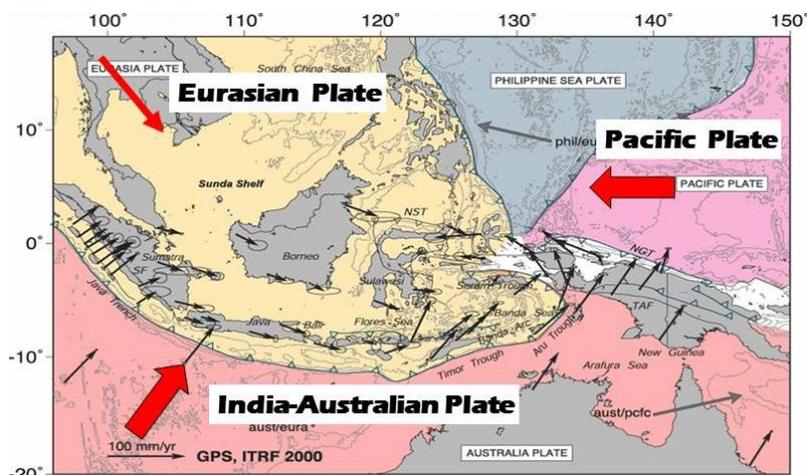
BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan wilayah yang dilalui oleh jalur pertemuan lempeng sehingga memiliki tingkat kerawanan gempa bumi yang tinggi. Secara geografis, Indonesia terletak di antara 3 lempeng tektonik dunia yaitu lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia, dan lempeng Pasifik. Besarnya kemungkinan interaksi pergeseran antar lempeng ini membuat wilayah Indonesia memiliki tingkat kemungkinan gempa bumi tektonik yang tinggi.

Gempa bumi adalah pergerakan lempeng bumi yang mengakibatkan timbulnya guncangan dan tekanan di wilayah yang terjadi gempa bumi (Wekke, 2021). Gempa bumi yang terjadi oleh pergeseran lempeng memicu pelepasan energi yang besar dari dalam bumi sehingga menciptakan gelombang seismik. Interaksi antar lempeng tersebut dapat menimbulkan zona subduksi di sekitar pertemuan lempeng, sehingga munculnya aktivitas pada zona subduksi di daerah yang terjadi pergeseran lempeng tersebut dapat menimbulkan sesar atau patahan. Berikut adalah gambar peta lempeng tektonik Indonesia pada **Gambar 1.1**.



Gambar 1.1 Peta Lempeng Tektonik Indonesia

(Sumber: Geoenviron, 2014)

Seperti gempa bumi yang terjadi di daerah Pacitan, Jawa Timur pada 8 Juni 2023. Tercatat bahwa gempa bumi tersebut berkekuatan 5,6 M pada kedalaman 35 km (USGS, 2023). Gempa yang menimpa daerah tersebut merupakan gempa dengan kedalaman menengah yang terjadi karena wilayah Pacitan berhadapan langsung dengan zona megathrust selatan Jawa dan adanya asosiasi aktivitas pada zona tersebut serta adanya deformasi batuan pada slab lempeng Indo-Australia yang tersubduksi yang menjadi pembangkit dari gempa tersebut. Selain itu, adanya patahan atau sesar pada daerah Pacitan yang juga dapat menjadi pemicu gempa tektonik. Sesar tersebut adalah Sesar Grindulu yang merupakan sesar aktif dengan pergerakan 5 mm/tahun dengan panjang ± 30 km yang melintang sejajar dengan Sungai Grindulu dan melewati 3 kecamatan yaitu kecamatan Arjosari, Tegalombo dan Pacitan (Zuliyanti, 2018).

Sumber dari gempa bumi yang besar ini berada di 117 km ke arah barat daya Kota Pacitan. Gempa yang mencapai skala intensitas IV MMI ini berdampak guncangan di sebaran permukiman penduduk dan tidak menyebabkan kerusakan bangunan (BMKG). Guncangan gempa bumi ini juga terasa hingga daerah Yogyakarta, Jawa Tengah dan Jawa Timur. Beberapa faktor yang dapat menyebabkan kerusakan bangunan antara lain faktor besarnya magnitudo, jarak hiposentrum gempa, kedalaman gempa, durasi getaran, kualitas bangunan, kondisi tanah dan keadaan geologi setempat.

Hasil kajian BMKG menyatakan adanya potensi gempa megathrust pada selatan Jawa Timur dengan magnitudo maksimum yaitu 8,7 SR, namun tidak memungkinkan untuk memperkirakan kapan datangnya, dan dimana lokasinya. Oleh karena itu, untuk meminimalisir dampak akibat dari bencana yang tidak dapat diperkirakan tersebut salah satunya adalah dengan melakukan mitigasi bencana. Upaya mitigasi bencana yang dapat dilakukan yaitu dengan melakukan penelitian di lapangan untuk memperhitungkan dan melihat daerah mana saja yang dapat terkena potensi kerusakan paling parah, serta tindakan apa yang harus dilakukan. Penelitian mengenai keadaan geologi dan kondisi tanah merupakan penelitian yang dapat dilakukan, karena tingkat kerusakan dapat dipengaruhi oleh dua faktor penting tersebut.

Berdasarkan kondisi geologi Kecamatan Pacitan Kabupaten Pacitan yang termasuk dalam daerah rawan bencana gempa bumi, maka dibutuhkanya identifikasi karakteristik dinamika tanah. Frekuensi natural dan amplifikasi merupakan karakteristik yang diidentifikasi, dan melakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai periode dominan tanah, kerentanan seismik, ketebalan lapisan sedimen, dan nilai percepatan tanah maksimum akibat bencana gempa bumi yang pernah terjadi di lokasi penelitian tersebut. Dengan adanya Peta kerentanan seismik bencana gempa bumi ini, tujuan yang diharapkan yaitu dapat menjadi referensi serta landasan dari informasi mitigasi bencana dan juga dapat digunakan dalam rencana pembangunan di Kecamatan Pacitan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang penelitian yang telah disebutkan di atas, maka rumusan masalah yang akan dibahas pada penelitian ini, yaitu:

1. Bagaimana karakteristik dinamika tanah berdasarkan nilai frekuensi dominan (F_g), amplifikasi maksimal (A_g), periode dominan (T_g) dan nilai indeks kerentanan seismik (K_g) di Kecamatan Pacitan berdasarkan data mikrotremor?
2. Bagaimana nilai percepatan tanah puncak (PGA) permukaan di Kecamatan Pacitan?
3. Bagaimana peta mikrozonasi indeks kerentanan seismik di Kecamatan Pacitan?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disebutkan di atas, maka tujuan penelitian yang ingin dicapai adalah sebagai berikut.

1. Untuk menentukan nilai frekuensi dominan (F_g), amplifikasi (A_g), periode dominan (T_g), dan nilai indeks kerentanan seismik (K_g) di Kecamatan Pacitan berdasarkan data mikrotremor.

2. Untuk mengetahui nilai percepatan tanah maksimum (PGA) permukaan di Kecamatan Pacitan berdasarkan referensi gempa Pacitan pada 8 Juni 2023.
3. Mengetahui peta mikrozonasi indeks kerentanan seismik di Kecamatan Pacitan, Kabupaten Pacitan.

1.4 Batasan Penelitian

Adanya batasan pada penelitian ini dimaksudkan agar penulis dapat menjadi lebih terfokus dan tidak ada hal yang keluar dari topik penelitian, serta bisa mendapatkan hasil yang optimal. Batasan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Lokasi penelitian tugas akhir ini dilakukan di wilayah Kecamatan Pacitan, Kabupaten Pacitan, Jawa Timur dengan koordinat geografis antara $111^{\circ}9'44,467''$ BT - $111^{\circ}9'37,712''$ BT dan $8^{\circ}7'30,984''$ LS - $8^{\circ}14'30,984''$ LS
2. Acuan pengambilan data mikrotremor mengikuti aturan yang ditetapkan oleh *SESAME European Research Project* (SESAME, 2004).
3. Analisis data menggunakan bantuan *software* Geopsy, dan metode yang digunakan dalam mengolah data adalah metode HVSR. *Software* dan metode ini digunakan untuk mendapatkan kurva H/V sehingga memperoleh faktor amplifikasi spektrum tanah dan frekuensi dominan tanah yang akan digunakan sebagai parameter perhitungan nilai percepatan tanah, dan indeks kerentanan seismik.
4. Parameter periode dominan dan referensi gempa Pacitan pada 8 Juni 2023 dapat menentukan percepatan tanah maksimum (PGA) permukaan dengan perhitungan empiris metode kanai.
5. Informasi pada penelitian ini berupa nilai periode dominan, amplifikasi, kerentanan tanah (K_g), nilai percepatan tanah maksimum (PGA) permukaan dan peta zonasi.
6. Pengambilan data mikrotremor diukur menggunakan *Digital Seismic Sensors* merk *Lunitek* dengan jarak pengukuran $\pm 1,5$ Km dan titik penelitian sebanyak 47 titik.

1.5 Manfaat Penelitian

Pembuatan peta mikrozonasi indeks kerentanan seismik pada Kecamatan Pacitan ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut.

1. Memberikan informasi mengenai indeks kerentanan seismik di wilayah Kecamatan Pacitan sehingga dapat diajukan sebagai acuan dalam menentukan lokasi perencanaan pembangunan infrastruktur tahan gempa.
2. Memberikan gambaran secara visual dari peta mikrozonasi indeks kerentanan seismik tentang daerah yang memiliki tingkat kerawanan gempabumi yang tinggi di Kecamatan Pacitan, Kabupaten Pacitan.
3. Memberikan wawasan dan ilmu pengetahuan kepada masyarakat serta dapat dijadikan media mitigasi dalam penanggulangan bencana yang dapat direkomendasikan kepada Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG).
4. Hasil penelitian ini diharapkan menambah wawasan serta ilmu bagi peneliti mengenai penjelasan alat mikrotremor beserta hasil yang didapatkan dan dapat menjelaskan tentang mikrozonasi kerentanan seismik di Kecamatan Pacitan, Kabupaten Pacitan.
5. Hasil penelitian ini diharapkan dapat dijadikan acuan atau literatur yang bermanfaat dan sebagai bahan evaluasi pada penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai mikrozonasi kerentanan seismik di berbagai daerah yang memiliki tingkat rawan gempa bumi yang cukup tinggi telah dilakukan dan dikaji menggunakan metode terkait oleh banyak peneliti sebelumnya, maka hal tersebut dapat dimanfaatkan penulis sebagai referensi dalam melakukan penelitian yang serupa. Berikut merupakan penelitian terdahulu yang dirujuk dalam penelitian ini.

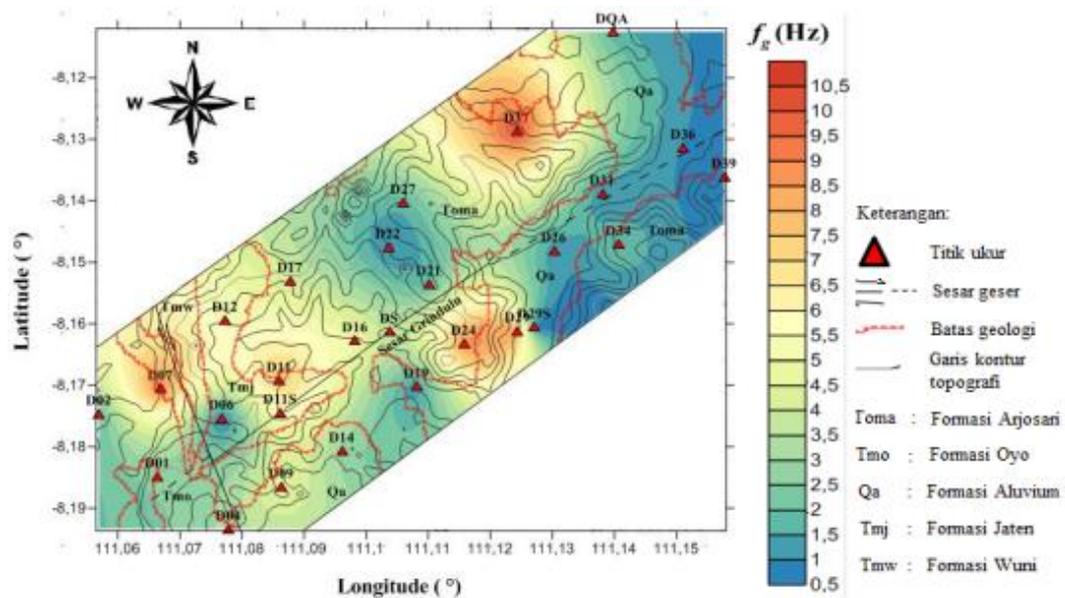
2.1.1 Analisis Parameter Mikrotremor di Kawasan Jalur Sesar Grindulu Pacitan

Rizka Zuliyanti (2018) telah melakukan penelitian mengenai tingkat kerawanan di daerah Kabupaten Pacitan, khususnya di Jalur Sesar Grindulu. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kategori rawan bencana gerakan tanah dan gempa bumi serta mengetahui keterkaitan antara arah sumber datang gelombang seismik di Kawasan Jalur Sesar Grindulu. Penelitian ini memvisualisasikan karakteristik geologi daerah penelitian terhadap potensi gempa bumi dalam mikrozonasi gempa bumi, model penampang seismik, dan *rose diagram* dari sumber arah datangnya gelombang seismik di Kawasan Jalur Sesar Grindulu. Mikrozonasi yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan data topografi yang dikorelasikan dengan ketebalan lapisan sedimen. Pengukuran mikrotremor menggunakan 3 komponen sinyal yang terdiri dari komponen sinyal vertikal, sinyal horizontal arah barat-timur, dan sinyal horizontal arah utara-selatan. Data-data yang didapatkan tersebut kemudian dianalisis dengan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr).

Hasil yang didapatkan dalam penelitian ini yaitu nilai frekuensi dominan (f_g) berkisar antara 0,55 Hz sampai 10,5 Hz, nilai faktor amplifikasi tanah (A_g) terendah

berada di angka 2,85 dan tertinggi di angka 27,15, nilai kecepatan gelombang (v_s) memiliki rentang 134,83 m/s sampai 2909,25 m/s, ketebalan lapisan sedimen berdasarkan penampang seismic di Kawasan Jalur Sesar Grindulu bernilai 7 – 66 meter, dan arah sumber datang gelombang seismik di kawasan jalur Sesar Grindulu rata-rata mengarah pada keberadaan jalur sesarnya.

Persebaran frekuensi dominan (f_g) yang didapatkan di kawasan jalur Sesar Grindulu bernilai antara 0,55 Hz sampai 10,5 Hz, berdasarkan mikrozonasi ditunjukkan dengan kontur warna biru tua untuk nilai terendah hingga kontur warna merah untuk nilai tertinggi. Mikrozonasi berdasarkan nilai frekuensi dominan dapat dilihat pada **Gambar 2.1**.

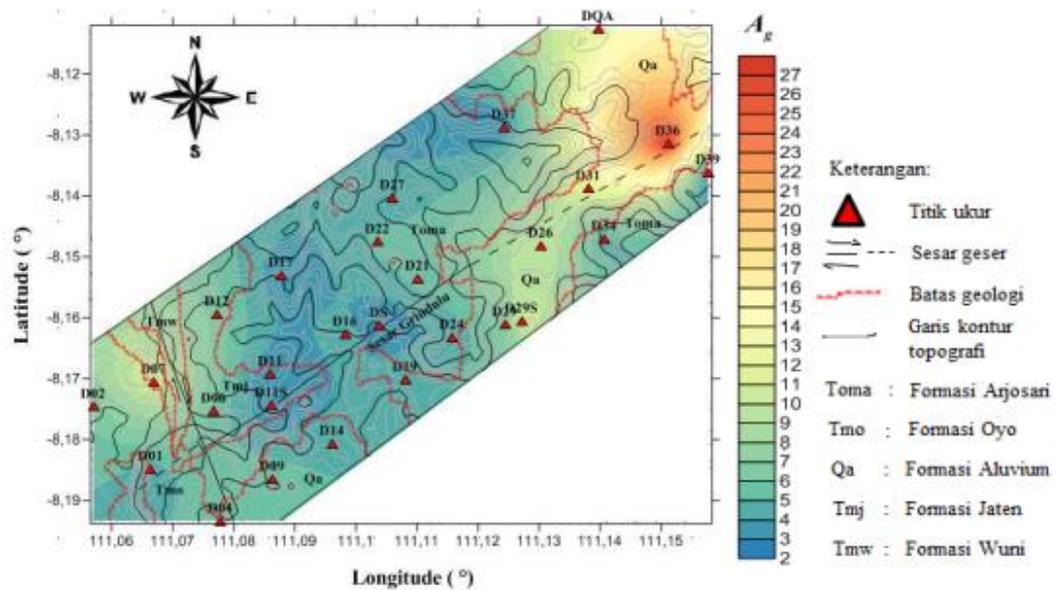


Gambar 2.1 Mikrozonasi Nilai Frekuensi Predominan (f_g), Topografi dan Geologi di Kawasan Jalur Sesar Grindulu

(Sumber: Zuliyanti, 2018)

Geologi penyusun di daerah penelitian tersebut berpengaruh pada nilai faktor amplifikasi. Sedimen-sedimen lunak yang tersusun di daerah tersebut dapat mengalami risiko kerusakan yang cukup berarti karena memungkinkan penguatan gelombang seismik yang relatif besar. Sehingga didapatkan persebaran nilai faktor amplifikasi (A_g) di Kawasan Jalur Sesar Grindulu memiliki rentang nilai antara 2,85

sampai 27,15. Mikrozonasi berdasarkan nilai faktor amplifikasi dapat dilihat pada **Gambar 2.2**.



Gambar 2.2 Mikrozonasi Nilai Faktor Amplifikasi (A_g), Topografi dan Geologi di Kawasan Jalur Sesar Grindulu

(Sumber: Zuliyanti, 2018)

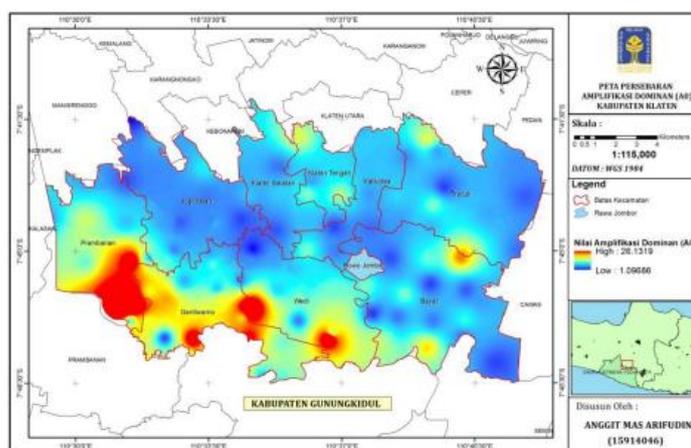
2.1.2 Karakteristik Situs dan Kerentanan Seismik di Kabupaten Klaten Dengan Metode *Horizontal To Vertical Spectral Ratio* (HVSr) Dari Data Mikrotremor

Anggit Mas Arifudin (2018) melakukan pengukuran mikrotremor untuk mengetahui nilai faktor amplifikasi tanah, frekuensi dominan, periode dominan dan ketebalan sedimen tanah serta membuat peta persebarannya. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik situs dan kerentanan seismik serta PGA (*Peak Ground Acceleration*) di Kabupaten Klaten dan membuat peta persebarannya dengan menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr) yang didapatkan dari data mikrotremor. Dilakukannya penelitian ini karena di daerah tersebut memiliki tingkat kegempaan yang tinggi dikarenakan pengaruh dari zona subduksi aktif. Salah satu bukti sejarah gempa di Indonesia yaitu gempa bumi Yogyakarta tahun 2006, yang mengakibatkan kerusakan besar di daerah sekitarnya. Gempa bumi sendiri tidak dapat diprediksi kapan datangnya dan dimana lokasinya,

oleh karena itu melakukan mitigasi bencana dengan mengetahui zona-zona rawan gempa bumi dan penyebab terjadinya adalah salah satu cara untuk meminimalisir kerusakan yang dapat terjadi.

Daerah penelitian ini meliputi 9 kecamatan di wilayah Kabupaten Klaten, yaitu Kecamatan Gantiwarno, Wedi, Bayat, Kalikotes, Klaten Tengah, Klaten Selatan, Jogonalan, Prambanan, Trucuk dan wilayah Kabupaten Gunung Kidul yang berbatasan dengan Klaten. Pengambilan data mikrotremor menggunakan alat *Digital Portable Seismograph* tipe TDL-303S dengan aturan yang mengacu pada SESAME 2004. Harapannya penelitian ini dapat memberikan manfaat seperti informasi daerah kerawanan gempa bumi, digunakan sebagai acuan pembangunan infrastruktur dan dapat menjadi literatur untuk penelitian-penelitian seterusnya.

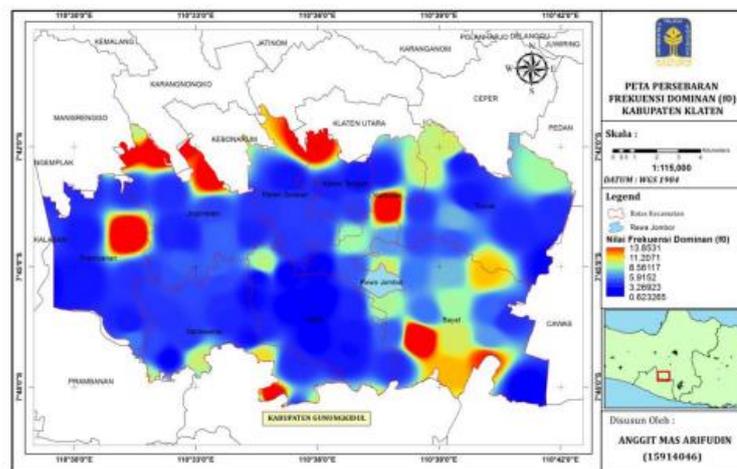
Dari hasil penelitian ini didapatkan, distribusi nilai faktor amplifikasi tanah yang berkisar antara 1,097 – 26,134. Nilai amplifikasi tanah merupakan puncak dari kurva HVSR. Karena nilai faktor amplifikasi adalah cerminan dari sifat fisik keras lunaknya sedimen, dapat diketahui jika nilai amplifikasi spektrum tanah besar maka sedimen di daerah tersebut semakin lunak, dan sebaliknya. Hal ini menunjukkan adanya perubahan impedansi dari per lapisan atau perubahan densitas, penyebab perubahan ini dapat terjadi karena perubahan kekompakan batuan. Dapat disimpulkan daerah dengan nilai faktor amplifikasi tanah yang tinggi menjadi lebih rentan terhadap guncangan gempa bumi. Mikrozonasi nilai faktor amplifikasi (A_g) dapat dilihat pada **Gambar 2.3**.



Gambar 2.3 Peta Faktor Amplifikasi Tanah (A_g)

(Sumber: Arifudin, 2018)

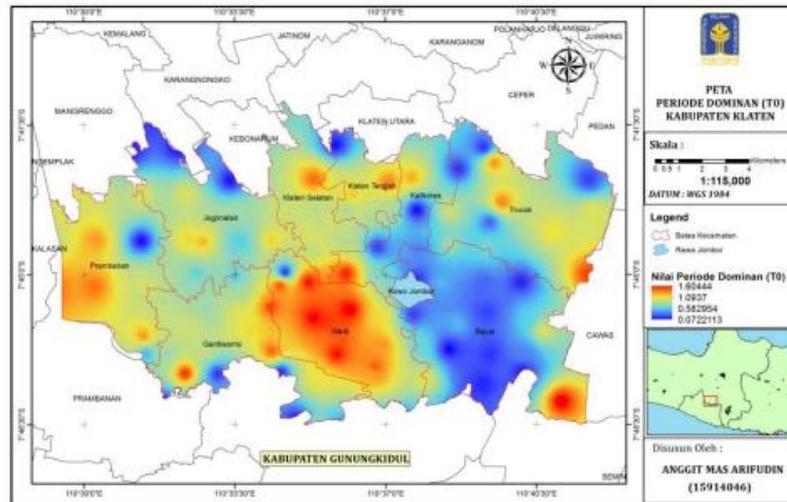
Distribusi nilai frekuensi dominan berkisar antara 0,623– 13,853 Hz. Frekuensi dominan merupakan frekuensi yang terjadi saat nilai puncak kurva HVSR terjadi. Besarnya kecepatan rata-rata gelombang geser (v_s) dan ketebalan sedimen dibawah permukaan (h) mempengaruhi frekuensi dominan. Hal ini menunjukkan keras atau lunaknya lapisan tanah berpengaruh terhadap frekuensi dominan, nilai frekuensi dominan akan tinggi jika daerah tersebut memiliki ketebalan sedimen yang rendah dan sebaliknya. Mikrozonasi nilai frekuensi dominan (F_g) dapat dilihat pada **Gambar 2.4**.



Gambar 2.4 Peta Frekuensi Dominan Tanah (F_g)

(Sumber: Arifudin, 2018)

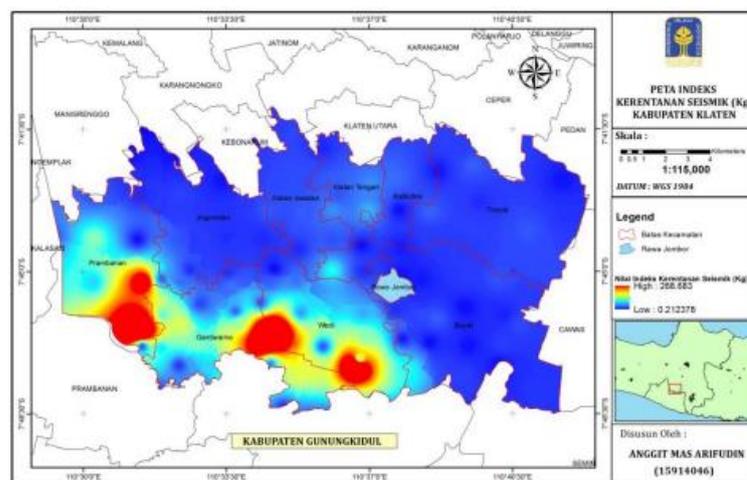
Distribusi nilai periode dominan tanah berkisar antara 0,072 – 1,604 Hz. Periode dominan memiliki hubungan yang dekat dengan kedalam lapisan sedimen (h) dan berbanding terbalik dengan frekuensi dominan. Nilai periode dominan yang tinggi disebabkan oleh jenis lapisan sedimen dengan struktur yang lunak dan tebal, dan sebaliknya. Hal ini menunjukkan daerah yang memiliki periode dominan yang tinggi sangat rentan mengalami kerusakan tinggi. Mikrozonasi nilai periode dominan (T_g) dapat dilihat pada **Gambar 2.5**.



Gambar 2.5 Peta Periode Dominan Tanah (T_g)

(Sumber: Arifudin, 2018)

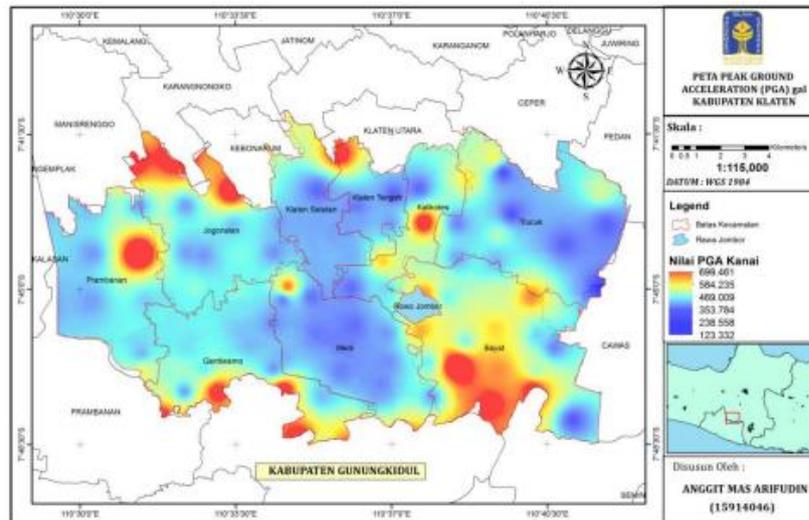
Distribusi nilai indeks kerentanan seismik berkisar antara 0,212 – 270,184. Nilai faktor amplifikasi tanah dan periode dominan tanah mempengaruhi nilai indeks kerentanan seismik. Jika nilai faktor amplifikasi tanah tinggi dan nilai F_g rendah maka nilai indeks kerentanan seismik cenderung tinggi, namun jika nilai amplifikasi rendah dan nilai frekuensi dominan tinggi maka nilai indeks kerentanan seismik cenderung rendah. Mikrozonasi nilai indeks kerentanan seismik dapat dilihat pada **Gambar 2.6**.



Gambar 2.6 Peta Indeks Kerentanan Seismik (K_g)

(Sumber: Arifudin, 2018)

Distribusi nilai PGA (*Peak Ground Acceleration*) berkisar antara 123,324 – 819,353 gal atau 0,13 – 0,84 g. Nilai tersebut didapatkan menggunakan persamaan metode Kanai dengan parameter gempa bumi Bantul 27 Mei 2006, dimana nilai PGA terbesar ditentukan oleh jarak, magnitudo gempa dan kondisi tanah setempat. Sebaran nilai PGA dapat dilihat pada **Gambar 2.7**.



Gambar 2.7 Peta Nilai PGA Kanai (gal)

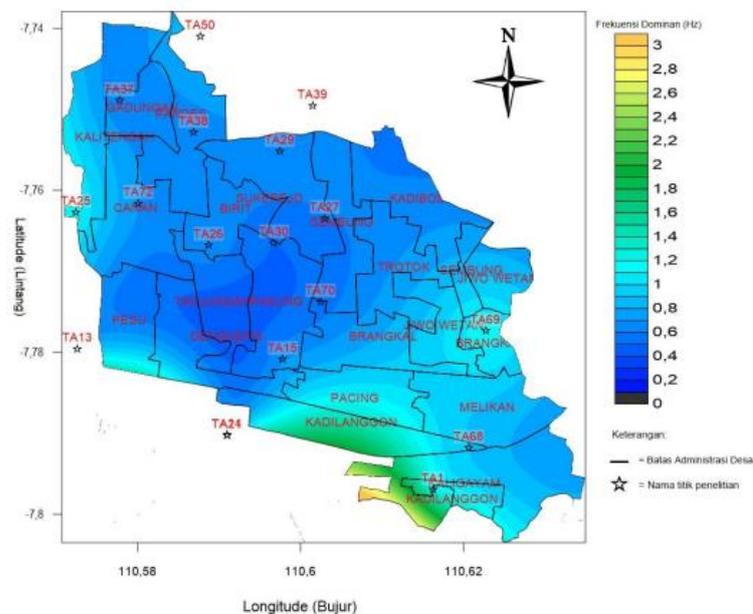
(Sumber: Arifudin, 2018)

Hasil lain yang didapat dari penelitian ini adalah nilai karakteristik dinamika tanah yang dianalisis yaitu kecepatan gelombang geser (v_s) berkisar antara 130 – 570,83 m/s dengan rata-rata nilai 275,68 m/s. Nilai perbandingan $Vs30$ mikrotremor dan $Vs30$ USGS didapatkan dengan nilai rata-rata yaitu 1,371.

2.1.3 Analisis Indeks Kerentanan Seismik Dengan Metode HVSR di Kecamatan Wedi Kabupaten Klaten

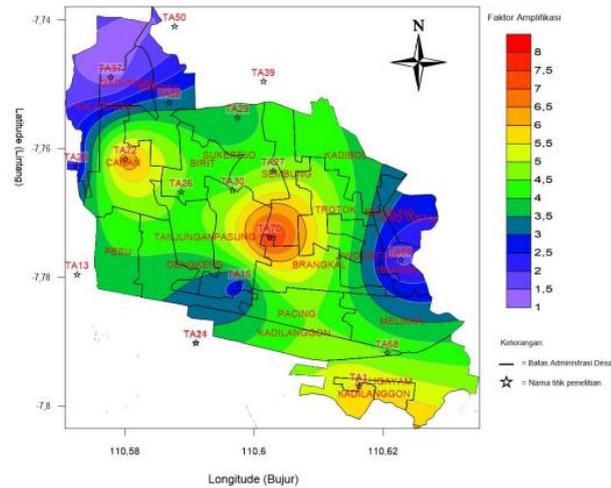
Rofiki (2020) meneliti tentang karakteristik tanah dan indeks kerentanan seismik berdasarkan data mikrotremor di daerah yang terkena dampak kerusakan akibat gempabumi pada tahun 2006 lalu, tepatnya di daerah Kecamatan Wedi, Kabupaten Klaten. Karakteristik tanah didapatkan melalui data mikrotremor dengan metode HVSR yang menghasilkan nilai frekuensi dominan (f_0) dan nilai amplifikasi (A_0) dan persebarannya dimodelkan dalam peta mikrozonasi.

Berdasarkan hasil penelitian diketahui nilai frekuensi dominan (f_o) di Kecamatan Wedi mempunyai nilai yang relatif rendah dengan nilai 0,5 – 2,0 Hz. Dengan nilai tertinggi berada pada titik TA48 di Desa Ngering Kecamatan Jogonalan dan nilai terendah berada di titik TA3Q di Desa Pasung Kecamatan Wedi. Diketahui juga nilai faktor amplifikasi (A_o) rendah meliputi 28,8% dari total luasan daerah Kecamatan Wedi, nilai faktor amplifikasi (A_o) sedang meliputi 57,48% total wilayah Kecamatan Wedi, dan nilai faktor amplifikasi (A_o) tinggi meliputi 16,90% dari total luasan wilayah Kecamatan Wedi. Peta mikrozonasi nilai frekuensi dominan (f_o) dan amplifikasi (A_o) dapat dilihat pada **Gambar 2.8** dan **Gambar 2.9**.



Gambar 2.8 Mikrozonasi Frekuensi Dominan (f_o) di Kecamatan Wedi

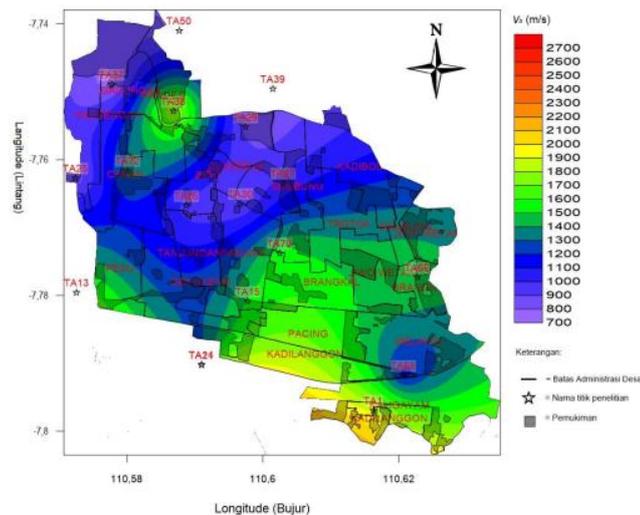
(Sumber: Rofiki, 2020)



Gambar 2.9 Peta Mikrozonasi Nilai Amplifikasi (A_0) di Kecamatan Wedi dan sekitarnya

(Sumber: Rofiki, 2020)

Pada penelitian ini distribusi nilai kecepatan gelombang geser pada batuan dasar diperoleh dari analisis kurva H/V dengan metode *ellipticity curve* (invers) pada program *Dinver*. Persebaran kecepatan gelombang geser pada batuan dasar di Kecamatan Wedi berkisar antara 762,07 – 2.892,55 m/s. Nilai kecepatan gelombang geser dapat menentukan jenis batuan pada lokasi tersebut. Mikrozonasi kecepatan gelombang geser pada batuan dasar dapat dilihat pada **Gambar 2.10**.



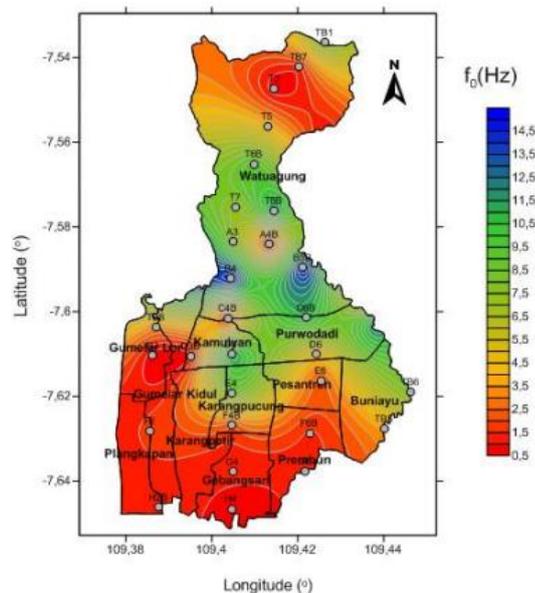
Gambar 2.10 Mikrozonasi Kecepatan Gelombang Geser Pada Batuan Dasar (v_b) di Kecamatan Wedi

(Sumber: Rofiki, 2018)

merupakan wilayah yang sering terjadi bencana gempa bumi dan berdasarkan informasi daerah yang rentan terhadap gempa bumi perlu dilakukan penelitian mikrozonasi.

Lokasi penelitian ini dilakukan di Kecamatan Tambak, Kabupaten Banyumas yang merupakan daerah yang pernah mengalami bencana gempabumi Tasikmalaya di tahun 2017. Penelitian ini mempunyai tujuan untuk menggambarkan tingkat kerentanan gempa bumi, dimana Kecamatan Tambak berada di zona selatan Pulau Jawa yang memiliki tingkat kegempaan yang cukup tinggi, dan masih terbatasnya informasi mengenai seismitas di daerah penelitian. Manfaat dari dilakukannya penelitian ini adalah untuk dijadikan sumber kajian dalam penelitian yang lebih lanjut dan upaya mitigasi bencana dengan memberikan informasi mengenai bahaya seismik.

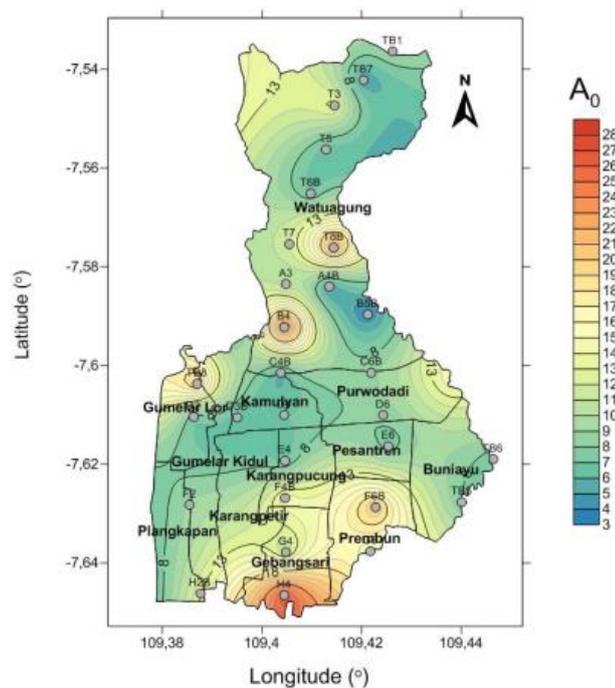
Hasil dari penelitian ini yaitu, distribusi nilai frekuensi dominan didapatkan sebesar 0,49 – 14,98 Hz. Frekuensi dominan ini diperoleh dari puncak kurva H/V di sumbu horizontal. Berdasarkan **Gambar 2.12**, daerah dengan frekuensi dominan rendah yang berupa tanah lunak cenderung mengalami penguatan guncangan yang tinggi.



Gambar 2.12 Mikrozonasi Persebaran Nilai Frekuensi Dominan

(Sumber: Pratiwi, 2020)

Distribusi nilai faktor amplifikasi di Kecamatan Tambak berkisar antara 3,64 – 27,38. Faktor amplifikasi yang tinggi dipengaruhi oleh perbandingan antara lapisan sedimen dan batuan dasar, semakin besar perbandingannya maka nilai faktor amplifikasinya semakin tinggi. Berdasarkan pengukuran di lokasi penelitian, didapatkan juga korelasi antara elevasi dengan faktor amplifikasi, apabila elevasinya rendah maka nilai faktor amplifikasi yang didapatkan tinggi. Hal tersebut disebabkan oleh pengendapan atau sedimentasi yang semakin tebal. Mikrozonasi nilai faktor amplifikasi dapat dilihat pada **Gambar 2.13**.

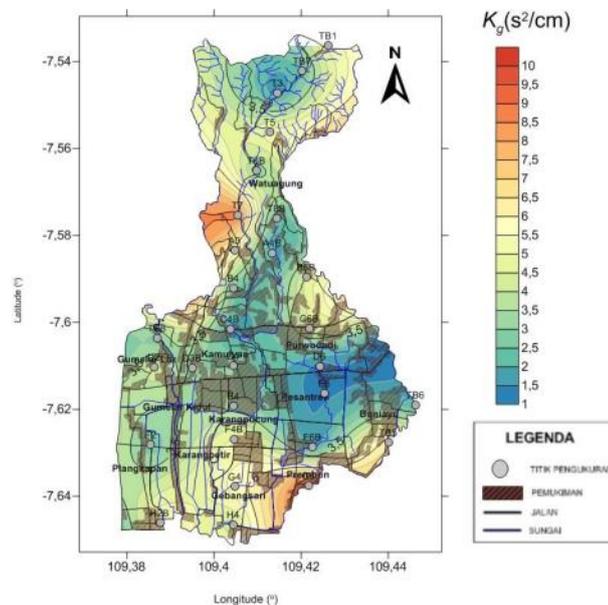


Gambar 2.13 Persebaran Nilai A_0 di Kecamatan Tambak

(Sumber: Pratiwi, 2020)

Distribusi nilai indeks kerentanan seismik berkisar antara $1,23 \times 10^{-6} - 9,92 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$. Nilai indeks kerentanan seismik dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu amplifikasi (A_0), frekuensi dominan (F_0) dan kecepatan gelombang seismik pada batuan dasar (v_b). Hal ini menunjukkan kestabilan struktur tanah pada suatu daerah, semakin tinggi nilai indeks kerentanan seismik maka tingkat kestabilan struktur tanah semakin kecil, sehingga daerah tersebut sangat rentan

mengalami kerusakan. Mikrozonasi indeks kerentanan seismik dapat dilihat pada **Gambar 2.14**.



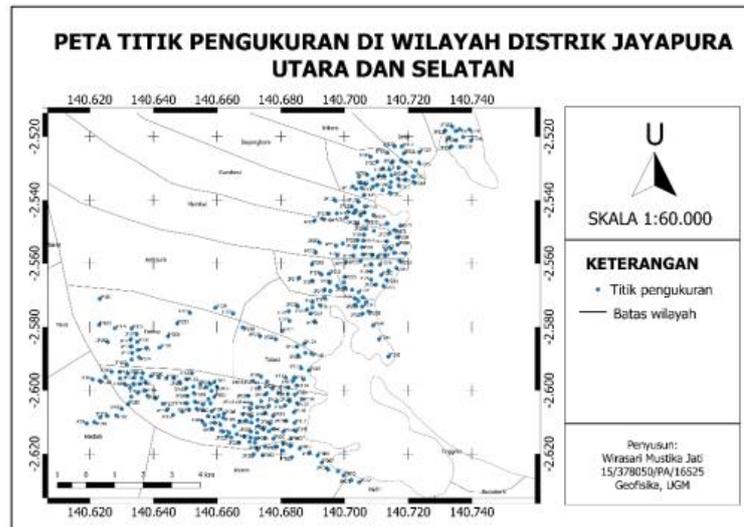
Gambar 2.14 Mikrozonasi Nilai Indeks Kerentanan Seismik di Kecamatan Tambak

(Sumber: Pratiwi, 2020)

2.1.5 Mikrozonasi Seismik Dengan Menggunakan Metode HVSR (*Horizontal To Vertical Spectral Ratio*) di Distrik Jayapura Utara dan Selatan

Wirasari Mustika Jati (2016) melakukan penelitian mengenai mikrozonasi seismik dengan menggunakan metode HVSR (*Horizontal to Spectral Ratio*) di Distrik Jayapura Utara dan Selatan. Latar belakang dalam melakukan penelitian ini karena wilayah Jayapura masuk ke dalam pertemuan tiga lempeng yaitu lempeng Pasifik, Hindia-Australia dan Eurasia, dengan kondisi tektonik yang kompleks tersebut menyebabkan wilayah Jayapura sering mengalami bencana gempa bumi. Wilayah tersebut juga dikelilingi oleh daerah-daerah yang mengalami gempa bumi dengan magnitudo mencapai 5 SR, sehingga potensi kerusakan di daerah tersebut sangat besar. Salah satu upaya meminimalisir kerusakan tersebut dengan upaya mitigasi, penelitian ini dilakukan sebagai upaya mitigasi dengan cara pembuatan peta daerah rawan bencana gempa bumi. Dengan metode pengukuran langsung di lapangan dengan alat Seismometer Mark L4-3D dan titik pengukuran berjumlah

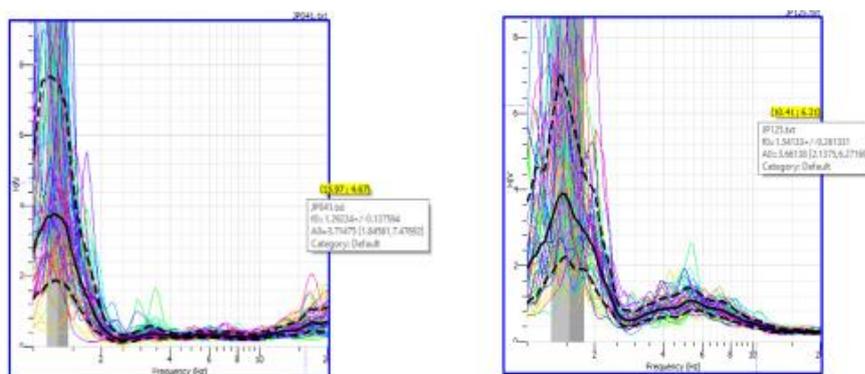
322 titik yang tersebar di 11 kelurahan. Penyebaran titik pengukuran dapat dilihat pada **Gambar 2.15**.



Gambar 2.15 Peta Penyebaran Titik Pengukuran Mikrotremor di Distrik Jayapura Utara dan Selatan

(Sumber: Jati, 2021)

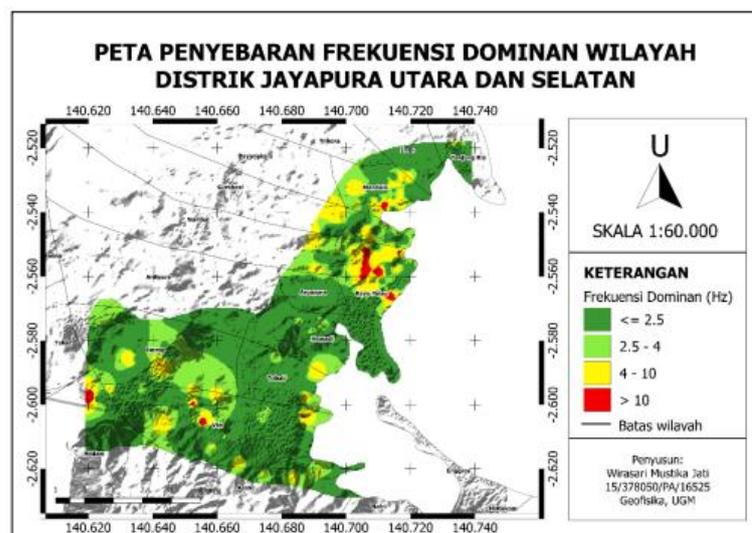
Dari hasil pengukuran data di lapangan sebanyak 322 titik, diperoleh hasil berupa kurva H/V. Karakteristik yang diidentifikasi dari kurva HVSR tersebut adalah frekuensi dominan (F_0) dan faktor amplifikasi (A_0). Contoh hasil kurva H/V dapat dilihat pada **Gambar 2.16**.



Gambar 2.16 Contoh Hasil Kurva H/V Pada Titik JP041 dan JP125

(Sumber: Jati, 2021)

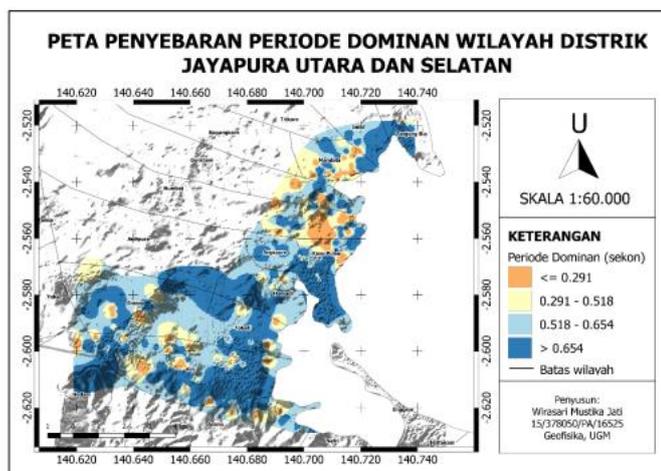
Didapatkan hasil pengolahan data mikrotremor dengan metode HVSR yaitu, nilai frekuensi dominan tanah berkisar antara 1,17 – 17,27 Hz. Nilai frekuensi dominan yang bernilai rendah ditunjukkan dengan warna hijau tua dengan rentang nilai 1,17 – 2,5 Hz. Nilai frekuensi dominan yang bernilai sedang ditunjukkan dengan warna hijau muda dengan rentang nilai 2,5 – 4 Hz. Nilai frekuensi dominan yang bernilai tinggi ditunjukkan dengan warna kuning dengan rentang nilai 4 -10 Hz. Nilai frekuensi dominan yang bernilai sangat tinggi ditunjukkan dengan warna merah dengan rentang nilai 10 – 17,27 Hz. Dari penyebaran nilai frekuensi dominan tersebut yang ditunjukkan pada **Gambar 2.17** didominasi oleh frekuensi rendah, sehingga diindikasikan bahwa daerah tersebut memiliki kerentanan yang sangat tinggi terhadap guncangan gempa bumi.



**Gambar 2.17 Peta Penyebaran Frekuensi Dominan Wilayah Distrik
Jayapura Utara Dan Selatan**

(Sumber: Jati, 2021)

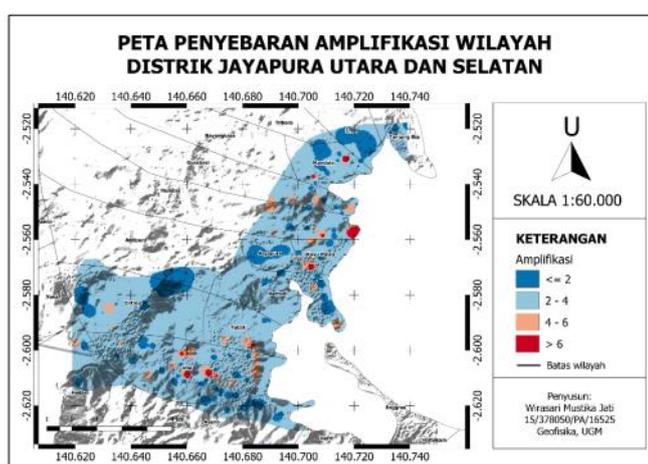
Distribusi nilai periode dominan berkisar antara 0,05 – 0,85 s. Nilai periode dominan yang rendah ditunjukkan dengan warna *orange* dengan rentang nilai 0,05 – 0,291 s. Nilai periode dominan yang sedang ditunjukkan dengan warna kuning dengan rentang nilai 0,291 – 0,518 s. Nilai periode dominan yang tinggi ditunjukkan dengan warna biru tua dengan rentang nilai 0,654 – 0,85 s. Mikrozonasi nilai periode dominan dapat dilihat pada **Gambar 2.18**.



Gambar 2.18 Peta Penyebaran Periode Dominan Wilayah Distrik Jayapura Utara dan Selatan

(Sumber: Jati, 2021)

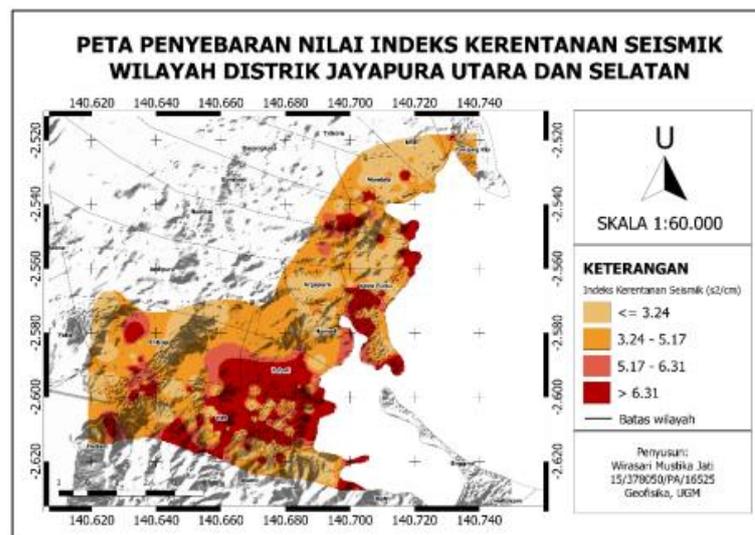
Distribusi nilai faktor amplifikasi berkisar antara 0,71 – 11,87. Nilai amplifikasi rendah ditunjukkan dengan warna biru tua dengan rentang nilai 0,71 – 2. Nilai amplifikasi sedang ditunjukkan dengan warna biru muda dengan rentang nilai 2 – 4. Nilai amplifikasi tinggi ditunjukkan dengan warna merah muda dengan rentang nilai 4 – 6. Nilai amplifikasi sangat tinggi ditunjukkan dengan warna merah dengan rentang nilai 6 -11,87. Mikrozonasi nilai amplifikasi dapat dilihat pada **Gambar 2.19**.



Gambar 2.19 Peta Penyebaran Nilai Faktor Amplifikasi Wilayah Distrik Jayapura Utara dan Selatan

(Sumber: Jati, 2021)

Distribusi nilai indeks kerentanan seismik berkisar antara $0,11 \times 10^{-6} - 102,8 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$. Nilai indeks kerentanan seismik dapat ditentukan berdasarkan nilai amplifikasi dan frekuensi dominan. Nilai indeks kerentanan seismik rendah ditunjukkan dengan warna coklat muda dengan rentang nilai $0,11 \times 10^{-6} - 3,24 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$. Nilai indeks kerentanan seismik sedang ditunjukkan dengan warna *orange* dengan rentang nilai $3,24 \times 10^{-6} - 5,17 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$. Nilai indeks kerentanan seismik tinggi ditunjukkan dengan warna merah muda dengan rentang nilai $5,17 \times 10^{-6} - 6,31 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$. Nilai indeks kerentanan seismik sangat tinggi ditunjukkan dengan warna merah tua dengan rentang nilai $6,31 \times 10^{-6} - 102,8 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$. Mikrozonasi indeks kerentanan seismik dapat dilihat pada **Gambar 2.20**.



Gambar 2.20 Peta Indeks Kerentanan Seismik di Wilayah Distrik Jayapura
Utara dan Selatan

(Sumber: Jati, 2021)

2.2 Perbandingan Penelitian

Berikut merupakan rangkuman dan perbandingan dari penelitian-penelitian di atas seperti pada **Tabel 2.1** berikut.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Penelitian yang akan dilakukan

Peneliti	Rizka Zuliyanti	Anggit Mas Arifudin	Rofiki	Yashinta Nadya Ika Pratiwi	Wirasari Mustika Jati	Muhammad Kanz Aiman
Tahun	2018	2018	2020	2020	2021	2023
Judul Penelitian	Analisis Parameter Mikrotremor di Kawasan Jalur Sesar Grindulu Pacitan	Karakteristik Situs dan Kerentanan Seismik di Kabupaten Klaten Dengan Metode <i>Horizontal to Vertical Spectral Ratio</i> (HVSr) Dari Data Mikrotremor	Analisis Indeks Kerentanan Seismik Dengan Metode Hvsr di Kecamatan Wedi Kabupaten Klaten	Mikrozonasi Indeks Kerentanan Seismik di Kecamatan Tambak Kabupaten Banyumas Jawa Tengah Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor	Mikrozonasi Seismik Dengan Menggunakan Metode HVSR (<i>Horizontal To Vertical Spectral Ratio</i>) di Distrik Jayapura Utara Dan Selatan	Pemetaan Kerentanan Gempa Di Kecamatan Pacitan Kabupaten Pacitan Menggunakan Pengukuran Mikrotremor Dengan Metode Hvsr
Tujuan Penelitian	1. Mengetahui mikrozonasi nilai frekuensi dominan (F_g) dan faktor	1. Membuat peta distribusi nilai faktor amplifikasi sinyal, frekuensi dominan, dan	1. Untuk mengetahui distribusi nilai frekuensi dominan dan nilai amplifikasi	1. Menentukan nilai persebaran faktor amplifikasi (A_g) dan frekuensi dominan (F_g) di	1. Memetakan daerah rawan gempa bumi dengan mengetahui nilai frekuensi	1. Untuk menentukan nilai frekuensi dominan (F_g), amplifikasi (A_g), periode dominan

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Penelitian yang akan dilakukan

	<p>amplifikasi (A_g)</p> <p>2. Menentukan nilai kecepatan gelombang S (V_s) dan ketebalan lapisan sedimen</p> <p>3. Mengetahui keterkaitan antara arah sumber datang gelombang seismik di Kawasan Jalur Sesar Grindulu</p>	<p>periode dominan di daerah penelitian berdasarkan data mikrotremor</p> <p>2. Membuat peta distribusi nilai indeks kerentanan seismic (K_g), nilai percepatan tanah punak (PGA), nilai karakteristik dinamik tanah dalam bentuk kecepatan gelombang geser (V_s) dan nilai regangan geser tanah (γ)</p>	<p>nilai amplifikasi di daerah penelitian.</p> <p>2. Untuk mengetahui karakteristik tanah di Kecamatan Wedi, berdasarkan parameter sinyal mikrotremor</p> <p>3. Mengetahui nilai kecepatan gelombang geser pada batuan dasar (V_b) di daerah penelitian.</p> <p>4. Mengetahui persentase zona pemukiman di daerah penelitian berdasarkan nilai</p>	<p>Kecamatan Tambak, Kabupaten Banyumas</p> <p>2. Mengetahui indeks kerentanan seismic (K_g) di Kecamatan Tambak, Kabupaten Banyumas dan mikrozonasinya</p>	<p>dominan, periode dominan, faktor amplifikasi, V_s30 dan indeks kerentanan seismic menggunakan data mikrotremor</p> <p>2. Mengetahui profil perlapisan batuan di Distrik Jayapura Utara dan Selatan</p>	<p>periode dominan (T_g), dan nilai indeks kerentanan seismic (K_g) di Kecamatan Pacitan berdasarkan data mikrotremor</p> <p>2. Untuk mengetahui nilai percepatan tanah maksimum (PGA) di Kecamatan Pacitan berdasarkan referensi gempa Pacitan pada 8 Juni 2023</p>
--	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Penelitian yang akan dilakukan

		3. Mengetahui tingkat kerentanan seismik di Kabupaten Klaten.	Indeks kerentanan seismik			3. Mengetahui peta mikrozonasi indeks kerentanan seismik di Kecamatan Pacitan, Kabupaten Pacitan
Hasil Penelitian	<p>1. Distribusi nilai frekuensi dominan dan nilai amplifikasi dengan variasi nilai F_g dan A_g yang dipengaruhi oleh tingkat deformasi batuan.</p> <p>2. Karakteristik geologi yang ditunjukkan oleh nilai kecepatan gelombang S (V_s)</p>	<p>1. Mikrozonasi nilai faktor amplifikasi (A_g), nilai periode dominan (T_g), nilai frekuensi dominan (F_g), nilai indeks kerentanan seismik (K_g)</p> <p>2. Karakteristik dinamika tanah yang ditunjukkan oleh nilai kecepatan gelombang geser (V_s)</p>	<p>1. Distribusi nilai frekuensi dominan (F_0) dan faktor amplifikasi (A_0)</p> <p>2. Karakteristik dinamik tanah berdasarkan nilai F_0 dan A_0</p> <p>3. Distribusi nilai kecepatan gelombang geser pada batuan dasar (v_b)</p> <p>4. Mikrozonasi nilai indeks kerentanan</p>	<p>1. Distribusi persebaran nilai frekuensi dominan dan faktor amplifikasi</p> <p>2. Karakteristik dinamika tanah ditunjukkan oleh kecepatan gelombang geser (V_s)</p> <p>3. Mikrozonasi nilai indeks kerentanan seismik di Kecamatan</p>	<p>1. Karakteristik dinamika tanah berdasarkan nilai frekuensi dominan, periode dominan dan faktor amplifikasi</p> <p>2. Distribusi nilai V_{s30} mikrotremor</p> <p>3. Mikrozonasi nilai indeks kerentanan seismik di Distrik Jayapura Utara dan Selatan</p>	<p>1. Distribusi nilai frekuensi dominan (F_g), amplifikasi (A_g), periode dominan (T_g), dan nilai indeks kerentanan seismik (K_g) di Kecamatan Pacitan</p> <p>2. Distribusi nilai percepatan tanah maksimum (PGA) di Kecamatan Pacitan, Kabupaten Pacitan</p>

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Penelitian yang akan dilakukan

	<p>3. Ketebalan lapisan sedimen berdasarkan penampang seismik.</p> <p>4. Distribusi arah sumber datang gelombang seismik di Kawasan Jalur Sesar Grindulu rata-rata mengarah pada keberadaan jalur sesarnya.</p>	<p>3. Rasio perbandingan hasil Vs30 mikrotremor dengan Vs30 USGS</p> <p>4. Karakteristik dinamik tanah ditunjukkan oleh nilai regangan geser dengan metode Nakamura</p> <p>5. Nilai PGA dengan perhitungan metode Kanai</p> <p>6. Regangan geser yang berbanding lurus dengan nilai indeks kerentanan seismik dan nilai PGA</p>	<p>seismik (K_g) di Kecamatan Wedi</p>	<p>Tambak Banyumas (K_g)</p>	<p>4. Karakteristik dinamika tanah berdasarkan inversi nilai kecepatan gelombang geser (V_s)</p>	<p>3. Peta kerentanan gempabumi di Kecamatan Pacitan, Kabupaten Pacitan</p>
--	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------	-------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Penelitian yang akan dilakukan

		7. Daerah bagian selatan wilayah Kabupaten Klaten memiliki tingkat kerentanan seismik yang lebih tinggi sesuai kondisi kerusakan akibat gempa Jogja Mei 2006				
--	--	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--	--	--	--

2.3 Keaslian Penelitian

Berdasarkan penelitian – penelitian terdahulu yang telah diuraikan pada **Tabel 2.1**, penelitian mengenai pemetaan kerentanan gempa menggunakan pengukuran mikrotremor di berbagai daerah sudah cukup banyak dilakukan, namun belum ada penelitian mengenai pemetaan kerentanan gempa menggunakan pengukuran mikrotremor di daerah Kecamatan Pacitan, Kabupaten Pacitan dengan metode HVSR.

Adapun detail bukti penelitian yang akan dilakukan merupakan karya asli dan bukan bentuk dari karya plagiasi sebagai berikut.

1. Data yang digunakan menggunakan pengukuran data lapangan mikrotremor di daerah Kecamatan Pacitan, Kabupaten Pacitan.
2. Pengolahan data menggunakan metode HVSR (*Horizontal to Vertikal Spectral Ratio*) dengan bantuan *software Sesaary Geopsy* yang kemudian didapatkan kurva H/V untuk perhitungan selanjutnya.
3. Acuan pengambilan data mikrotremor mengikuti aturan yang ditetapkan oleh *SESAME European Research Project* Tahun 2004.
4. Parameter referensi gempa menggunakan gempa Pacitan pada 8 Juni 2023 untuk menentukan percepatan tanah maksimum (PGA) permukaan dengan perhitungan empiris metode kanai.
5. Pengambilan data mikrotremor menggunakan *Digital Seismic Sensors* merk *Lunitek* dengan jarak pengukuran $\pm 1,5$ Km dan titik penelitian sebanyak 47 titik.

Berdasarkan detail bukti yang telah diuraikan maka dapat dikatakan bahwa penelitian yang akan dilakukan dapat dipertanggungjawabkan keasliannya.

BAB III

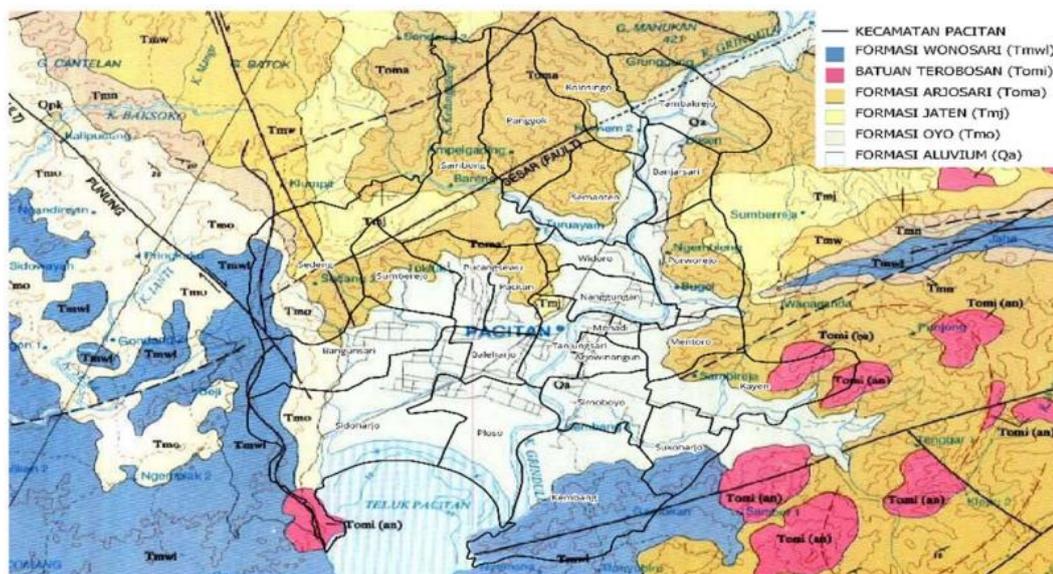
LANDASAN TEORI

3.1 Kondisi Geologi

Geologi adalah salah satu ilmu pengetahuan yang mempelajari tentang planet bumi beserta dengan isinya seperti struktur, komposisi, sifat-sifat fisik dan prosesnya. Sedangkan kondisi geologi merupakan suatu keadaan yang menggambarkan kondisi dari geologi bumi itu sendiri.

3.1.1 Kondisi Geologi Pacitan

Kecamatan Pacitan merupakan kecamatan yang menjadi ibu kota dari wilayah Kabupaten Pacitan, Jawa Timur. Sehingga kecamatan ini dapat dikatakan denyut nadinya pemerintahan dan perekonomian Kabupaten Pacitan, yang juga dijadikan sebagai lokasi penelitian ini. Kabupaten Pacitan dilalui oleh sesar Grindulu yang merupakan salah satu sesar aktif yang aktivitasnya dapat menimbulkan gempa bumi. Sesar atau patahan tersebut mengidentifikasi bahwa wilayah Pacitan merupakan wilayah yang tektoniknya aktif sehingga dapat memicu terjadinya gempa tektonik. Menurut peta geologi lembar Pacitan (Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, 1992), lokasi penelitian disusun oleh batuan yang jenisnya berumur kuartar. Penyusun batuan kuartar tersebut kerakal, kerikil, pasir, lanau, lempung dan lumpur yang termasuk kedalam formasi Alluvium (Qa). Kondisi geologi Pacitan dapat dilihat pada **Gambar 3.1**.



Gambar 3.1 Kondisi Geologi Kecamatan Pacitan

(Sumber: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, 1992)

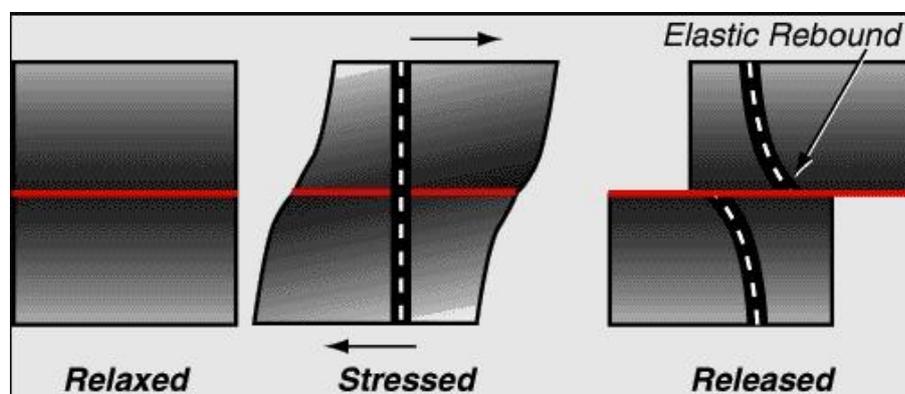
3.2 Gempa Bumi

3.2.1 Pengertian Gempa Bumi

Gempa bumi adalah salah satu fenomena alam atau bencana yang berupa guncangan atau getaran pada bumi yang ditimbulkan oleh banyak faktor. Faktor seperti pergeseran lempeng bumi dan adanya aktivitas pada patahan atau sesar merupakan faktor terjadinya gempa tektonik. Adapun faktor gempa bumi lain seperti yang disebabkan oleh aktivitas magma letusan gunung berapi merupakan gempa vulkanik, gempa bumi yang disebabkan oleh reruntuhan infrastruktur atau tanah dalam kuantitas yang besar merupakan gempa runtuh dan gempa bumi yang disebabkan oleh jatuhnya benda-benda langit ke bumi seperti meteor merupakan gempa meteorik. Dapat dikatakan sesuai faktor-faktor diatas bahwa gempa bumi terjadi disebabkan oleh pelepasan energi dari dalam bumi yang menghasilkan getaran lalu menimbulkan gelombang gempa dan merambat ke permukaan bumi. Menurut Lutgens (2009) gempa bumi adalah getaran bumi yang dihasilkan oleh percepatan energi yang dilepaskan, energi ini menyebar ke segala arah dari pusat sumbernya.

Teori kekenyalan elastis (*elastic rebound theory*) menjelaskan bahwa gempa bumi terjadi diakibatkan oleh pergeseran atau pergerakan sesar yang menyebabkan pelepasan energi regangan elastis batuan, sehingga batuan akan mengalami deformasi atau perubahan bentuk (Rheid, 1906). Adanya tekanan (*stress*) dan regangan (*strain*) pada lapisan bumi merupakan penyebab batuan mengalami deformasi. Perubahan bentuk pada batuan tersebut terjadi ketika daya dukung batuan melampaui batas regangannya yang membuat batuan patah (*rupture*) dan kembali ke bentuk semula (*rebound*).

Mekanisme terjadinya gempa bumi dapat dijelaskan sebagai berikut, batuan akan terdeformasi ketika terdapat dua buah gaya yang bekerja secara berlawanan, dikarenakan batuan memiliki sifat elastis. Apabila gaya elastis tersebut mengalami tekanan yang terus menerus dan rentang waktu yang lama, maka daya dukung yang terjadi pada batuan akan melampaui batas maksimumnya dan terjadi pergeseran. Batuan yang sudah mencapai batasnya akan mengalami patahan secara tiba-tiba, lalu batuan tersebut kembali stabil akan tetapi sudah mengalami perubahan posisi maupun bentuk. Pada saat pergeseran batuan itulah energi yang tersimpan dilepaskan dengan bentuk getaran yang disebut gempa bumi. Garis putus-putus menggambarkan posisi batuan sebelum dan sesudah daya dukung batuan mencapai batas maksimum. Sedangkan garis merah horizontal menggambarkan proses akhir terjadinya deformasi yang menghasilkan bidang sesar. Ilustrasi teori kekenyalan elastis dapat dilihat pada **Gambar 3.2**.



Gambar 3.2 Ilustrasi Teori Kekenyalan Elastis

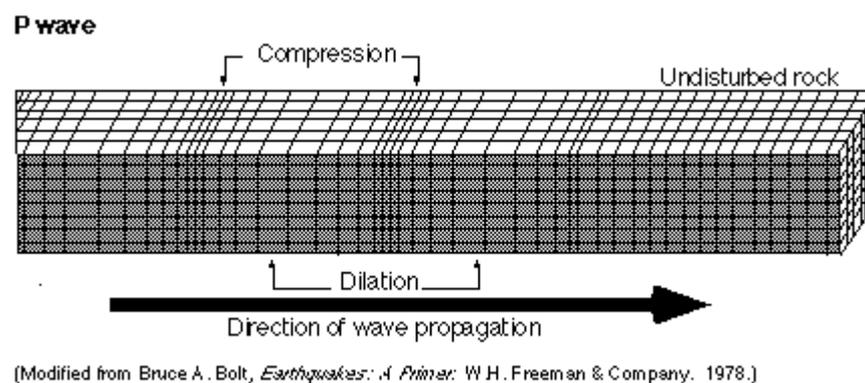
(Sumber: Bolt, 1978)

3.2.2 Parameter Gempa Bumi

Parameter gempa bumi merupakan hasil analisis suatu nilai atau kondisi yang menggambarkan kejadian gempa bumi berdasarkan data dan informasi aktual. Menurut Magma Indonesia, Kementerian ESDM (2021) data dan informasi yang digunakan untuk analisis adalah sebagai berikut.

1. Gelombang Primer

P-wave atau gelombang P dapat disebut juga dengan gelombang primer. Gelombang primer yang ditunjukkan pada **Gambar 3.3** merupakan gelombang yang arah geraknya sejajar arah jarum jam dengan arah rambatan gelombang, seperti arah desakan maupun tarikan. Gelombang ini adalah gelombang dengan rambatan tercepat diantara gelombang lainnya dan merupakan gelombang pertama yang terdeteksi di pengukuran seismik. Gelombang primer dapat mendeformasi batuan dengan cara mengubah volume melalui pemadatan dan peregangan, yaitu disaat gelombang melalui suatu medium maka dapat menekan atom-atom saling mendekat.



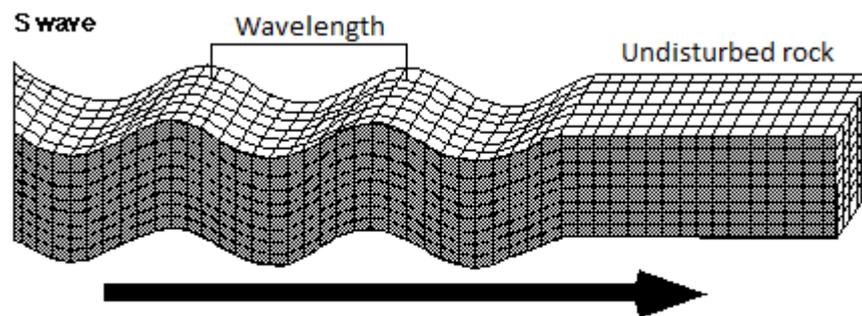
Gambar 3.3 Gelombang Primer

(Sumber: Bolt, 1978)

2. Gelombang Sekunder

S-wave atau gelombang S merupakan gelombang yang bersifat transversal, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3.4** arah geraknya tegak lurus dengan arah rambatan gelombang. Gelombang sekunder memiliki kecepatan rambat yang lebih kecil sehingga terekam setelah gelombang primer. Gelombang sekunder juga dapat mendeformasi batuan namun dengan cara mengubah

bentuknya, karena hanya dapat merambat di medium padat, sehingga zat cair dan gas tidak memiliki daya elastisitas untuk kembali ke bentuk semula. Gelombang S memiliki kandungan frekuensi yang lebih tinggi dibanding gelombang P. (Telford et al, 1976). Namun untuk amplitudonya, nilai gelombang S lebih besar daripada nilai gelombang P.



(Modified from Bruce A. Bolt, *Earthquakes: A Primer*. W.H. Freeman & Company. 1978.)

Gambar 3.4 Gelombang Sekunder

(Sumber: Bolt, 1978)

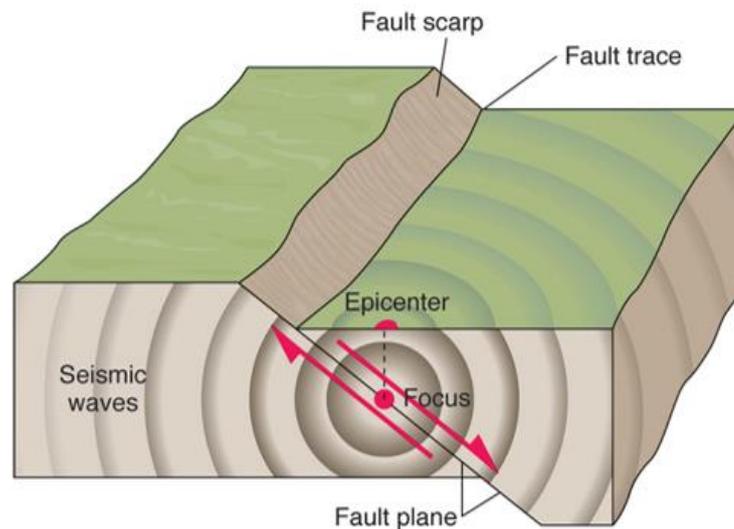
Episenter adalah titik di permukaan bumi yang berada tepat di atas fokus atau hiposenter yang dinyatakan dalam lintang dan bujur (Magma Indonesia, 2021). Gelombang gempa yang terjadi di titik episenter disebut episentrum, dimana gelombang dari hiposentrum dirambatkan ke permukaan bumi. Wilayah yang berada di titik episenter atau dekat dengan titik tersebut umumnya berpotensi terkena dampak paling besar karena merasakan getaran yang paling kuat dari titik hiposenter.

3. Hiposenter

Hiposenter merupakan pusat terjadinya gempa bumi dan sumber gelombang seismik berasal. Hiposenter juga dapat dikatakan sebagai tempat terjadinya pelepasan energi pertama saat terjadi pergeseran yang menyebabkan gempa bumi. Menurut Howell (1969), pembagian jenis gempa bumi berdasarkan kedalaman hiposentrum adalah sebagai berikut.

- a. Gempa bumi dangkal (normal), dengan kedalaman hiposenter < 70 km
- b. Gempa bumi sedang (intermedier), dengan kedalaman hiposenter $70 - 300$ km

- c. Gempa bumi dalam, dengan kedalaman hiposenter 300 – 700 km



Gambar 3.5 Titik Episenter dan Hiposenter

(Sumber: Plummer et. al, 2016)

4. Kedalaman

Gempa bumi dapat dikategorikan berdasarkan jenis kedalamannya, kedalaman gempa bumi dapat dibedakan sebagai berikut (BPBD Banda Aceh, 2018):

a. Gempa bumi dalam

Pusat gempa bumi ini berada pada kedalaman > 300 km di bawah permukaan bumi. Gempa ini tidak berpotensi menimbulkan dampak kerusakan yang besar dan dapat dikatakan tidak berbahaya.

b. Gempa bumi menengah

Pusat gempa bumi ini berada pada kedalaman $60 - 300$ km di bawah permukaan bumi. Gempa ini berpotensi menimbulkan dampak kerusakan yang ringan dan umumnya getarannya akan terasa hingga permukaan bumi.

c. Gempa bumi dangkal

Pusat gempa bumi ini berada pada kedalaman < 60 km di bawah permukaan bumi. Gempa ini berpotensi menimbulkan dampak kerusakan yang berat dan getarannya sangat terasa di permukaan bumi.

5. Magnitudo

Magnitudo merupakan istilah untuk menyatakan skala kekuatan atau besaran energi yang ditimbulkan oleh gempa bumi dengan menggunakan alat pengukur gempa yaitu seismograf. Proses pengukuran kekuatan ini dengan cara merekam energi yang dipancarkan dari sumber gempa menggunakan alat pengukur gempa, kemudian data yang didapatkan akan berupa bentuk gelombang lalu dihitung momen seismiknya.

6. Intensitas gempa bumi

Intensitas gempa bumi adalah tingkatan besarnya getaran dan jenis kerusakan akibat gempa bumi yang bergantung pada jarak antara lokasi dengan hiposenter dan kondisi geologi sekitar. Intensitas gempa bumi diukur dengan skala MMI (*Modified Mercalli Intensity*) yaitu skala yang dapat mengukur kekuatan gempa bumi. Pengamatan kerusakan secara visual merupakan parameter dalam memberikan representasi nilai kekuatan gempa bumi tersebut. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) telah menklasifikasikan skala intensitas gempa bumi seperti yang dijelaskan pada **Tabel 3.1** berikut.

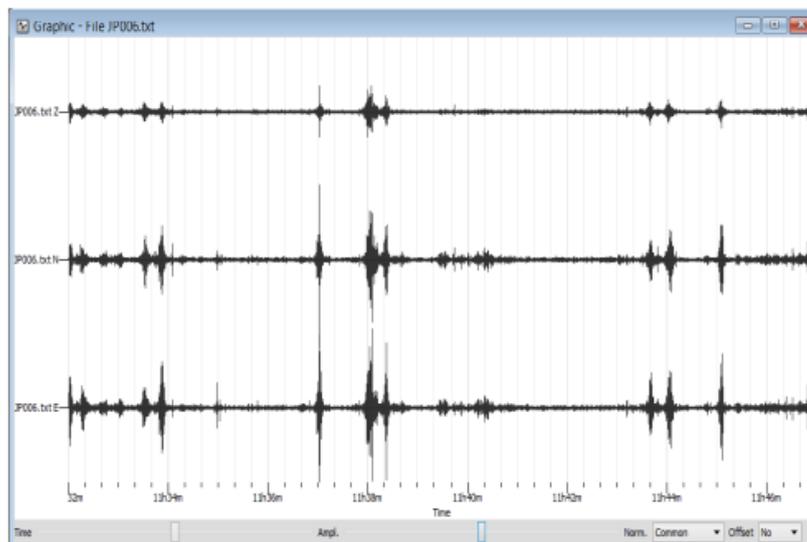
Tabel 3.1 Intensitas Gempa Bumi Skala MMI (*Modified Mercally Intensity*)

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

Sumber: BMKG (2016)

3.3 Mikrotremor

Mikrotremor atau *ambient noise* merupakan vibrasi berperiode panjang yang dapat disebabkan oleh peristiwa alam maupun aktivitas manusia. Peristiwa alam ini seperti angin, hujan, guncangan dan gelombang, sedangkan vibrasi yang bersumber dari aktivitas manusia seperti getaran dari kendaraan, aktivitas industri dan lainnya. Nakamura (2008) menjelaskan bahwa mikrotremor merupakan *noise* dengan periode pendek yang berasal dari sumber artifisial, dapat diartikan juga sebagai getaran yang terjadi secara alami dan terus menerus. Mikrotremor memiliki hubungan dengan kondisi dan keadaan struktur tanah di bawah permukaan tanah, sehingga sifat getaran tanah dapat diketahui. Terdapat dua parameter dalam menggunakan mikrotremor untuk mengetahui karakteristik lapisan tanah, yaitu parameter periode dominan dan amplifikasi. Contoh data sinyal mikrotremor yang diperoleh dari alat mikrotremor pada **Gambar 3.6** berikut.



Gambar 3.6 Contoh Hasil Pengukuran Sinyal Mikrotremor di Distrik Jayapura

(Sumber: Jati, 2021)

3.4 Mikrozonasi

Kondisi wilayah Indonesia yang berada pada *ring of fire* atau cincin api yang merupakan daerah dengan aktivitas seismik tinggi yang berpotensi menimbulkan

bencana seperti gempa bumi, sehingga wilayah-wilayah di Indonesia sangat memungkinkan terkena dampak dari bencana tersebut. Oleh sebab itu, perlunya pemetaan untuk mengetahui potensi terjadinya bencana gempa bumi. Pemetaan tersebut dapat menggambarkan zona wilayah-wilayah yang rentan atau rawan akan terjadinya gempa bumi sehingga dapat mengetahui jenis kerusakan yang ditimbulkan, peta tersebut juga dapat mengetahui kondisi atau jenis tanah yang berada di permukaan. Hasil dari pemetaan ini adalah dapat mengidentifikasi daerah yang memiliki zona rawan gempa bumi, sehingga hal tersebut dapat dimanfaatkan sebagai mitigas bencana dan juga berguna ketika sebuah infrastruktur akan dibangun di atasnya.

Mikrozonasi sendiri merupakan salah satu cara dalam membagi suatu zona besar menjadi lebih kecil berdasarkan dengan tujuan dan kriterianya. Mikrozonasi yang dimaksud yaitu untuk mengetahui karakteristik tanah sesuai parameter yang ada, data tersebut didapatkan dari permukaan bumi melalui alat pendeteksi getaran. Parameter yang didapatkan melalui alat tersebut yaitu periode dominan, faktor amplifikasi dan getaran tanah, dari nilai-nilai tersebut kemudian dianalisis dan digunakan dalam pembuatan peta kerentanan wilayah.

3.5 Uji *Outlier*

Outlier adalah kondisi observasi dari suatu data yang menyimpang atau memiliki karakteristik nilai yang sangat berbeda dengan data lainnya (Tileng, 2015). *Outlier* di dalam penelitian dapat mempengaruhi hasil akhir dari penelitian, oleh karena itu apabila terdapat data tersebut maka diperlukan cara untuk mengidentifikasi terjadinya *outlier*. Uji *outlier* digunakan ketika di dalam suatu data penelitian terdapat data dengan nilai yang ekstrim sehingga menyebabkan standar deviasi menjadi tidak reliabel, nilai ekstrim tersebut dapat mempengaruhi data penelitian lainnya. Salah satu cara untuk mendeteksi adanya *outlier* adalah dengan cara menganalisis data penelitian ke dalam Z-score. Uji *outlier* dianalisis dengan menentukan nilai batas ke Z-score, dengan nilai syarat yang dipakai menjadi batas adalah kurang dari -3 atau lebih dari +3. Persamaan yang digunakan untuk uji *outlier* adalah sebagai berikut.

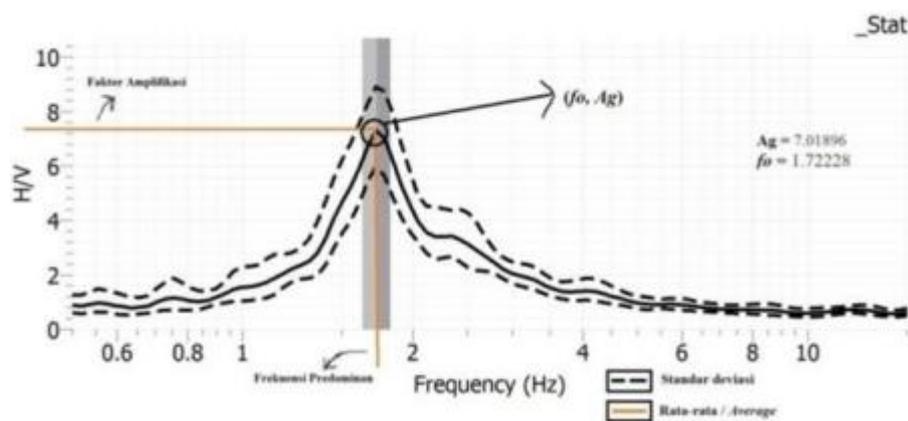
$$\bar{X} = \frac{\sum \bar{X}}{n} \quad (3.1)$$

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

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

3.6 Metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr)

Metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* adalah metode yang diperkenalkan oleh Nogoshi dan Igarashi pada tahun 1971, kemudian dikembangkan dan disempurnakan oleh Nakamura (1989) Metode ini merupakan salah satu cara untuk mengetahui karakteristik dinamika pada lapisan permukaan tanah. Nakamura (1989) menyatakan bahwa pengaplikasian *ambient vibration* pada metode HVSr dapat diterapkan untuk menganalisis frekuensi dominan dan amplifikasi tanah dari lapisan sedimen. Metode HVSr berguna untuk menganalisis adanya potensi bahaya terhadap tingkat kerentanan bencana gempa bumi di suatu daerah. Hasil analisis dari metode HVSr adalah puncak kurva H/V yang memperlihatkan informasi *site effect* dari gelombang yang terekam dalam tanah berupa nilai frekuensi resonansi dan faktor amplifikasi, kedua nilai tersebut menggambarkan karakteristik dinamika lapisan tanah di permukaan. Berikut merupakan ilustrasi kurva H/V pada **Gambar 3.7**.



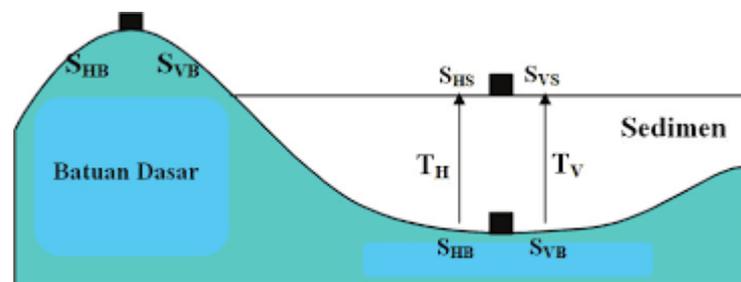
Gambar 3.7 Kurva H/V dengan Metode HVSr

(Sumber: Wibowo *et al.*, 2018)

Menurut Nakamura (2000) gerakan komponen horizontal dan vertikal pada permukaan tanah didasarkan oleh rambatan gelombang seismik yang bersentuhan dengan batuan dasar di cekungan yang menghasilkan faktor amplifikasi. Faktor amplifikasi horizontal (T_H) dan vertikal (T_V) dibandingkan untuk mendapatkan *site effect* (T_{SITE}). Dimana untuk memperoleh amplifikasi horizontal dan vertikal tersebut dapat hitung dengan **Persamaan 3.4 dan 3.5** berikut ini.

$$T_H = \frac{S_{HS}}{S_{HB}} \quad (3.4)$$

$$T_V = \frac{S_{VS}}{S_{VB}} \quad (3.5)$$



Gambar 3.8 Ilustrasi Cekungan Berisi Material Sedimen Halus

(Sumber: Nakamura, 2000)

Data mikrotremor merupakan data yang akan dianalisis di dalam metode HVSR tersebut. Data – data dari mikrotremor didapatkan dengan observasi langsung di lapangan, didalam pengukuran tersebut terdapat dua spektrum komponen horizontal yang diamati yaitu komponen utara – selatan dan komponen barat – timur. Dasar perhitungan rasio spektrum pada metode HVSR menggunakan mikrotremor dapat dilihat pada **Persamaan 3.6** berikut:

$$HVSR = T_{SITE} = \frac{S_{HS}}{S_{VS}} = \frac{\sqrt{[(S_{Utara-Selatan})^2 + (S_{Barat-Timur})^2]}}{S_{Vertikal}} \quad (3.6)$$

3.7 Frekuensi Dominan (F_0)

Frekuensi dominan atau frekuensi natural adalah banyaknya gelombang yang terjadi dalam satuan waktu. Frekuensi dominan dipengaruhi oleh besarnya kecepatan rata-rata dan ketebalan sedimen di bawah permukaan. Nilai frekuensi dominan sendiri diperoleh dengan menganalisis sumbu horizontal puncak kurva

H/V. Nilai frekuensi dominan mewakili jenis tanah dan ketebalan lapisan sedimen, yaitu merupakan gambaran dari karakteristik geologi berdasarkan respon terhadap gempabumi di suatu daerah, sehingga kondisi struktur bawah permukaan di daerah tersebut menentukan tinggi atau rendahnya nilai frekuensi dominan. Daerah dengan nilai frekuensi dominan yang tinggi menggambarkan bahwa daerah tersebut memiliki sedimen yang tipis serta tanah yang keras, sedangkan nilai frekuensi dominan yang rendah menandakan bahwa daerah tersebut memiliki sedimen yang tebal dan tanah yang lunak. Pengklasifikasian tanah berdasarkan nilai frekuensi dominan dapat dilihat pada **Tabel 3.2** berikut ini.

Tabel 3.2 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Frekuensi Dominan Menurut Kanai

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

Sumber: Haniifah (2023)

3.8 Periode Dominan (T_0)

Periode dominan (T_0) merupakan suatu parameter yang berkaitan dengan kedalaman suatu lapisan endapan di permukaan. Periode dominan adalah waktu yang dibutuhkan oleh gelombang sinyal mikrotremor saat merambat melalui lapisan sedimen. Selain dapat mengetahui waktu saat perambatan di lapisan sedimen, nilai periode dominan juga dapat digunakan untuk mengidentifikasi karakter lapisan batuan di lokasi penelitian. Nilai periode dominan dapat dihitung dengan menggunakan **Persamaan 3.7** berikut.

$$T_0 = \frac{1}{F_0} \quad (3.7)$$

Tabel 3.3 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Periode Dominan Menurut Kanai – Omote Nakajima

Klasifikasi Tanah		Periode Dominan (T_0) Detik	Keterangan	Karakter
Kanai	Omote-nakajima			
Jenis I	Jenis A	0,05 – 0,15	Batuan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan <i>hard sandy, gravel</i> .	Keras
Jenis II		0,15- 0,25	Batuan <i>alluvial</i> dengan ketebalan 5 m. Terdiri dari <i>sandy-gravel, sandy hard clay, loam</i> .	Sedang
Jenis III	Jenis B	0,25 – 0,40	Batuan <i>alluvial</i> , hampir sama dengan jenis II, hanya dibedakan oleh adanya formasi <i>bluff</i> .	Lunak
Jenis IV	Jenis C	>0,40	Batuan <i>alluvial</i> , yang terbentuk dari sedimentasi <i>delta, top soil, lumpur, dll</i> . Dengan kedalaman 30 m atau lebih.	Sangat Lunak

Sumber: BMKG (1998)

3.9 Amplifikasi Maksimal (A_g)

Amplifikasi adalah perbesaran pada gelombang seismik yang antar lapisannya mengalami perbedaan yang signifikan. Nilai amplifikasi merupakan gelombang dari lapisan batuan dasar (*bedrock*) ke lapisan sedimen yang mengalami

pembesaran amplitudo. Nilai faktor amplifikasi merepresentasikan penguatan getaran tanah saat terjadi gempa bumi. Tanah sedimen lunak merupakan suatu parameter yang menandakan bahwa daerah tersebut memiliki nilai amplifikasi besar. Daerah dengan permukaan yang tersusun dari batuan akan memiliki nilai amplifikasi lebih kecil dibandingkan daerah yang permukaannya tersusun dari sedimen lunak. Antara sedimen dengan *bedrock*, daerah dengan sedimen yang lunak akan memiliki nilai kontras yang besar, dan batuan yang mengalami deformasi atau pelapukan juga merupakan tambahan suatu faktor amplifikasi. Klasifikasi nilai amplifikasi dapat dilihat pada **Tabel 3.4**.

Tabel 3.4 Klasifikasi Nilai Faktor Amplifikasi

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

Sumber: Marjiyono (2010)

Nilai amplifikasi juga dapat diperoleh dengan menggunakan rumus. Hal ini disebabkan karena adanya nilai penguatan amplifikasi yang berhubungan dengan kontras impedansi lapisan di permukaan dan di bawahnya. Apabila perbandingan kontras pada kedua lapisan tinggi maka nilai faktor amplifikasi juga tinggi dan begitu juga sebaliknya.

3.10 Indeks Kerentanan Seismik (K_g)

Indeks kerentanan seismik (K_g) adalah parameter yang menyatakan tingkat kerawanan terhadap ancaman resiko gempabumi di suatu wilayah. Indeks kerentanan seismik juga merupakan kerentanan akibat deformasi pada suatu lapisan permukaan tanah yang diakibatkan oleh beban seismik di daerah tersebut. Di sisi lain, indeks kerentanan seismik juga dapat menentukan kestabilan struktur tanah saat ada gangguan atau getaran. Parameter yang berhubungan dengan indeks ini yaitu frekuensi natural dan amplifikasi yang didapatkan dari pengukuran langsung di lapangan. Tingkat soliditas dari sedimen juga merupakan faktor yang dapat

mempengaruhi indeks kerentanan seismik, ketika sedimen memiliki tingkat soliditas yang rendah maka faktor amplifikasi dapat menjadi lebih tinggi saat gempa bumi terjadi, karena batuan yang tingkat soliditasnya tinggi cenderung lebih stabil dalam menahan getaran gempa bumi. Nilai indeks kerentanan seismik dapat diperoleh dengan menggunakan **Persamaan 3.8** berikut (Nakamura, 1997).

$$K_g = \frac{A_g^2}{f_g} \quad (3.8)$$

Dimana:

K_g = indeks kerentanan seismik

A_g = nilai faktor amplifikasi maksimal

f_g = frekuensi dominan (Hz)

Nilai indeks kerentanan seismik yang didapatkan merupakan gambaran mengenai seberapa besar atau kecil potensi tingkat guncangan akibat gempa bumi di suatu daerah. Kondisi geologi yang di wilayah yang didominasi oleh sedimen lunak akan memiliki nilai indikator yang tinggi dibandingkan dengan sedimen yang keras. Hal itu menunjukkan bahwa kondisi lapisan tanah sangat mempengaruhi indeks kerentanan seismik.

3.11 Percepatan Tanah Maksimum (PGA)

Percepatan atau akselerasi adalah suatu proses perubahan kecepatan pada benda dalam waktu tertentu. Adanya gaya pada benda atau objek tersebut yang membuat terjadinya akselerasi. Percepatan tanah maksimum atau *peak ground acceleration* merupakan parameter percepatan gelombang seismik, percepatan tanah maksimum adalah nilai perubahan kecepatan pada getaran tanah maksimal yang disebabkan oleh gelombang gempa bumi. Nilai percepatan tanah maksimum pada suatu titik dapat dihitung dengan mengetahui magnitudo dan jarak sumber gempa bumi atau hiposenter yang pernah terjadi di titik tersebut, dan dengan memperhatikan nilai periode dominan tanah di wilayah tersebut.

Percepatan getaran tanah puncak merupakan nilai percepatan getaran tanah tertinggi yang pernah didapatkan di suatu tempat atau daerah akibat gempa bumi. Dalam menganalisis kerentanan gempa bumi suatu wilayah, nilai percepatan tanah maksimum menjadi parameter penting karena nilai tersebut dapat memberikan data

mengenai kekuatan gempa yang sebelumnya pernah terjadi di wilayah tersebut. Besar kecilnya nilai PGA permukaan dapat mempengaruhi potensi bahaya dan kerusakan akibat gempa bumi pada suatu wilayah, jika nilai PGA permukaan tersebut besar maka potensi terjadinya gempa bumi semakin besar untuk terjadi.

Tingkat kerusakan yang diakibatkan oleh gempa bumi pada dasarnya dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti, kekuatan dan kualitas bangunan, keadaan geologi dan percepatan tanah di lokasi setempat. Faktor-faktor tersebut merupakan suatu parameter percepatan tanah, maka dapat dikatakan data PGA permukaan adalah komponen penting dalam memvisualisasikan tingkat kerentanan dan rawan bencana gempabumi di suatu wilayah.

Pengukuran percepatan tanah dapat diukur secara langsung di lokasi penelitian dengan menggunakan alat *accelerograph*. Apabila pengukuran secara langsung tidak memungkinkan, maka dapat dilakukan dengan melakukan pendekatan empiris. Pendekatan empiris merupakan pendekatan yang dilakukan di dalam penelitian yang dimaksudkan untuk mengetahui kondisi secara langsung dan juga dengan keadaan seadanya, pendekatan ini juga didasarkan dengan uji coba dan pembuktian. Salah satu cara dalam menghitung PGA permukaan dengan pendekatan empiris yaitu dengan menggunakan metode kanai, dimana metode ini digunakan untuk menghitung nilai percepatan getaran tanah puncak. Metode kanai memperhitungkan parameter gempa bumi seperti, periode dominan tanah, magnitudo dan jarak hiposenter. Rumus empiris yang digunakan dalam metode Kanai (1961) untuk menghitung nilai percepatan getaran tanah ditunjukkan pada **Persamaan 3.9** sebagai berikut:

$$\alpha = \frac{\alpha_1}{\sqrt{Tg}} 10^{\alpha_2 M - P \log_{10} R + Q} \quad (3.9)$$

Rumus P dan Q dapat diperoleh melalui **Persamaan 3.10** dan **Persamaan 3.11**.

$$P = \alpha_3 + \frac{\alpha_4}{R} \quad (3.10)$$

$$Q = \alpha_5 + \frac{\alpha_6}{R} \quad (3.11)$$

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

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

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

Dimana:

α = percepatan tanah di titik pengukuran (gal)

T_g = periode predomnan tanah (s)

M = magnitudo gempabumi (SR)

R = jarak kedalaman gempabumi (km)

αg = percepatan di batuan dasar

dengan konstanta-konstanta $a_1 = 5$, $a_2 = 0,61$, $a_3 = 1,66$, $a_4 = 3,60$, $a_5 = 0,167$, $a_6 = -1,83$.

3.12 Peta Kerentanan Gempa Bumi

Peta merupakan representasi gambaran permukaan bumi dalam suatu bidang datar yang mengandung informasi mengenai skala, simbol dan keterangan lainnya. Peta kerentanan gempa bumi sendiri merupakan gambaran suatu kondisi wilayah yang dikategorikan sesuai tingkat kerentanan gempa bumi pada wilayah tersebut, dan memuat informasi tentang tingkat kerusakan yang dapat terjadi di sekitar wilayah tersebut. Peta kerentanan gempa bumi ini direalisasikan dengan analisis berdasarkan nilai percepatan tanah tertinggi yang dilakukan di wilayah penelitian. Nilai percepatan tanah maksimum dapat menggambarkan seberapa besar potensi kerusakan di suatu wilayah, wilayah dengan nilai percepatan tanah maksimum yang tinggi berpotensi mengalami kerusakan yang besar begitu juga sebaliknya. Contoh peta bahaya gempa bumi dapat dilihat pada **Gambar 3.9**.



Gambar 3.9 Contoh Peta Bahaya Gempabumi

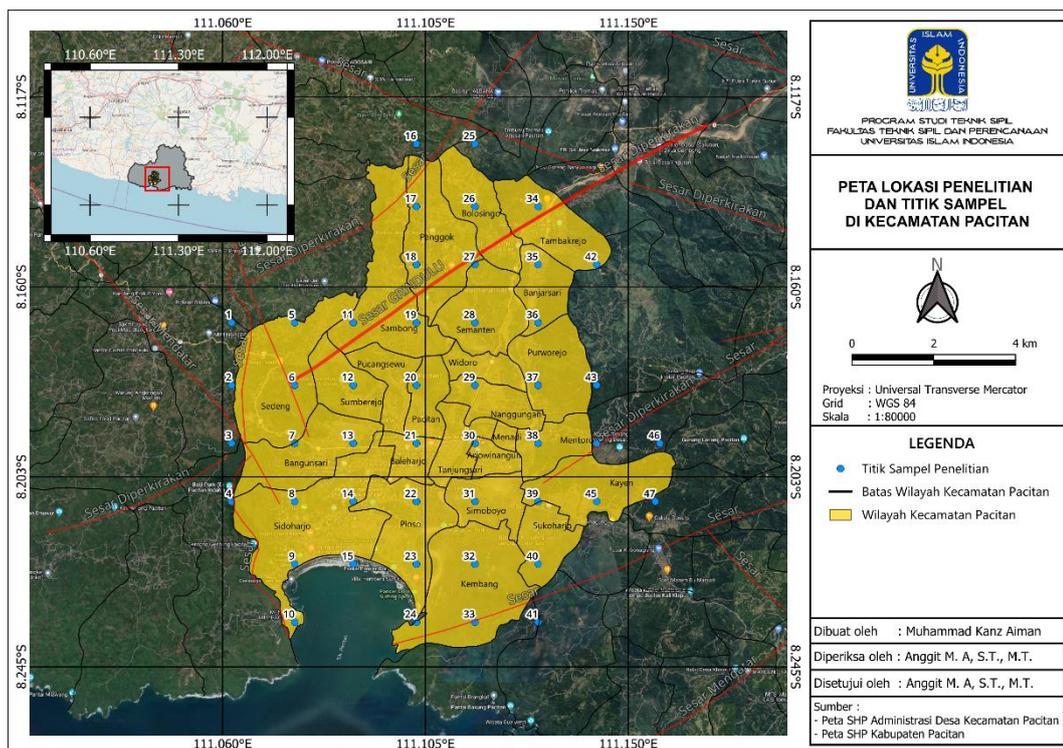
(Sumber: BPBD Kabupaten Pacitan, 2013)

BAB IV

METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di wilayah Kecamatan Pacitan, Kabupaten Pacitan. Wilayah ini meliputi 20 desa dan 5 kelurahan. Koordinat penelitian ini terletak pada $111^{\circ}9'44,467''$ BT - $111^{\circ}9'37,712''$ BT dan $8^{\circ}7'30,984''$ LS - $8^{\circ}14'30,984''$ LS, detail lokasi penelitian dapat dilihat pada **Gambar 4.1**.



Gambar 4.1 Peta Lokasi Penelitian

4.2 Peralatan

Adapun peralatan yang digunakan untuk penelitian ini yang terdiri dari perangkat lunak dan keras.

1. Perangkat lunak (*software*) terdiri dari :

- a. *Web Lunitek* berfungsi untuk menata instrument.
 - b. *QGIS* berfungsi untuk membuat peta lokasi penelitian dan peta mikrozonasi.
 - c. *Google Earth* berfungsi untuk memvisualisasikan gambaran lokasi penelitian dan menentukan titik lokasi penelitian.
 - d. *Geopsy* berfungsi untuk menganalisis sinyal mikrotremor dan memperoleh kurva h/v.
 - e. *Microsoft Excel 2016* berfungsi untuk mengkonversi koordinat dan mengolah data.
 - f. *Microsoft Word 2016* berfungsi untuk menyusun laporan.
2. Perangkat keras (*hardware*) terdiri dari :
- a. *Blue suitcase* digunakan untuk merekam getaran tanah yang terjadi pada setiap titik penelitian.
 - b. *Triton 5s* digunakan untuk memproses data yang didapatkan dari titik penelitian.
 - c. *Wi-Fi antena* (jika menggunakan Wi-Fi) atau *Ethernet cable* (jika menggunakan koneksi LAN) digunakan untuk penghubung antara instrument.
 - d. USB digunakan untuk menyimpan data penelitian.
 - e. GPS antena digunakan untuk mengetahui posisi di titik penelitian.
 - f. Battery 6 buah type 18650 3400 mAh 3.7 V digunakan untuk sumber daya energi.
 - g. Adaptor + power cable (to AC)
 - h. Laptop digunakan untuk sarana penghubung dan menganalisis data.
 - i. Lembar *check list* titik pengambilan data mikrotremor.
 - j. *Handphone* digunakan untuk mengambil gambar di lapangan.

Perangkat keras yang sudah disebutkan diatas dapat dilihat pada **Gambar 4.2**.



Gambar 4.2 Perangkat Keras Pengukuran Mikrotremor

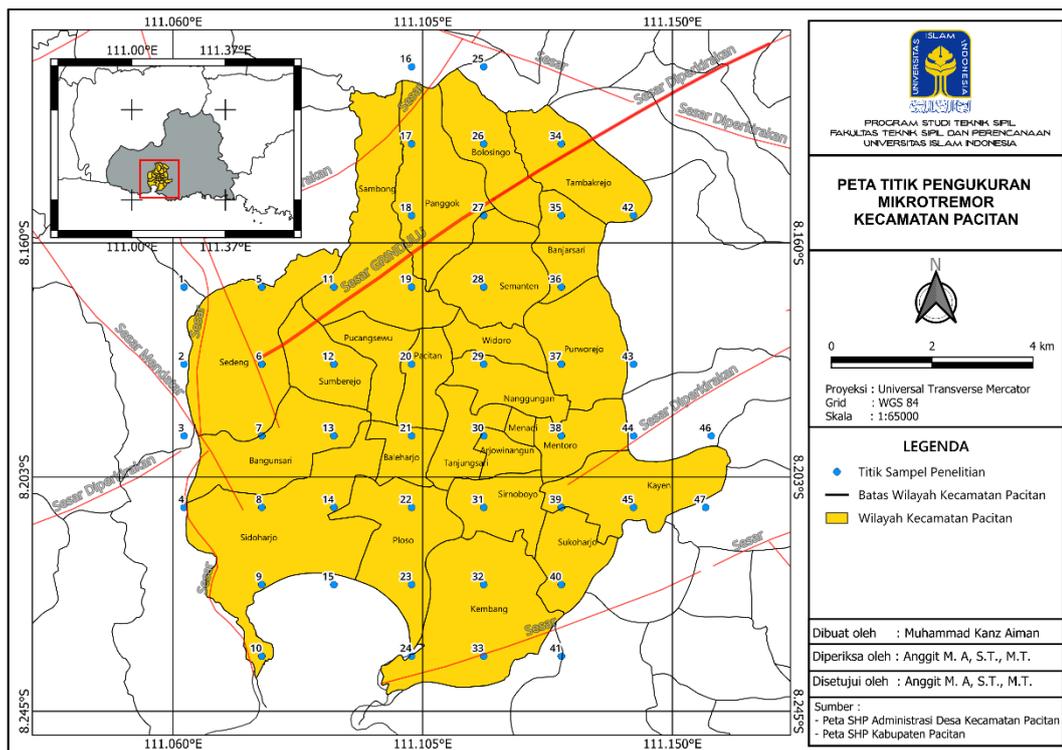
4.3 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu dengan melakukan pengambilan data mikrotremor secara langsung di lapangan pada lokasi penelitian. Penentuan rencana titik penelitian menggunakan *software Google Earth* dengan interval antar titik $\pm 1,5$ km. Pengambilan data ini menggunakan bantuan alat *Digital Portable Seismograph Triton 5s*.

Proses pengumpulan data pada penelitian ini mencakup tahap survei dan tahap pengambilan data sebagai berikut.

1. Tahap Survei

Tahap survei bertujuan untuk mengetahui topografi atau gambaran di daerah penelitian secara langsung. Data yang akan digunakan dalam penelitian ini didapatkan melalui penelitian secara langsung di lapangan sesuai titik yang sudah ditentukan untuk mendapatkan nilai – nilai mikrotremor. Perencanaan lokasi penelitian diperkirakan dengan menggunakan bantuan garis bantu atau grid yang berinterval $\pm 1,5 \times 1,5$ km yang dapat dilihat pada **Gambar 4.3**. Pengukuran yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan bantuan alat *Lunitek Triton Digital Seismic Sensor*.



Gambar 4.3 Grid Lokasi Penelitian Interval $\pm 1,5 \times 1,5$ km

2. Tahap Pengambilan Data

Tahap pengambilan data dilakukan pada setiap titik penelitian dengan pengukuran sinyal mikrotremor selama ± 35 menit menggunakan frekuensi *sampling* 100 Hz. Data akan didapatkan melalui getaran tanah yang tercatat

oleh alat dan akan mendapatkan 3 jenis gelombang, yaitu dua gelombang seismik horizontal yang berformat data SHE.mseed, SHN.mseed, dan SHZ.mseed, dan satu gelombang seismik vertikal. Selanjutnya data-data tersebut diolah dengan perangkat lunak *geopsy* untuk mendapatkan parameter yang diperlukan dalam penelitian ini. Dasar pengambilan data ini mengikuti syarat yang ditetapkan oleh *SESAME European Research Project* yang dapat dilihat pada **Tabel 4.1**.

Tabel 4.1 Syarat Teknis Pengukuran Mikrotremor

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

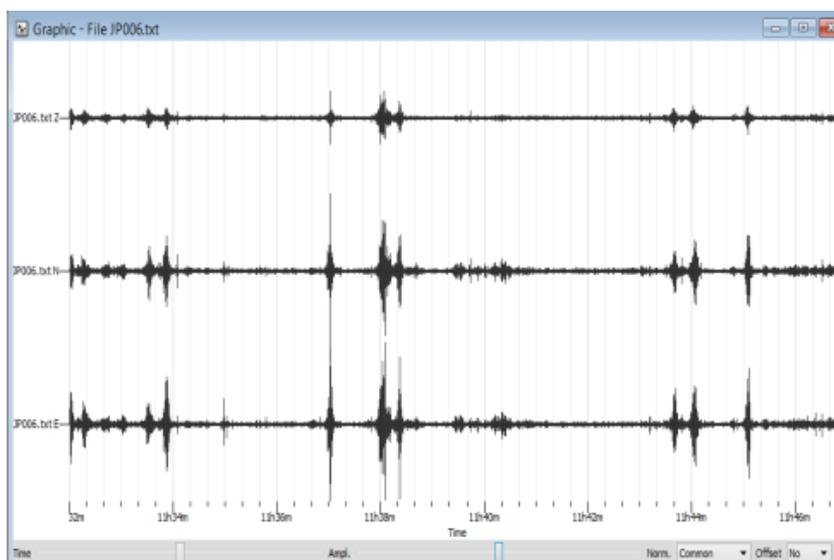
Sumber: SESAME (2004)

4.4 Pengolahan Data

Data yang sudah didapatkan dari hasil pengukuran mikrotremor, selanjutnya akan di *input* kedalam *software* Geopsy, lalu *channels* dipilih sesuai dengan format data mikrotremor tersebut. Kemudian tekan *input* data pada *windows seedlink* dan *software* Geopsy akan secara otomatis mengolah sinyal. Kurva HVSR didapatkan dengan menyesuaikan *windows* untuk memilah parameter yang dipilih secara otomatis. Pengolahan data dapat diproses lebih lanjut dengan menginver hasil kurva H/V. Berikut uraian penjelasan mengenai pengolahan data pada tiap - tiap parameter.

4.4.1 Pengolahan Data Mikrotremor

Data pengukuran mikrotremor selanjutnya diolah menggunakan metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR). Hasil dari data pengukuran getaran dalam fungsi tanah tergolong dari tiga komponen, yaitu komponen vertical, barat-timur dan utara-selatan. Ketiga komponen tersebut disimpan dalam format SHZ.mseed, SHN.mseed, dan SHE.mseed. Sinyal mikrotremor dari tiga komponen tersebut dapat dilihat pada **Gambar 4.4**.



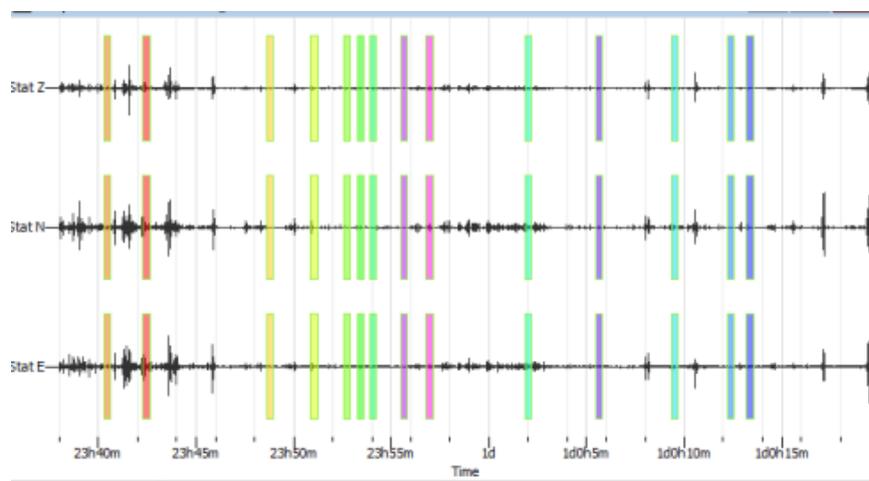
Gambar 4.4 Sinyal Rekaman Mikrotremor Tiga Komponen

(Sumber: Jati, 2021)

4.4.2 Perhitungan Frekuensi Natural (f_0), Amplifikasi (A_0), Periode dominan (T_0)

Data mikrotremor yang sudah diolah kemudian diolah kembali menggunakan *software* Geopsy, untuk memperoleh kurva H/V. Dari kurva tersebut akan didapat parameter – parameter yang diperlukan, berupa Frekuensi Natural (f_0), Amplifikasi (A_0), dan Periode Dominan (T_0). Tahapan dalam pengolahan data menggunakan *software* Geopsy adalah sebagai berikut.

1. Buka *software* Geopsy, pilih file dan *import signals* lalu atur *seed stream* dengan IP *Instrument* 19.168.0.100 (*WiFi*) atau 192.168.1.100 (*Ethernet*).
2. *Connect* dan pilih *channels* format data SHE, SHN, dan SHZ.
3. Pada *windows seed link signal loader* Geopsy, pilih start atau input data. Dengan menekan tombol pada *toolbar*, *software* Geopsy akan menyeleksi *windows* secara otomatis akan mengolah waktu sinyal. Berikut merupakan contoh sinyal saat pengolahan data pada *software* Geopsy pada **Gambar 4.5**.

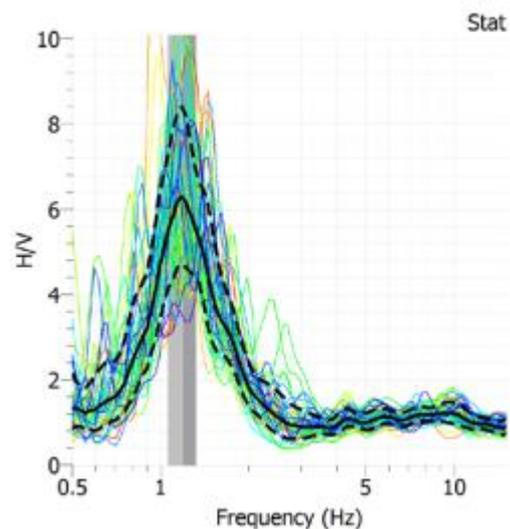


Gambar 4.5 Contoh Windowing Sinyal Mikrotremor

(Sumber: Rofiki, 2020)

4. Kemudian pilih *time window* yang meliputi panjang (*length*), *range* waktu yaitu waktu pada saat mulai dan waktu maksimum *window*. Klik kanan pada tiga komponen data, pilih HV, lalu pilih *exactly* pada kolom *length*, kemudian *checklist* bagian *anti trigres on raw signal*, dan pada kolom *select* pilih auto lalu klik *start*.

5. Proses pengolahan data disesuaikan dengan *windows* untuk memilah parameter secara otomatis yang diperlukan, pilih tombol *start* untuk *software* Geopsy memulai perhitungan HVSR.
6. Simpan hasil kurva H/V yang telah diolah dengan format *extension* .HV, berikut merupakan contoh kurva H/V pada **Gambar 4.6**.



Gambar 4.6 Contoh Kurva H/V

(Sumber: Arifudin, 2018)

4.4.3 Perhitungan Indeks Kerentanan Seismik (Kg)

Pada penelitian ini perhitungan indeks kerentanan seismik dihitung menggunakan **Persamaan 3.8**. Setelah nilai indeks kerentanan seismik didapatkan, langkah selanjutnya ialah memetakan hasil tersebut untuk melihat persebaran distribusi nilainya.

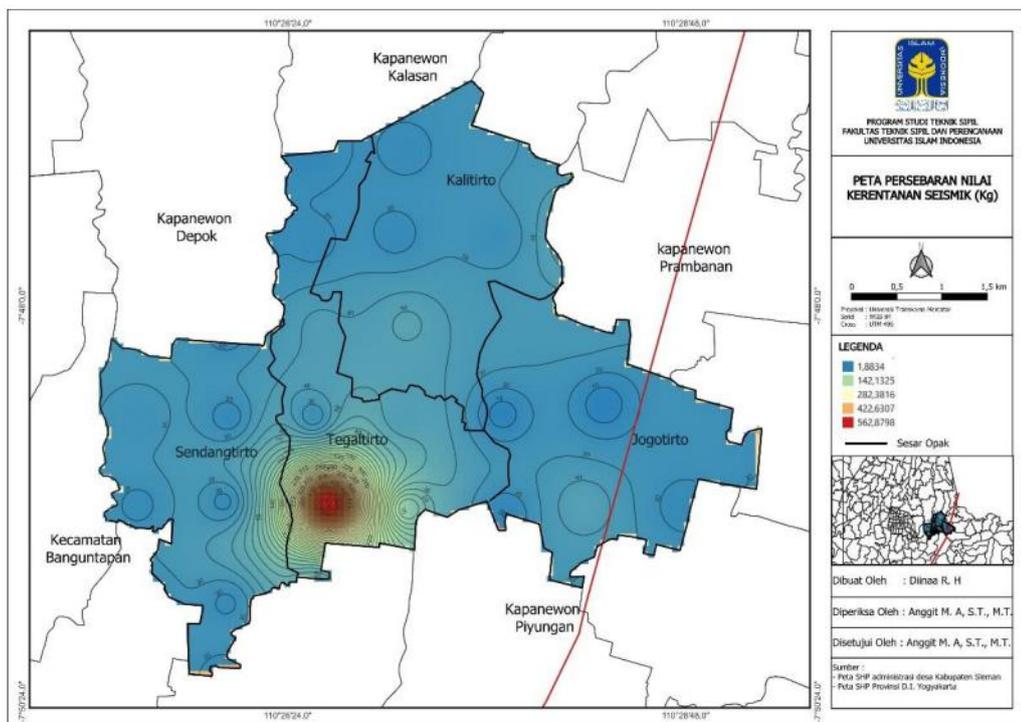
4.4.4 Perhitungan Percepatan Tanah Maksimum (PGA)

Pada penelitian ini perhitungan percepatan tanah maksimum atau *peak ground acceleration* (PGA) permukaan dihitung menggunakan persamaan metode Kanai (1996) pada **Persamaan (3.9 – 3.11)**. Hubungan PGA permukaan juga dipertimbangkan dalam parameter yang digunakan dalam perhitungan ini, parameter tersebut ialah periode dominan tanah, magnitude gempa, dan jarak pusat gempabumi yang terjadi pada bulan Juni 2023.

4.4.5 Peta Kerentanan Gempabumi

Peta kerentanan gempabumi pada penelitian ini dibuat menggunakan *software* QGIS, berdasarkan penggabungan data – data yang telah didapatkan dari hasil pengukuran serta perhitungan. Parameter yang digunakan dalam penyusunan peta ini yaitu indeks kerentanan seismik (K_g), dan percepatan tanah maksimum (PGA) permukaan.

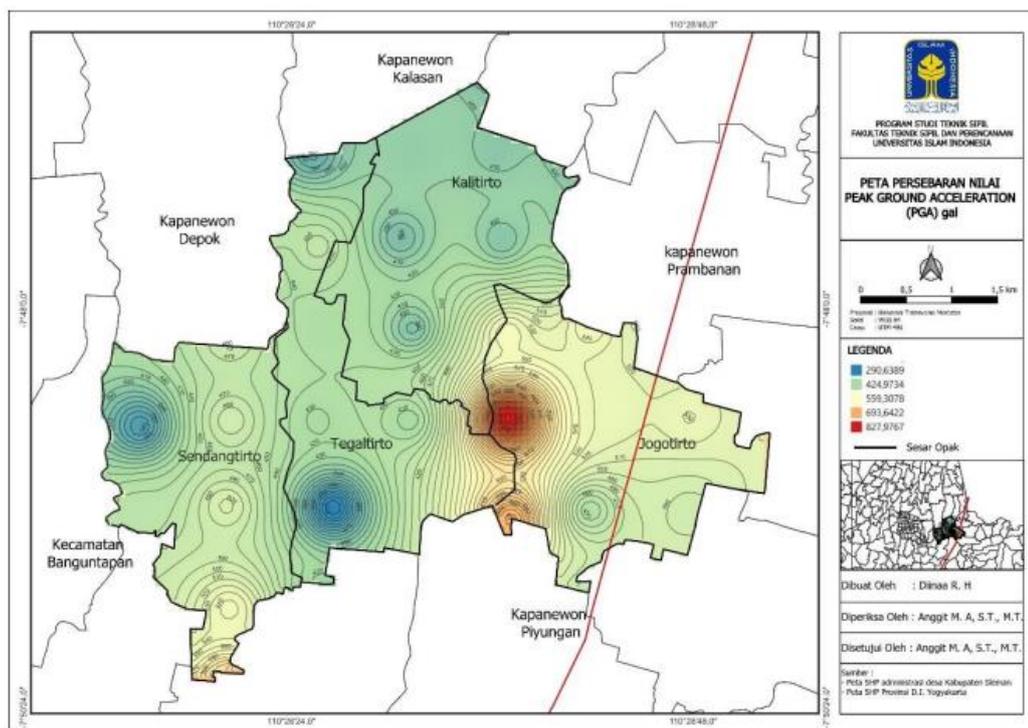
Nilai indeks kerentanan seismik (K_g) yang sudah diolah kemudian disusun menjadi sebuah peta seperti pada **Gambar 4.7**. Berdasarkan peta indeks kerentanan seismik pada Kapanewon Berbah, Kota Yogyakarta, didapatkan nilai K_g berkisar antara 1,860 – 564,634. Daerah dengan hasil nilai K_g rendah yang ditunjukkan dengan warna biru tersebar di hampir seluruh wilayah Kapanewon Berbah. Namun, pada 1 titik yang terletak di selatan Kapanewon Berbah, yaitu di Kelurahan Tegaltirto mendapatkan nilai indeks kerentanan seismik yang tinggi. Dengan begitu wilayah yang memiliki nilai K_g tinggi akan lebih rentan terhadap bencana gempa bumi dan juga sebaliknya.



Gambar 4.7 Peta Persebaran Nilai Indeks Kerentanan Seismik (K_g)

(Sumber: Haniifah, 2023)

Nilai percepatan tanah maksimum (PGA) permukaan yang sudah diolah kemudian disusun menjadi sebuah peta seperti pada **Gambar 4.8**. Berdasarkan percepatan tanah maksimum pada Kapanewon Berbah, Kota Yogyakarta, didapatkan nilai PGA permukaan berkisar antara 290,049 – 830,451 gal. Daerah dengan nilai PGA permukaan yang terletak diantara 168 – 564 memiliki tingkat kerusakan yang ringan dengan skala MMI VII – VIII tersebar pada seluruh wilayah Kapanewon Berbah. Namun, pada wilayah Kelurahan Jogotirto didapatkan nilai PGA permukaan (gal) diatas 563 dengan tingkat kerusakan berat dan skala MMI IX – XII. Dengan demikian wilayah yang memiliki nilai PGA permukaan tinggi akan semakin tinggi juga kerusakan yang dapat terjadi di wilayah tersebut.

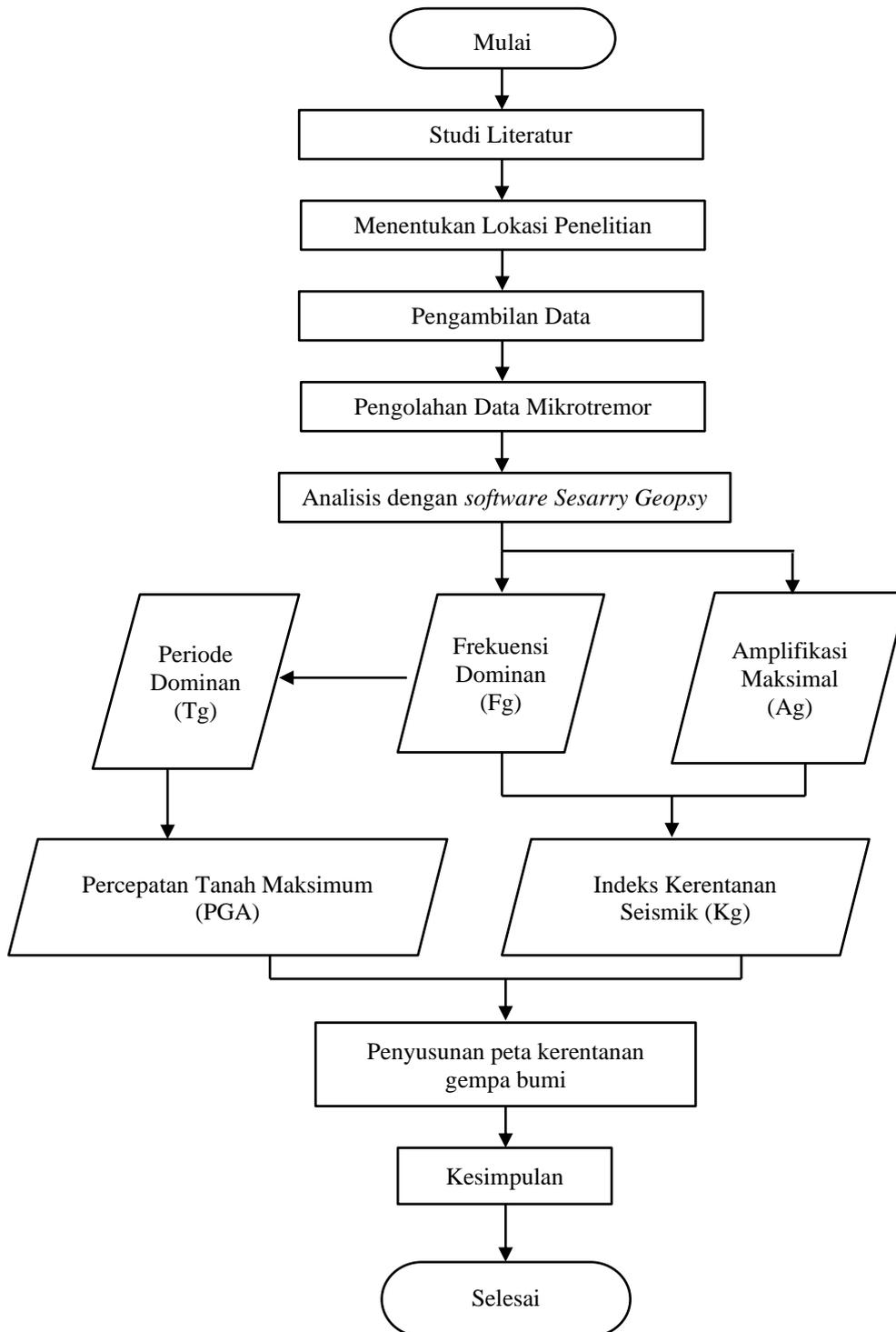


Gambar 4.8 Peta Persebaran Nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) gal

(Sumber: Haniifah, 2023)

4.5 Diagram Alur Penelitian

Adapun diagram alir dalam penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 4.9**.



Gambar 4.9 Diagram Alur Penelitian

BAB V

ANALISIS, HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Pengambilan Data di Lapangan

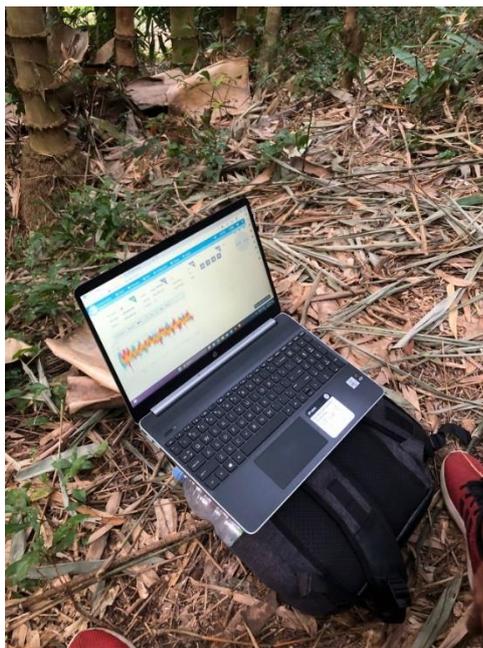
Pengambilan data mikrotremor yang dilakukan di lapangan dengan cara merekam melalui getaran tanah didapatkan melalui bantuan alat mikrotremor *Lunitek Digital Seismic Sensor Triton 5s*. Proses perekaman alat mikrotremor menyesuaikan dengan panduan SESAME. Tahap pertama yaitu menuju titik lokasi penelitian dengan melihat pada *Google Maps*, selanjutnya menyesuaikan titik lokasi perekaman dengan titik lokasi sampel. Setelah titik dirasa sudah sesuai, selanjutnya di tahap kedua yaitu mempersiapkan instrument alat pada titik yang telah ditentukan seperti pada **Gambar 5.1**.



Gambar 5.1 Persiapan Instrument Alat di Lokasi Titik Penelitian

Tahap ketiga dimulai dengan meletakkan alat pada lapisan yang datar, lalu pastikan alat searah dengan arah mata angin utara dan *nivo* atau gelembung berada di lingkaran tengah agar kaki-kaki alat mikrotremor seimbang. Pasang kabel GPS,

kabel ethernet (jika menggunakan koneksi LAN), antena *WiFi*, dan baterai. Selanjutnya tekan tombol power pada alat beberapa detik hingga terdengar bunyi “*beep*” pertama yang menunjukkan alat sudah menyala, lalu tunggu hingga terdengar bunyi “*beep*” kedua yang menunjukkan alat sudah mulai merekam, dan menunggu proses perekaman selama ± 35 menit seperti pada **Gambar 5.2**.



Gambar 5.2 Proses Perekaman Sinyal Mikrotremor

Hasil yang didapatkan dari pengambilan data mikrotremor di lapangan berupa 3 jenis komponen gelombang seismik yaitu gelombang vertikal, gelombang horizontal *north-south* dan gelombang horizontal *east-west* dengan format SHZ.mseed, SHN.mseed dan SHE.mseed. Selanjutnya yaitu mengolah data mikrotremor dengan metode HVSR di *software Sesarry Geopsy*.

5.2 Uji Outlier

Outlier adalah suatu pengamatan dimana adanya nilai yang berbeda atau menyimpang jauh dengan nilai lain dalam kelompoknya (Azyam, 2023). Pengujian *outlier* perlu dilakukan sebelum melanjutkan suatu analisis dalam penelitian. Apabila data yang dianalisis terdapat *outlier*, maka data tersebut akan merusak data yang sudah didapat sehingga data tersebut tidak dapat digunakan. Pengecekan *outlier* dapat dilakukan dengan melihat batas *Z-score* atau nilai standar baku.

Dalam hal ini, syarat *Z-score* yang digunakan untuk batas nilai pengujian adalah kurang dari -3 atau lebih dari +3 (Tileng, 2015). Analisis uji *outlier* pada penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 5.1**, **Tabel 5.2**, dan **Tabel 5.3** berikut.

Tabel 5.1 Analisis *Outlier* Nilai Frekuensi Dominan (F_g)

Titik	Frekuensi Dominan (F_g)	Rata -Rata	Standar Deviasi	<i>Z-score</i>	Keterangan
1	6,1071	7,235814277	6,964945003	0,162061	TIDAK OUTLIER
2	6,9701			0,038146	TIDAK OUTLIER
3	7,8938			0,094471	TIDAK OUTLIER
4	7,5895			0,050784	TIDAK OUTLIER
5	13,4327			0,889725	TIDAK OUTLIER
6	2,5942			0,666429	TIDAK OUTLIER
7	2,2991			0,708799	TIDAK OUTLIER
8	3,0617			0,599298	TIDAK OUTLIER
9	2,1483			0,730449	TIDAK OUTLIER
10	6,0144			0,175373	TIDAK OUTLIER
11	11,1032			0,555264	TIDAK OUTLIER
12	19,2706			1,727908	TIDAK OUTLIER
13	0,9812			0,898020	TIDAK OUTLIER
14	0,7378			0,932964	TIDAK OUTLIER
15	0,6178			0,950193	TIDAK OUTLIER
16	3,8737			0,482722	TIDAK OUTLIER
17	1,9261			0,762347	TIDAK OUTLIER
18	12,5574			0,764053	TIDAK OUTLIER
19	2,0029			0,751322	TIDAK OUTLIER
20	5,6575			0,226604	TIDAK OUTLIER
21	1,0945			0,881751	TIDAK OUTLIER
22	0,6754			0,941914	TIDAK OUTLIER
23	0,6115			0,951095	TIDAK OUTLIER
24	23,9141			2,394604	TIDAK OUTLIER
25	7,2792			0,006226	TIDAK OUTLIER
26	22,3970			2,176785	TIDAK OUTLIER
27	6,2418			0,142721	TIDAK OUTLIER
28	16,0469			1,265062	TIDAK OUTLIER
29	0,8751			0,913247	TIDAK OUTLIER
30	0,9291			0,905495	TIDAK OUTLIER
31	0,6326			0,948058	TIDAK OUTLIER
32	4,7337			0,359243	TIDAK OUTLIER
33	12,2390			0,718338	TIDAK OUTLIER
34	14,8196			1,088851	TIDAK OUTLIER
35	0,9417			0,903680	TIDAK OUTLIER
36	1,8529			0,772854	TIDAK OUTLIER
37	10,3513			0,447309	TIDAK OUTLIER
38	4,4017			0,406907	TIDAK OUTLIER
39	9,2532			0,289643	TIDAK OUTLIER
40	7,3048			0,009898	TIDAK OUTLIER
41	3,8017			0,493064	TIDAK OUTLIER

Lanjutan Tabel 5.1 Analisis *Outlier* Nilai Frekuensi Dominan (F_g)

Titik	Frekuensi Dominan (F_g)	Rata -Rata	Standar Deviasi	Z-score	Keterangan
42	3,9920	7,235814277	6,964945003	0,465730	TIDAK OUTLIER
43	3,2701			0,569378	TIDAK OUTLIER
44	24,7759			2,518338	TIDAK OUTLIER
45	5,9142			0,189748	TIDAK OUTLIER
46	8,8600			0,233194	TIDAK OUTLIER
47	26,0353			2,699158	TIDAK OUTLIER

Tabel 5.2 Analisis *Outlier* Nilai Amplifikasi Dominan (A_g)

Titik	Amplifikasi Dominan (A_g)	Rata -Rata	Standar Deviasi	Z-score	Keterangan
1	2,6966	3,846353404	1,661390438	0,692073	TIDAK OUTLIER
2	1,7383			1,268843	TIDAK OUTLIER
3	2,8227			0,616155	TIDAK OUTLIER
4	3,8623			0,009616	TIDAK OUTLIER
5	2,5566			0,776322	TIDAK OUTLIER
6	3,2692			0,347416	TIDAK OUTLIER
7	2,6859			0,698495	TIDAK OUTLIER
8	3,3671			0,288465	TIDAK OUTLIER
9	7,0103			1,904385	TIDAK OUTLIER
10	5,7568			1,149920	TIDAK OUTLIER
11	3,5498			0,178503	TIDAK OUTLIER
12	3,0290			0,491976	TIDAK OUTLIER
13	4,9216			0,647179	TIDAK OUTLIER
14	4,8130			0,581824	TIDAK OUTLIER
15	4,6934			0,509860	TIDAK OUTLIER
16	2,3988			0,871302	TIDAK OUTLIER
17	2,5244			0,795697	TIDAK OUTLIER
18	2,0200			1,099292	TIDAK OUTLIER
19	1,5477			1,383554	TIDAK OUTLIER
20	2,9591			0,534043	TIDAK OUTLIER
21	4,9629			0,672031	TIDAK OUTLIER
22	5,2449			0,841799	TIDAK OUTLIER
23	6,1944			1,413326	TIDAK OUTLIER
24	1,6932			1,296013	TIDAK OUTLIER
25	3,1681			0,408262	TIDAK OUTLIER
26	2,4961			0,812701	TIDAK OUTLIER
27	4,2671			0,253256	TIDAK OUTLIER
28	1,8859			1,180032	TIDAK OUTLIER
29	8,8300			2,999684	TIDAK OUTLIER
30	5,1969			0,812925	TIDAK OUTLIER
31	6,7447			1,744507	TIDAK OUTLIER
32	2,0751			1,066133	TIDAK OUTLIER
33	4,8368			0,596161	TIDAK OUTLIER
34	4,1551			0,185824	TIDAK OUTLIER
35	4,7953			0,571194	TIDAK OUTLIER

Lanjutan Tabel 5.2 Analisis *Outlier* Nilai Amplifikasi Dominan (A_g)

Titik	Amplifikasi Dominan (A_g)	Rata -Rata	Standar Deviasi	Z-score	Keterangan
36	2,9078	3,846353404	1,661390438	0,564914	TIDAK OUTLIER
37	5,9522			1,267533	TIDAK OUTLIER
38	4,1635			0,190916	TIDAK OUTLIER
39	3,4686			0,227390	TIDAK OUTLIER
40	1,7211			1,279190	TIDAK OUTLIER
41	5,0403			0,718637	TIDAK OUTLIER
42	1,8497			1,201809	TIDAK OUTLIER
43	2,1521			1,019762	TIDAK OUTLIER
44	6,4227			1,550735	TIDAK OUTLIER
45	4,7279			0,530608	TIDAK OUTLIER
46	4,3023			0,274455	TIDAK OUTLIER
47	3,3014			0,328035	TIDAK OUTLIER

Tabel 5.3 Analisis *Outlier* Nilai Percepatan Tanah Maksimum (PGA)

Titik	PGA (gal)	Rata -Rata	Standar Deviasi	Z-score	Keterangan
1	613,229214	593,944549	307,789245	0,062655	TIDAK OUTLIER
2	654,395933			0,196405	TIDAK OUTLIER
3	695,529547			0,330047	TIDAK OUTLIER
4	681,278737			0,283747	TIDAK OUTLIER
5	909,828398			1,026299	TIDAK OUTLIER
6	399,420707			0,632003	TIDAK OUTLIER
7	375,589193			0,709431	TIDAK OUTLIER
8	432,896750			0,523241	TIDAK OUTLIER
9	362,224718			0,752852	TIDAK OUTLIER
10	605,268950			0,036793	TIDAK OUTLIER
11	827,478860			0,758747	TIDAK OUTLIER
12	1088,853685			1,607948	TIDAK OUTLIER
13	245,453638			1,132239	TIDAK OUTLIER
14	212,625567			1,238896	TIDAK OUTLIER
15	194,354071			1,298260	TIDAK OUTLIER
16	490,456186			0,336231	TIDAK OUTLIER
17	345,472317			0,807280	TIDAK OUTLIER
18	881,316937			0,933666	TIDAK OUTLIER
19	351,593594			0,787393	TIDAK OUTLIER
20	590,319907			0,011776	TIDAK OUTLIER
21	259,338130			1,087128	TIDAK OUTLIER
22	203,498506			1,268550	TIDAK OUTLIER
23	193,330595			1,301585	TIDAK OUTLIER
24	1208,343277			1,996167	TIDAK OUTLIER
25	672,608086			0,255576	TIDAK OUTLIER
26	1178,651427			1,899699	TIDAK OUTLIER
27	621,461467			0,089402	TIDAK OUTLIER
28	995,588534			1,304932	TIDAK OUTLIER
29	232,235072			1,175186	TIDAK OUTLIER
30	239,042136			1,153070	TIDAK OUTLIER

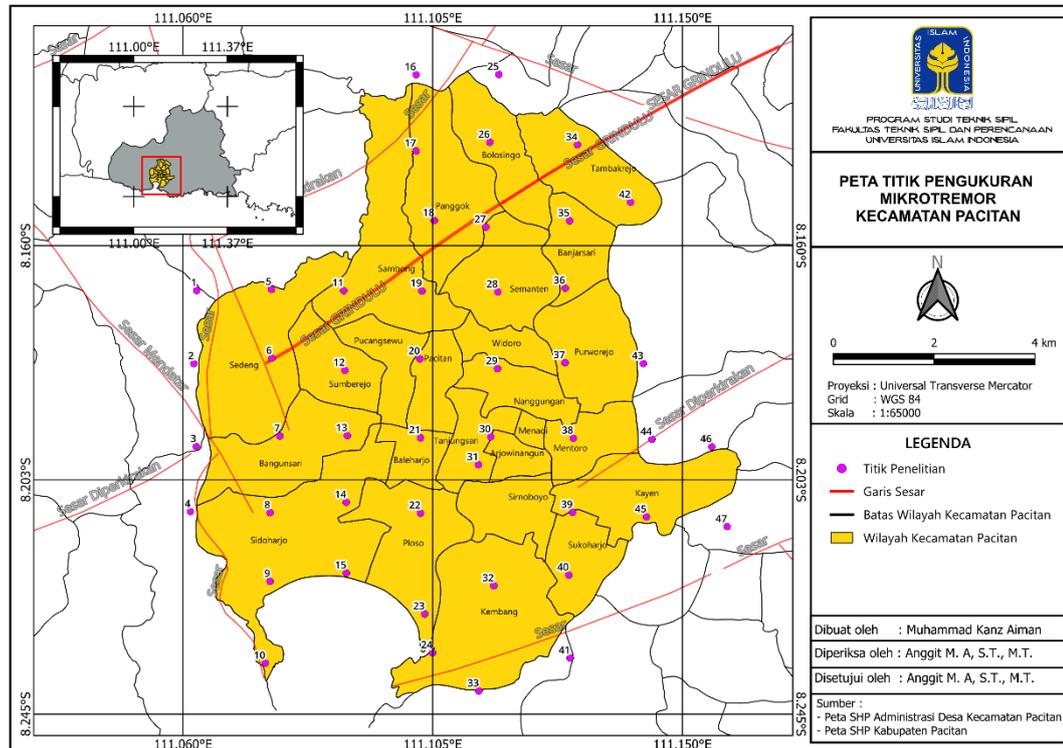
**Lanjutan Tabel 5.3 Analisis *Outlier* Nilai Percepatan Tanah Maksimum
(PGA)**

Titik	PGA (gal)	Rata -Rata	Standar Deviasi	Z-score	Keterangan
31	197,156608	593,944549	307,789245	1,289155	TIDAK OUTLIER
32	538,366954			0,180570	TIDAK OUTLIER
33	864,175317			0,877973	TIDAK OUTLIER
34	959,165547			1,186594	TIDAK OUTLIER
35	241,523065			1,145009	TIDAK OUTLIER
36	338,453831			0,830083	TIDAK OUTLIER
37	799,099150			0,666542	TIDAK OUTLIER
38	520,544099			0,238476	TIDAK OUTLIER
39	753,897544			0,519684	TIDAK OUTLIER
40	669,191964			0,244477	TIDAK OUTLIER
41	482,157580			0,363193	TIDAK OUTLIER
42	497,565576			0,313133	TIDAK OUTLIER
43	449,342577			0,469808	TIDAK OUTLIER
44	1235,542470			2,084537	TIDAK OUTLIER
45	602,953399			0,029270	TIDAK OUTLIER
46	739,043689			0,471424	TIDAK OUTLIER
47	1265,530292			2,181966	TIDAK OUTLIER

Dari hasil uji *outlier* pada **Tabel 5.1**, **Tabel 5.2**, dan **Tabel 5.3** tersebut tidak terdapat data yang *outlier* atau menyimpang jauh dari kelompok data lainnya. Hal tersebut dibuktikan dengan nilai Z-score dari ke 47 titik diatas tidak lebih dari angka 3 sehingga tidak termasuk data *outlier*. Maka data yang digunakan tidak akan merusak atau berpengaruh terhadap keakuratan hasil penelitian.

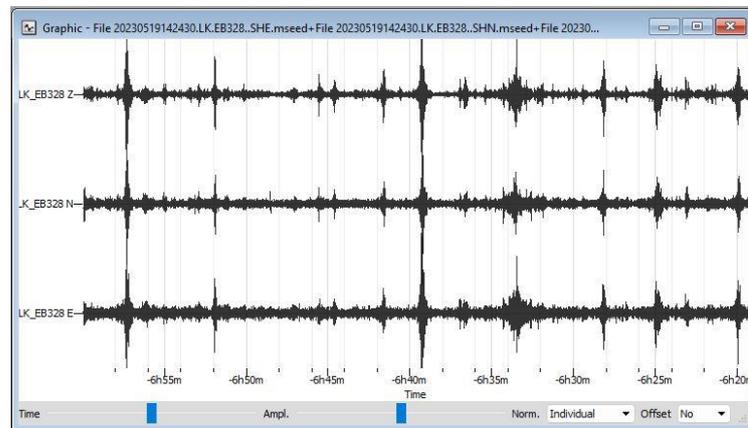
5.3 Analisis Data Mikrotremor

Analisis data pada penelitian kerentanan gempa di Kecamatan Pacitan, Kabupaten Pacitan ini akan memperoleh nilai akhir yakni nilai percepatan tanah maksimum (PGA) permukaan. Nilai tersebut didapatkan berdasarkan pengolahan data frekuensi dominan (F_g), faktor amplifikasi (A_g), periode dominan (T_g), dan indeks kerentanan seismik (K_g). Penelitian ini dilakukan pada 47 titik lokasi pengukuran mikrotremor yang dapat dilihat pada **Gambar 5.3**.



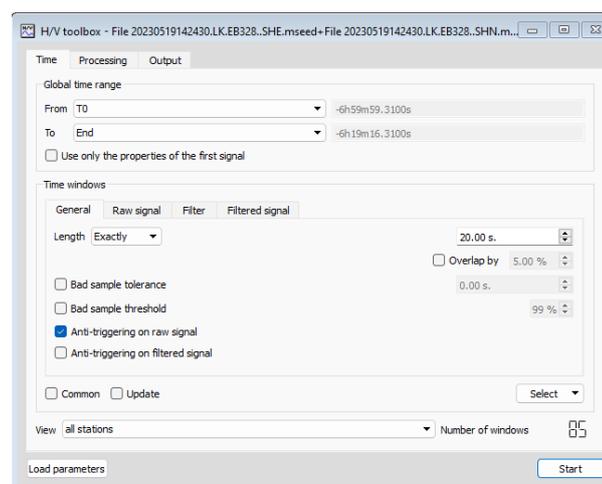
Gambar 5.3 Peta Persebaran Lokasi Titik Pengukuran Mikrotremor

Pengukuran data mikrotremor di lapangan diambil menggunakan bantuan alat *Lunitek Digital Seismic Sensor Tritron 5s*. Titik-titik pengukuran mikrotremor tersebut sesuai pada **Gambar 5.3** yang menghasilkan data sinyal gelombang seismik vertikal, gelombang seismik horizontal *north-south* dan gelombang seismik horizontal *east-west* dengan format SHZ.mseed, SHN.mseed, dan SHE.mseed. Data yang didapat kemudian diolah menggunakan *software Geopsy* yang menghasilkan grafik dari 3 komponen tersebut. Berikut merupakan contoh tampilan grafik seismogram dari hasil perekaman mikrotremor di Kecamatan Pacitan, Kabupaten Pacitan pada **Gambar 5.4** sebagai berikut.

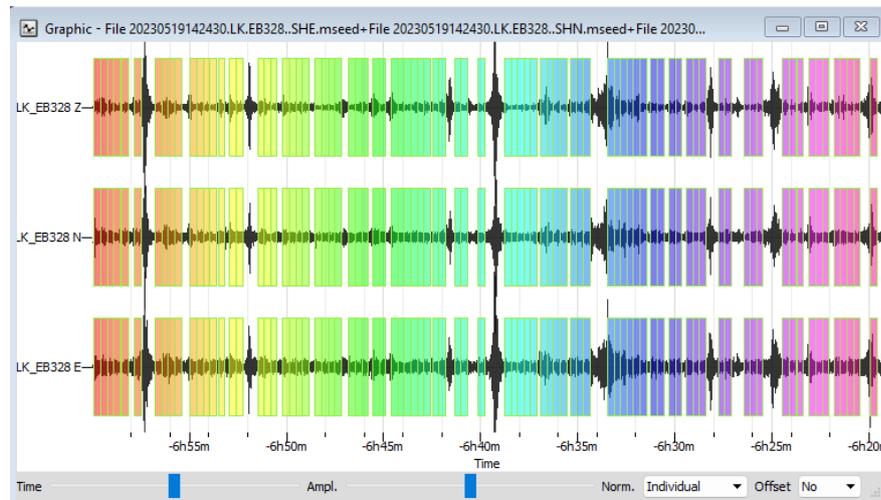


Gambar 5.4 Grafik Seismogram Hasil Perekaman Mikrotremor Titik 29

Setelah ketiga komponen data tersebut ter-*input* pada *geopsy*, langkah selanjutnya adalah proses *filtering options* dan *windowing* atau pemilihan gelombang sinyal yang bebas dari *noise*. Pemilihan gelombang sinyal ini perlu dilakukan karena dalam pengukuran secara langsung di lapangan, karena getaran yang terekam pada alat mikrotremor bukan hanya dari getaran dalam tanah, namun juga dapat berasal dari aktivitas manusia dan benda – benda disekitarnya. Pemilihan *window* dilakukan dengan metode *auto select* dengan panjang grafik 20 s, dan *filter* yang digunakan yaitu *Anti-triggering on raw signal*. Contoh proses *filtering* dan *windowing* pada titik 29 dapat dilihat pada **Gambar 5.5** dan **Gambar 5.6** sebagai berikut.

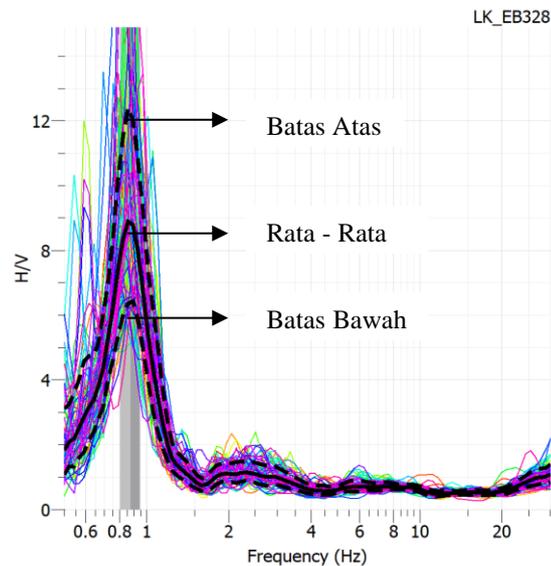


Gambar 5.5 Filtering Options Untuk Windowing Sinyal Mikrotremor Titik 29



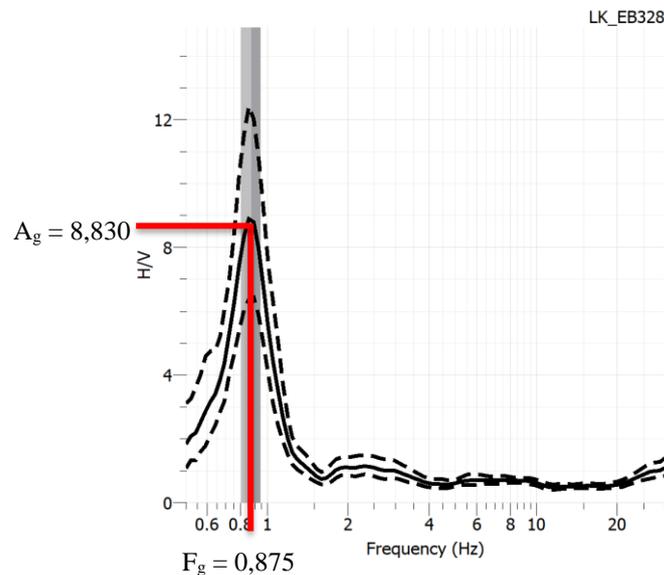
Gambar 5.6 Windowing Sinyal Mikrotremor Titik 29

Hasil yang didapatkan setelah proses *filtering* dan *windowing* akan membentuk kurva HVSR seperti pada **Gambar 5.5**.



Gambar 5.7 Grafik Kurva HVSR Titik 29

Kurva HVSR yang telah diperoleh akan menghasilkan nilai frekuensi dominan dan amplifikasi maksimum dari nilai puncak grafik H/V seperti pada **Gambar 5.7**.



Gambar 5.8 Nilai Puncak Kurva HVSR Titik 29

5.4 Analisis Nilai Faktor Amplifikasi Tanah (A_g)

Nilai amplifikasi tanah merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi kerusakan infrastruktur dari efek yang diakibatkan oleh gempa. Nilai amplifikasi tanah (A_g) dapat menggambarkan sifat fisik sedimen pada suatu daerah. Hal tersebut karena nilai faktor amplifikasi tanah berkaitan dengan lapisan sedimen dibawahnya, jika suatu daerah memiliki nilai amplifikasi tanah yang besar maka lapisan sedimen tersebut lunak, dan sebaliknya jika nilai amplifikasi tanah yang kecil maka lapisan sedimen tersebut keras. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa dengan nilai amplifikasi tanah (A_g) yang besar maka semakin besar juga potensi kerusakan yang terjadi akibat gempa karena sedimen di daerah tersebut semakin lunak.

Nilai faktor amplifikasi tanah (A_g) di Kecamatan Pacitan Kabupaten Pacitan berkisar antara 1,548 sampai 8,830 seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 5.4** berikut.

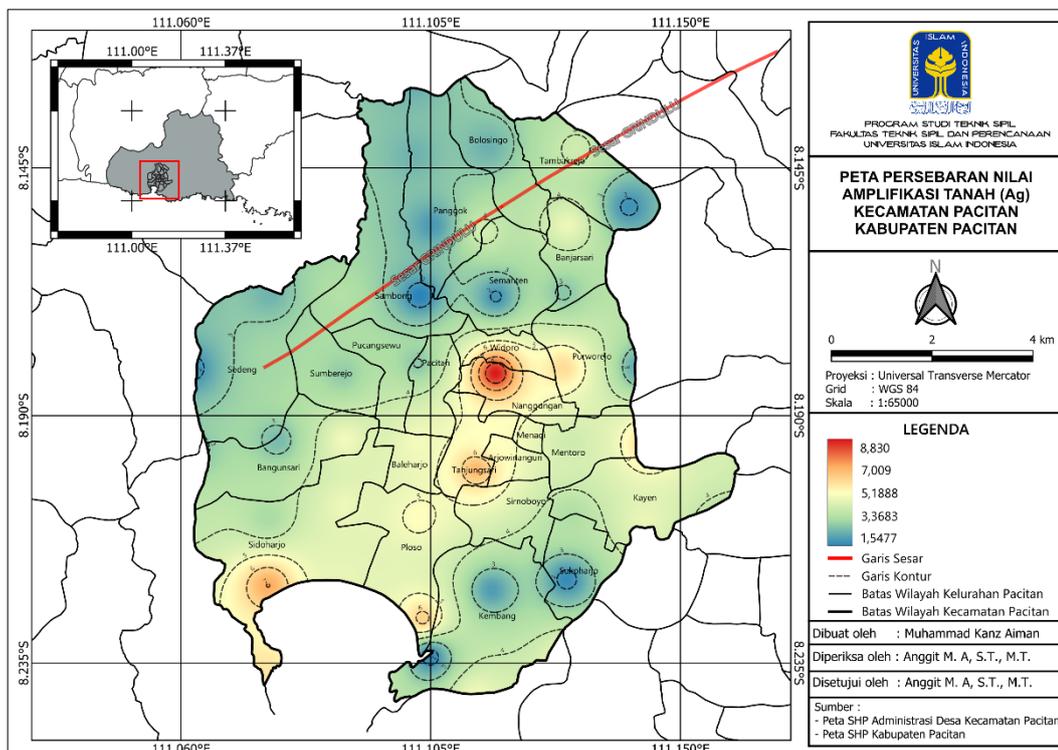
Tabel 5.4 Nilai Amplifikasi Tanah (A_g) di Kecamatan Pacitan

Titik	Nilai A_g	Titik	Nilai A_g
1	2,6966	25	3,1681
2	1,7383	26	2,4961
3	2,8227	27	4,2671
4	3,8623	28	1,8859
5	2,5566	29	8,8300
6	3,2692	30	5,1969
7	2,6859	31	6,7447
8	3,3671	32	2,0751
9	7,0103	33	4,8368
10	5,7568	34	4,1551
11	3,5498	35	4,7953
12	3,0290	36	2,9078
13	4,9216	37	5,9522
14	4,8130	38	4,1635
15	4,6934	39	3,4686
16	2,3988	40	1,7211
17	2,5244	41	5,0403
18	2,0200	42	1,8497
19	1,5477	43	2,1521
20	2,9591	44	6,4227
21	4,9629	45	4,7279
22	5,2449	46	4,3023
23	6,1944	47	3,3014
24	1,6932		

Berdasarkan nilai faktor amplifikasi tanah (A_g) yang didapatkan dari hasil pengukuran mikrotremor di Kecamatan Pacitan, maka dapat ditentukan zona klasifikasi berdasarkan nilai faktor amplifikasi seperti berikut (Marjiyono, 2010) :

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

Berdasarkan klasifikasi dan nilai amplifikasi tanah yang didapatkan maka dapat diperoleh peta persebaran nilai faktor amplifikasi tanah di Kecamatan Pacitan seperti pada **Gambar 5.9** berikut.



Gambar 5.9 Peta Persebaran Nilai Faktor Amplifikasi Tanah (A_g)

Berdasarkan peta persebaran nilai faktor amplifikasi tanah di Kecamatan Pacitan, terdapat daerah - daerah dengan zona yang relatif memiliki amplifikasi tanah rendah hingga tinggi. Daerah dengan nilai faktor amplifikasi tanah (A_g) rendah berada di Desa Sambong (titik 19), Desa Kembang (titik 24 dan 32), Desa Sukoharjo (titik 40), Desa Sedeng (titik 1, 2 dan 5), Desa Tambakrejo (titik 42), Desa Semanten (titik 28), Desa Ponggok (titik 16, 17 dan 18), Desa Purworejo (titik 43), Desa Bolosingo (titik 26), Desa Bangunsari (titik 3 dan 7), Desa Banjarsari (titik 36) dan Kelurahan Pacitan (titik 20) dengan nilai A_g kurang dari 3 ($A_g < 3$). Daerah dengan nilai faktor amplifikasi tanah (A_g) sedang berada di Desa Sumberharjo (titik 12), Desa Bolosingo (titik 25), Desa Sedeng (titik 6), Desa Kayen (titik 39, 45, 46 dan 47), Kelurahan Sidoharjo (titik 4, 8, 10, 14, dan 15), Desa Sambong (titik 11), Desa Tambakrejo (titik 34), Desa Mentoro (titik 38), Desa

Semanten (titik 27), Desa Banjarsari (titik 35), Desa Kembang (titik 33 dan 41), Desa Bangunsari (titik 13), Kelurahan Baleharjo (titik 21), Desa Arjowinangun (titik 30), Kelurahan Ploso (titik 22) dan Desa Purworejo (titik 37) dengan nilai A_g lebih dari sama dengan 3 dan kurang dari 6 ($3 \leq A_g < 6$). Daerah dengan nilai faktor amplifikasi tanah (A_g) tinggi berada di Kelurahan Ploso (titik 23), Desa Mentoro (titik 44), Desa Tanjungsari (titik 31), Kelurahan Sidoharjo (titik 9) dan Desa Nanggung (titik 29) dengan nilai A_g lebih dari sama dengan 6 dan kurang dari 9 ($6 \leq A_g < 9$). Kondisi geologi dengan rata-rata nilai A_g yang tinggi berada di dataran rendah yang tersebar pada Kecamatan Pacitan. Nilai amplifikasi di suatu daerah sangat berkaitan dengan jenis sedimen dan batuan dibawahnya, jika daerah tersebut memiliki sedimen yang lunak maka nilai amplifikasinya tinggi sehingga daerah tersebut menjadi sangat rentan mengalami kerusakan apabila terjadi bencana gempa bumi.

5.5 Analisis Nilai Frekuensi Dominan Tanah (F_g)

Frekuensi adalah jumlah getaran atau gelombang yang terjadi dalam satuan waktu tertentu. Frekuensi dominan tanah (F_g) merupakan frekuensi yang terjadi saat kurva HVSR mencapai nilai tertinggi atau puncak. Nilai frekuensi dominan dipengaruhi oleh ketebalan sedimen dan besarnya kecepatan gelombang geser tanah. Frekuensi dominan menggambarkan jenis tanah dan ketebalan lapisan sedimen dibawahnya, jika suatu daerah memiliki nilai frekuensi yang tinggi maka sedimen dibawahnya tipis dan sebaliknya jika nilai frekuensi yang rendah maka sedimen dibawahnya tebal. Nilai frekuensi dominan tanah diambil dari nilai kurva HVSR yang didapatkan dari hasil pengukuran mikrotremor.

Nilai frekuensi dominan tanah (F_g) di Kecamatan Pacitan Kabupaten Pacitan berkisar antara 0,612 sampai 26,035 seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 5.5** berikut.

Tabel 5.5 Nilai Frekuensi Dominan Tanah (F_g) di Kecamatan Pacitan

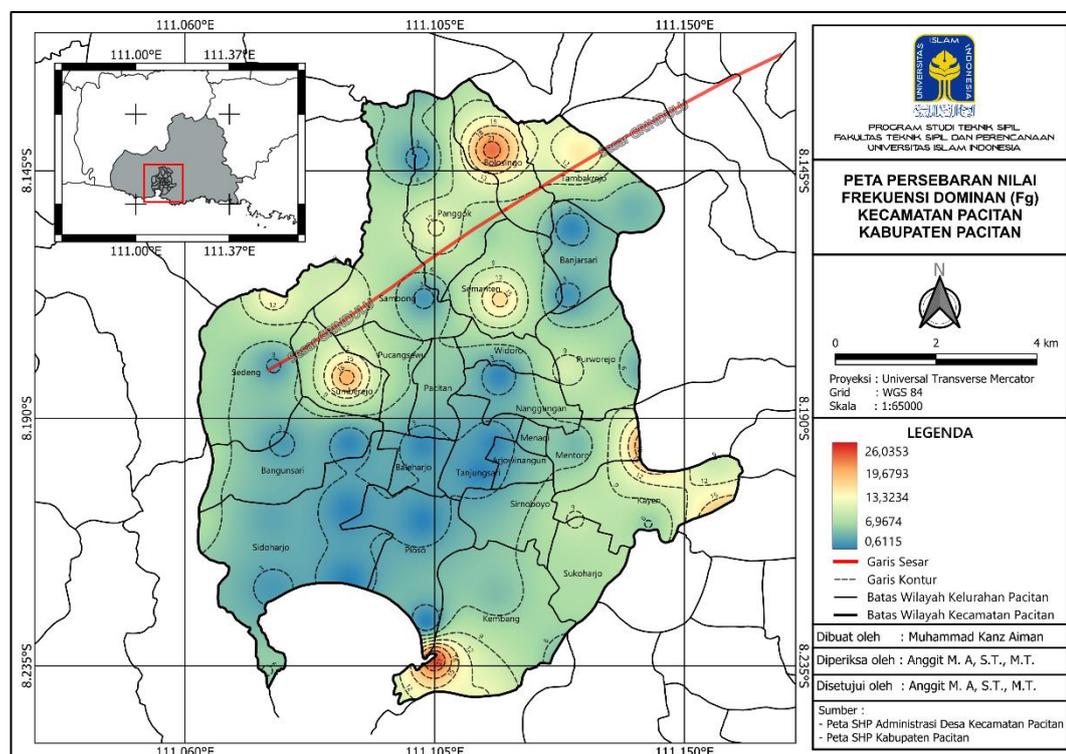
Titik	Nilai F_g	Titik	Nilai F_g
1	6,1071	25	7,2792
2	6,9701	26	22,3970
3	7,8938	27	6,2418
4	7,5895	28	16,0469
5	13,4327	29	0,8751
6	2,5942	30	0,9291
7	2,2991	31	0,6326
8	3,0617	32	4,7337
9	2,1483	33	12,2390
10	6,0144	34	14,8196
11	11,1032	35	0,9417
12	19,2706	36	1,8529
13	0,9812	37	10,3513
14	0,7378	38	4,4017
15	0,6178	39	9,2532
16	3,8737	40	7,3048
17	1,9261	41	3,8017
18	12,5574	42	3,9920
19	2,0029	43	3,2701
20	5,6575	44	24,7759
21	1,0945	45	5,9142
22	0,6754	46	8,8600
23	0,6115	47	26,0353
24	23,9141		

Berdasarkan nilai frekuensi dominan tanah (F_g) yang didapatkan dari hasil pengukuran mikrotremor di Kecamatan Pacitan, maka dapat ditentukan tipe zona berdasarkan nilai frekuensi dominan seperti berikut (Haniifah, 2023) :

1. Tipe I : < 2,5 Hz (Ketebalan permukaan sedimen kategori sangat tebal, sekitar > 30 m)
2. Tipe II : 2,5 – 4 Hz (Ketebalan permukaan sedimen kategori tebal, sekitar 10 – 30 m)

3. Tipe III : 4 – 10 Hz (Ketebalan permukaan sedimen kategori menengah, sekitar 5 – 10 m)
4. Tipe IV : 6,667 -20 Hz (Ketebalan permukaan sedimen kategori tipis, didominasi oleh batuan keras)

Berdasarkan klasifikasi tipe dan nilai frekuensi dominan tanah yang didapatkan maka dapat diperoleh peta persebaran nilai frekuensi dominan tanah di Kecamatan Pacitan seperti pada **Gambar 5.10** berikut.



Gambar 5.10 Peta Persebaran Nilai Frekuensi Dominan Tanah (F_g)

Berdasarkan peta persebaran nilai frekuensi dominan tanah di Kecamatan Pacitan, terdapat daerah - daerah dengan zona yang relatif memiliki frekuensi dominan tanah tipe I hingga tipe IV. Daerah dengan ketebalan permukaan sedimen sangat tebal atau tipe I berada di Kelurahan Ploso (titik 22 dan 23), Kelurahan Sidoharjo (titik 9, 14, dan 15), Desa Tanjungsari (titik 31), Desa Nanggungun (titik 29), Desa Arjowinangun (titik 30), Desa Banjarsari (titik 35 dan 36), Desa Bangunsari (titik 7 dan 13), Kelurahan Baleharjo (titik 21), Desa Ponggok (titik 17) dan Desa Sambong (titik 19) dengan nilai F_g kurang dari 2,5 Hz ($< 2,5$). Daerah

dengan ketebalan permukaan sedimen tebal atau tipe II berada di Desa Sedeng (titik 6), Kelurahan Sidoharjo (titik 8), Desa Purworejo (titik 43), Desa Kembang (titik 41), Desa Tambakrejo (titik 42), dan Desa Ponggok (titik 16) dengan nilai F_g berkisar 2,5 hingga 4 Hz (2,5 – 4). Daerah dengan ketebalan permukaan sedimen menengah atau tipe III berada di Desa Mentoro (titik 38), Desa Kembang (titik 32), Kelurahan Pacitan (titik 20), Desa Kayen (titik 45), Kelurahan Sidoharjo (titik 10), Desa Sedeng (titik 1) dan Desa Semanten (titik 27) dengan nilai F_g berkisar antara 4 hingga 6,667 Hz (4 – 6,667). Daerah dengan ketebalan permukaan sedimen tipis atau tipe IV berada di Desa Sedeng (titik 2 dan 5), Desa Bolosingo (titik 25 dan 26), Desa Sukoharjo (titik 40), Kelurahan Sidoharjo (titik 4), Desa Bangunsari (titik 3), Desa Kayen (titik 39, 46, dan 47), Desa Purworejo (titik 37), Desa Sambong (titik 11), Desa Kembang (titik 24 dan 33), Desa Ponggok (titik 18), Desa Tambakrejo (titik 34), Desa Semanten (titik 28), Desa Sumberharjo (titik 12) dan Desa Mentoro (titik 44) dengan nilai F_g berkisar antara 6,667 hingga 20 Hz. Nilai frekuensi dominan yang tinggi tersebar pada daerah dataran tinggi atau perbukitan dikarenakan karakteristik geologi daerah tersebut didominasi oleh batuan keras dengan ketebalan sedimen yang tipis.

5.6 Analisis Nilai Periode Dominan Tanah (T_g)

Periode dominan tanah (T_g) waktu yang dibutuhkan untuk gelombang mikrotremor merambat melewati lapisan endapan pada permukaan. Nilai periode dominan (T_g) dapat mengidentifikasi karakter lapisan tanah di suatu daerah, semakin kecil nilai periode dominan maka karakter tanah tersebut semakin keras dan sebaliknya jika nilai periode dominan besar maka karakter tanah tersebut semakin lunak. Nilai periode dominan penting dalam perhitungan nilai percepatan tanah, karena percepatan tanah maksimum dipengaruhi oleh karakteristik pada lapisan tanah permukaan. Perhitungan nilai periode dominan dapat dilihat pada contoh perhitungan pada titik 29 dan nilai periode dominan (T_g) di Kecamatan Pacitan Kabupaten Pacitan berkisar antara 0,038 hingga 1,635 seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 5.6** berikut :

$$\begin{aligned}
 T_g &= \frac{1}{Fg} \\
 &= \frac{1}{0,875} \\
 &= 1,1427 \text{ s}
 \end{aligned}$$

Tabel 5.6 Nilai Periode Dominan Tanah (T_g) di Kecamatan Pacitan

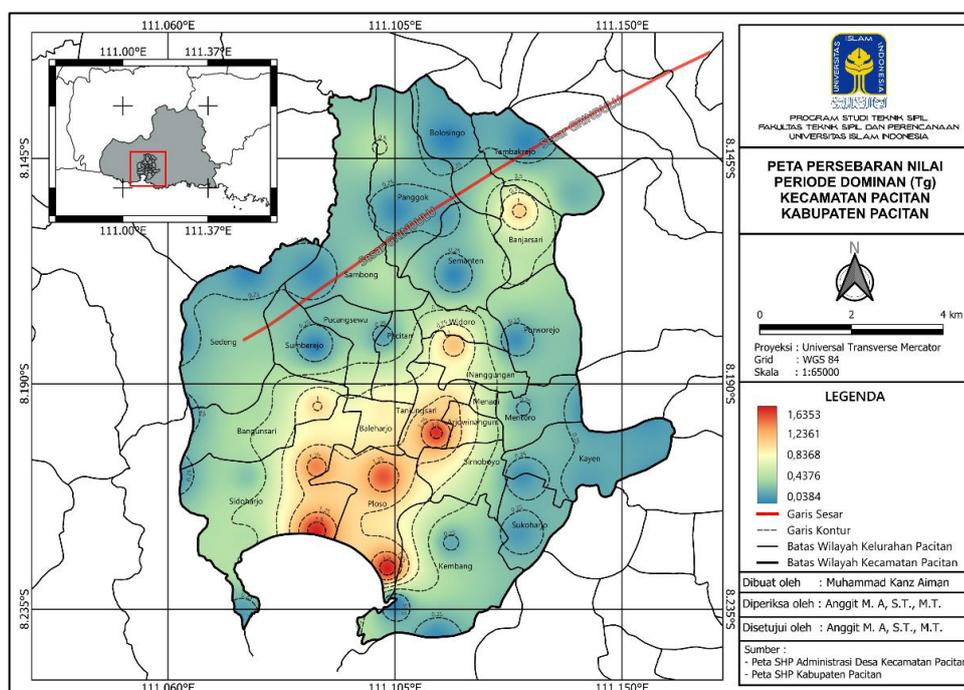
Titik	Nilai T_g	Titik	Nilai T_g
1	0,1637	25	0,1374
2	0,1435	26	0,0446
3	0,1267	27	0,1602
4	0,1318	28	0,0623
5	0,0744	29	1,1427
6	0,3855	30	1,0763
7	0,4350	31	1,5807
8	0,3266	32	0,2113
9	0,4655	33	0,0817
10	0,1663	34	0,0675
11	0,0901	35	1,0619
12	0,0519	36	0,5397
13	1,0192	37	0,0966
14	1,3554	38	0,2272
15	1,6187	39	0,1081
16	0,2582	40	0,1369
17	0,5192	41	0,2630
18	0,0796	42	0,2505
19	0,4993	43	0,3058
20	0,1768	44	0,0404
21	0,9137	45	0,1691
22	1,4805	46	0,1129
23	1,6353	47	0,0384
24	0,0418		

Berdasarkan nilai periode dominan tanah (T_g) yang didapatkan dari hasil pengukuran mikrotremor di Kecamatan Pacitan, maka dapat ditentukan jenis

klasifikasi tanah berdasarkan nilai periode dominan seperti berikut (Buletin Meteorologi dan Geofisika No. 4, 1998) :

1. Jenis I : $T_g < 0,15$ s (Karakter tanah keras)
2. Jenis II : $0,15 < T_g < 0,25$ s (Karakter tanah sedang)
3. Jenis III : $0,25 < T_g < 0,4$ s (Karakter tanah lunak)
4. Jenis IV : $T_g > 0,4$ s (Karakter tanah sangat lunak)

Berdasarkan klasifikasi jenis dan nilai periode dominan tanah yang didapatkan maka dapat diperoleh peta persebaran nilai periode dominan tanah di Kecamatan Pacitan seperti pada **Gambar 5.11** berikut.



Gambar 5.11 Peta Persebaran Nilai Periode Dominan Tanah (T_g)

Berdasarkan peta persebaran nilai periode dominan tanah di Kecamatan Pacitan, terdapat daerah - daerah dengan zona yang relatif memiliki periode dominan tanah jenis I hingga jenis IV. Daerah dengan karakter tanah keras atau jenis I berada di Desa Kayen (titik 39, 46, dan 47), Desa Mentoro (titik 44), Desa Kembang (titik 24 dan 33), Desa Bolosingo (titik 25 dan 26), Desa Sumberharjo (titik 12), Desa Semanten (titik 28), Desa Tambakrejo (titik 34), Desa Sedeng (titik

2 dan 5), Desa Ponggok (titik 18), Desa Kembang (titik 33), Desa Sambong (titik 11), Desa Purworejo (titik 37), Desa Bangunsari (titik 3), Kelurahan Sidoharjo (titik 4), dan Desa Sukoharjo (titik 40) dengan nilai T_g berkisar kurang dari 0,15 ($< 0,15$). Daerah dengan karakter tanah sedang atau jenis II berada di Desa Semanten (titik 27), Desa Sedeng (titik 1), Kelurahan Sidoharjo (titik 10), Desa Kayen (titik 45), Kelurahan Pacitan (titik 20), Desa Mentoro (titik 38), dan Desa Kembang (titik 32) dengan nilai T_g berkisar antara 0,15 hingga 0,25 ($0,15 - 0,25$). Daerah dengan karakter tanah lunak atau tipe III berada di Desa Ponggok (titik 16), Desa Tambakrejo (titik 42), Desa Kembang (titik 41), Desa Purworejo (titik 43), Kelurahan Sidoharjo (titik 8) dan Desa Sedeng (titik 6) dengan nilai T_g berkisar antara 0,25 hingga 0,4 ($0,25 - 0,4$). Daerah dengan karakter tanah sangat lunak atau jenis IV berada di Desa Bangunsari (titik 7 dan 13), Kelurahan Sidoharjo (titik 9, 14 dan 15), Desa Banjarsari (titik 35 dan 36), Desa Sambong (titik 19), Desa Ponggok (titik 17), Kelurahan Baleharjo (titik 21), Desa Arjowinangun (titik 30), Desa Nanggung (titik 29), Desa Bangunsari (titik 13), Kelurahan Ploso (titik 22 dan 23), dan Desa Tanjungsari (titik 31) dengan nilai T_g lebih dari 0,4 ($> 0,4$). Nilai periode dominan yang tinggi mengindikasikan bahwa pada daerah tersebut memiliki karakter tanah sangat lunak dengan nilai T_g tinggi berada pada dataran rendah yang tersebar di Kecamatan Pacitan. Besarnya nilai periode dominan dapat menunjukkan tingkat risiko pada setiap titik pengukuran, dimana semakin besar nilai periode dominan maka semakin besar pula risiko yang dapat ditimbulkan oleh gempa bumi.

5.7 Analisis Nilai Indeks Kerentanan Seismik (K_g)

Indeks kerentanan seismik (K_g) merupakan suatu parameter yang menunjukkan tingkat kerawanan suatu wilayah terhadap ancaman resiko gempa bumi. Besar kecilnya nilai indeks kerentanan seismik dipengaruhi oleh nilai faktor amplifikasi tanah dan frekuensi dominan tanah. Nilai indeks kerentanan seismik akan tinggi jika daerah tersebut memiliki nilai faktor amplifikasi tanah (A_g) yang tinggi dan nilai frekuensi dominan (F_g) yang rendah. Sebaliknya, nilai indeks kerentanan seismik akan rendah jika daerah tersebut memiliki nilai faktor

amplifikasi tanah (A_g) yang rendah dan nilai frekuensi dominan (F_g) yang tinggi. Daerah dengan nilai frekuensi dominan yang rendah dan nilai amplifikasi yang tinggi umumnya berada di daerah dengan dataran rendah.

Perhitungan nilai indeks kerentanan seismik dapat dilihat pada contoh perhitungan pada titik 29 dan nilai indeks kerentanan seismik (K_g) di Kecamatan Pacitan Kabupaten Pacitan berkisar antara 0,119 hingga 89,097 seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 5.7** berikut :

$$\begin{aligned} K_g &= \frac{Ag^2}{fg} \\ &= \frac{8,83^2}{0,875} \\ &= 89,097 \end{aligned}$$

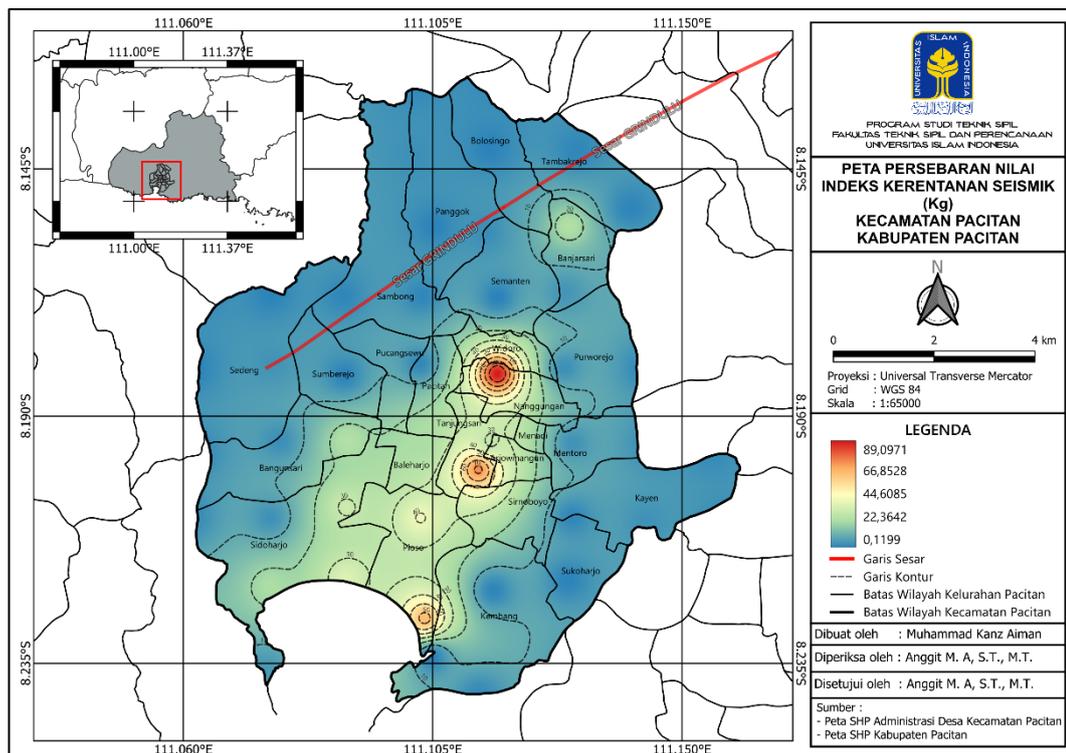
Tabel 5.7 Nilai Indeks Kerentanan Seismik (K_g) di Kecamatan Pacitan

Titik	Nilai K_g	Titik	Nilai K_g
1	1,191	21	22,504
2	0,434	22	40,728
3	1,009	23	62,750
4	1,966	24	0,120
5	0,487	25	1,379
6	4,120	26	0,278
7	3,138	27	2,917
8	3,703	28	0,222
9	22,876	29	89,097
10	5,510	30	29,070
11	1,135	31	71,906
12	0,476	32	0,910
13	24,687	33	1,911
14	31,399	34	1,165
15	35,658	35	24,418
16	1,485	36	4,563
17	3,309	37	3,423
18	0,325	38	3,938
19	1,196	39	1,300
20	1,548	40	0,406

Lanjutan Tabel 5.7 Nilai Indeks Kerentanan Seismik (K_g) di Kecamatan Pacitan

Titik	Nilai K_g	Titik	Nilai K_g
41	6,682	45	3,780
42	0,857	46	2,089
43	1,416	47	0,419
44	1,665		

Berdasarkan data nilai indeks kerentanan seismik yang didapatkan maka dapat diketahui klasifikasi berdasarkan nilai indeks kerentanan seismik, indeks kerentanan seismik rendah memiliki nilai $K_g < 10$, indeks kerentanan seismik sedang memiliki nilai $10 < K_g > 20$, dan indeks seismik dalam zona bahaya memiliki nilai $K_g > 20$ (Daryono dkk, 2009). Diperoleh peta persebaran nilai indeks kerentanan seismik di Kecamatan Pacitan seperti pada **Gambar 5.12** berikut.



Gambar 5.12 Peta Persebaran Nilai Indeks Kerentanan Seismik (K_g)

Berdasarkan peta persebaran nilai indeks kerentanan seismik di Kecamatan Pacitan, daerah dengan dataran rendah memiliki nilai indeks kerentanan seismik

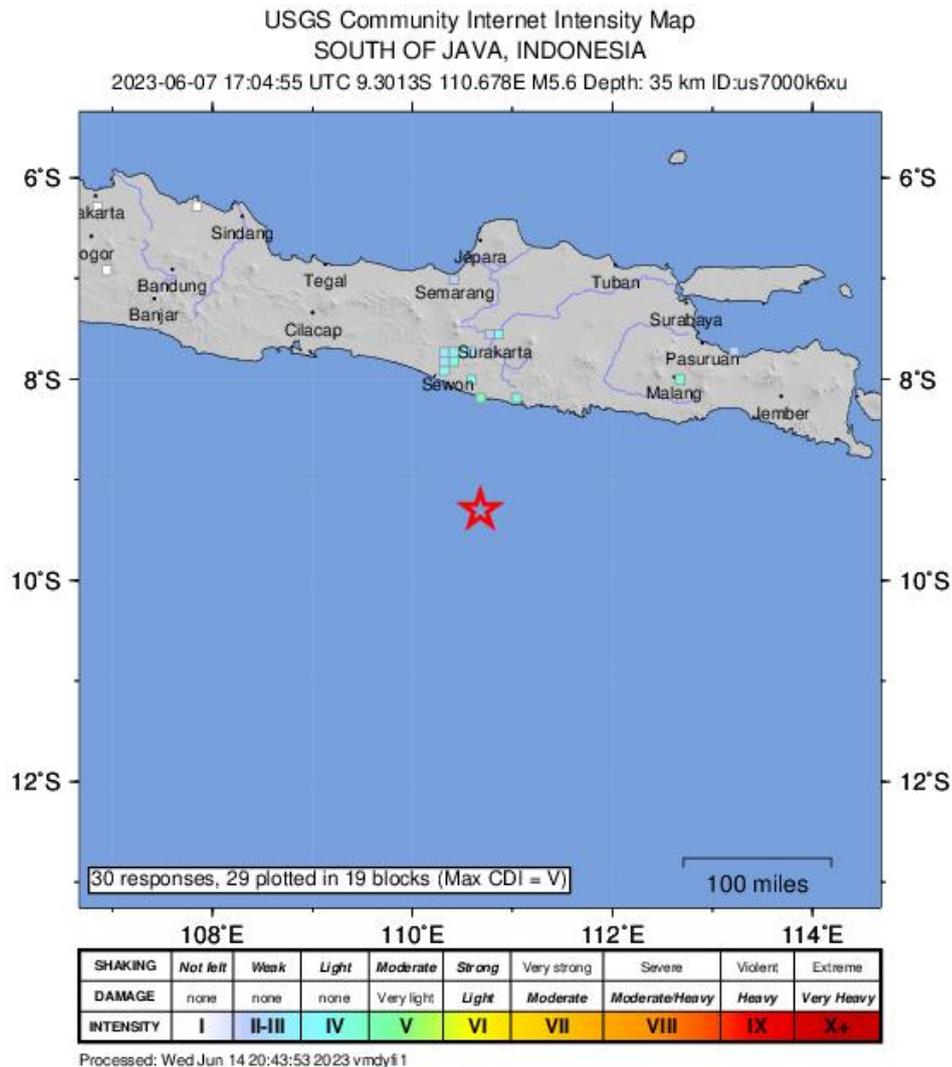
yang tinggi dibandingkan dengan daerah dengan dataran tinggi. Daerah dengan nilai indeks kerentanan seismik tinggi berada di Kelurahan Baleharjo, Desa Banjarsari, Kelurahan Sidoharjo, Desa Arjowinangun, Desa Bangunsari, Kelurahan Ploso, Desa Tanjungsari, dan Desa Nanggung. Daerah yang memiliki kondisi geologi sedimen lunak akan memiliki nilai indeks kerentanan seismik (K_g) yang tinggi, sehingga daerah tersebut lebih rentan mengalami kerusakan akibat bencana gempa bumi.

5.8 Analisis *Peak Ground Acceleration* (PGA)

Analisis pada *peak ground acceleration* (PGA) permukaan penelitian ini menggunakan persamaan atenuasi Kanai (1966) untuk perhitungan data penelitian dan menggunakan referensi gempa yang terjadi di Pacitan, Jawa Timur seperti ditunjukkan pada **Tabel 5.8** dan **Gambar 5.13** yang menunjukkan koordinat dari titik pusat gempa tersebut. *Peak ground acceleration* (PGA) merupakan salah satu parameter yang dapat memperkirakan kerusakan yang diakibatkan oleh bencana gempa bumi.

Tabel 5.8 Data Gempa Pacitan 8 Juni 2023

Referensi Gempa	Koordinat X	Koordinat Y	Skala (M)	Kedalaman (m)
Gempa Pacitan 8 Juni 2023	464637,29	8971820,6	5,6	35



Gambar 5.13 Koordinat Titik Pusat Gempa Pacitan 8 Juni 2023

(Sumber: USGS, 2023)

5.8.1 Menentukan Jarak Episentrum

Jarak episentrum adalah jarak yang digunakan antara titik penelitian dengan titik di permukaan berdasarkan titik pusat referensi gempa. Perhitungan yang digunakan pada jarak episentrum menggunakan koordinat pada titik penelitian dan data gempa yang pernah terjadi dengan kekuatan magnitudo gempa yang besar dan dapat menimbulkan kerusakan. Pada penelitian ini data yang digunakan sebagai referensi data gempa yaitu gempa Pacitan pada 8 Juni 2023. Perhitungan jarak episenter pada titik 29 dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Episenter} &= \sqrt{(X \text{ data} - X \text{ gempa})^2 + (Y \text{ data} - Y \text{ gempa})^2} \\
 &= \sqrt{(512852,6 - 464637,29)^2 + (9095544,9 - 8971820,6)^2} \\
 &= 132787,10 \text{ m}
 \end{aligned}$$

5.8.2 Menentukan Jarak Hiposentrum (R)

Jarak hiposentrum adalah jarak antara titik pusat gempa dengan titik episentrum pada permukaan. Perhitungan jarak hiposentrum pada titik 29 dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 R &= \sqrt{(\text{Jarak Episenter})^2 + (\text{Kedalaman Gempa})^2} \\
 &= \sqrt{(132787,10)^2 + (35000)^2} \\
 &= 137322,30 \text{ m}
 \end{aligned}$$

5.8.3 Analisis Nilai Peak Ground Acceleration (PGA)

Analisis nilai *peak ground acceleration* dapat dihitung setelah mendapatkan jarak hiposenter dan parameter – parameter lain yang sudah diperoleh dari perhitungan sebelumnya. Nilai *peak ground acceleration* (PGA) permukaan dapat diperoleh menggunakan persamaan atenuasi Kanai 1966 seperti pada perhitungan pada titik 29 sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \alpha_g &= \frac{\alpha_1}{\sqrt{Tg}} 10^{a_2 M - P \log_{10} R + Q} \\
 &= \frac{5}{\sqrt{1,1427}} 10^{\{0,61(5,6) - (1,66 + \frac{3,6}{137,322} \log_{10} 137,322) + (0,167 - \frac{1,83}{137,322})\}} \\
 &= 232,235 \text{ gal}
 \end{aligned}$$

Konversi ke satuan PGA (g)

$$\begin{aligned}
 \alpha_g &= \text{PGA (gal)} \times 0,0010197 \\
 &= 232,235 \times 0,0010197 \\
 &= 0,2368 \text{ g}
 \end{aligned}$$

Konversi ke satuan MMI, menurut Wald (1999)

$$\begin{aligned}
 \alpha_g &= 3,66 \times \log (\text{PGA (gal)}) - 1,66 \\
 &= 3,66 \times \log (232,235) - 1,66 \\
 &= 6,999 \text{ MMI}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas maka didapatkan rekapitulasi nilai PGA permukaan (gal) pada **Tabel 5.9**, PGA (g) pada **Tabel 5.10**, dan PGA (MMI) pada **Tabel 5.11**.

Tabel 5.9 Nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) gal di Kecamatan Pacitan

Titik	Nilai PGA (gal)	Titik	Nilai PGA (gal)
1	613,229	25	672,608
2	654,396	26	1178,651
3	695,530	27	621,461
4	681,279	28	995,589
5	909,828	29	232,235
6	399,421	30	239,042
7	375,589	31	197,157
8	432,897	32	538,367
9	362,225	33	864,175
10	605,269	34	959,166
11	827,479	35	241,523
12	1088,854	36	338,454
13	245,454	37	799,099
14	212,626	38	520,544
15	194,354	39	753,898
16	490,456	40	669,192
17	345,472	41	482,158
18	881,317	42	497,566
19	351,594	43	449,343
20	590,320	44	1235,542
21	259,338	45	602,953
22	203,499	46	739,044
23	193,331	47	1265,530
24	1208,343		

Tabel 5.10 Nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) g di Kecamatan Pacitan

Titik	Nilai PGA (g)	Titik	Nilai PGA (g)
1	0,6253	25	0,6859
2	0,6673	26	1,2019
3	0,7092	27	0,6337
4	0,6947	28	1,0152
5	0,9278	29	0,2368
6	0,4073	30	0,2438
7	0,3830	31	0,2010
8	0,4414	32	0,5490
9	0,3694	33	0,8812
10	0,6172	34	0,9781
11	0,8438	35	0,2463
12	1,1103	36	0,3451
13	0,2503	37	0,8148
14	0,2168	38	0,5308
15	0,1982	39	0,7687
16	0,5001	40	0,6824
17	0,3523	41	0,4917
18	0,8987	42	0,5074
19	0,3585	43	0,4582
20	0,6019	44	1,2599
21	0,2644	45	0,6148
22	0,2075	46	0,7536
23	0,1971	47	1,2905
24	1,2321		

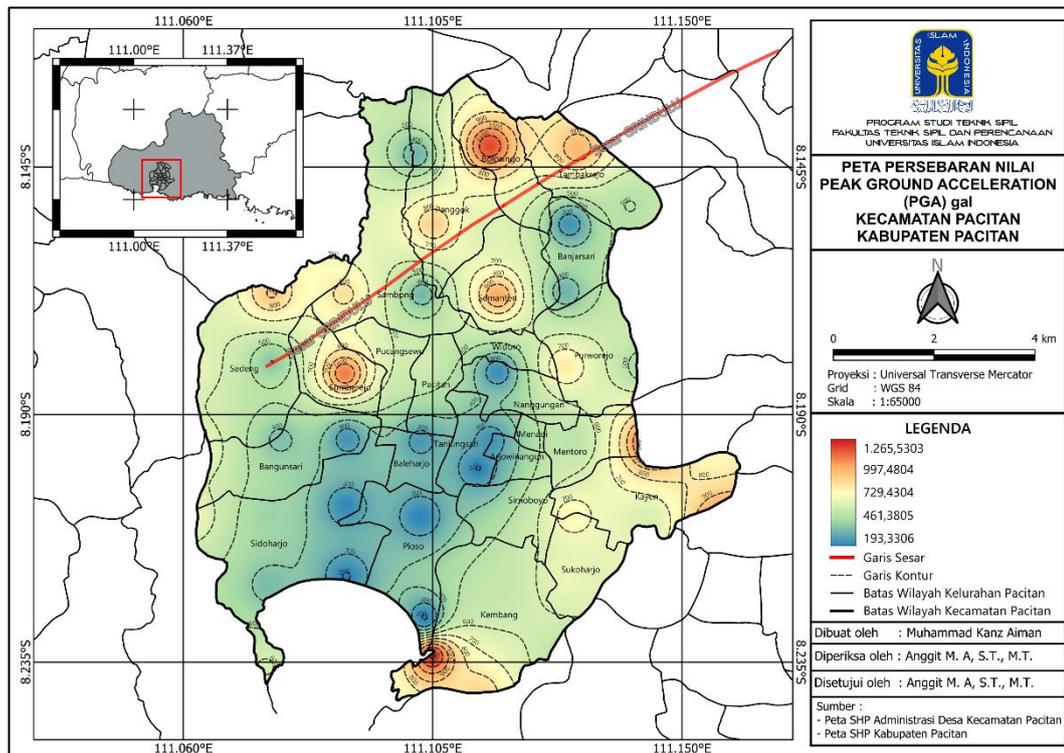
Tabel 5.11 Nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) MMI di Kecamatan Pacitan

Titik	Nilai PGA (MMI)	Titik	Nilai PGA (MMI)
1	8,5427	5	9,1698
2	8,6460	6	7,8612
3	8,7429	7	7,7634
4	8,7100	8	7,9892

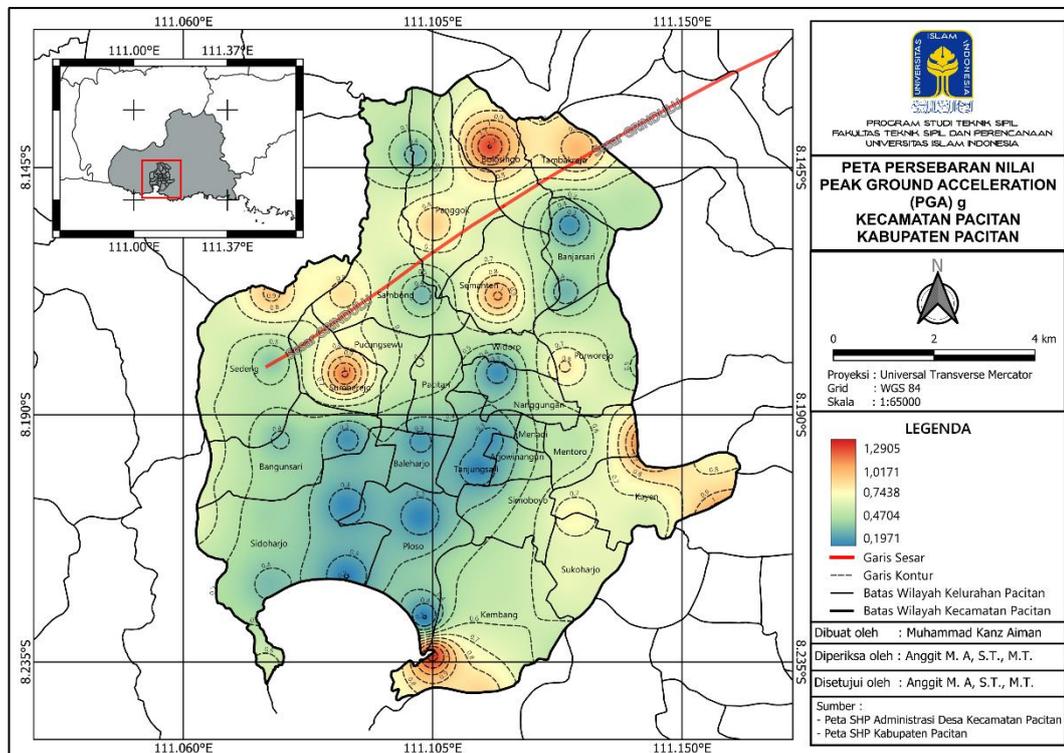
**Lanjutan Tabel 5.11 Nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) MMI di
Kecamatan Pacitan**

Titik	Nilai PGA (MMI)	Titik	Nilai PGA (MMI)
9	7,7059	29	6,9993
10	8,5219	30	7,0452
11	9,0190	31	6,7390
12	9,4553	32	8,3357
13	7,0873	33	9,0880
14	6,8591	34	9,2537
15	6,7163	35	7,0616
16	8,1876	36	7,5980
17	7,6306	37	8,9635
18	9,1192	38	8,2822
19	7,6585	39	8,8710
20	8,4822	40	8,6815
21	7,1748	41	8,1605
22	6,7893	42	8,2105
23	6,7079	43	8,0484
24	9,6208	44	9,6562
25	8,6896	45	8,5158
26	9,5813	46	8,8393
27	8,5639	47	9,6943
28	9,3130		

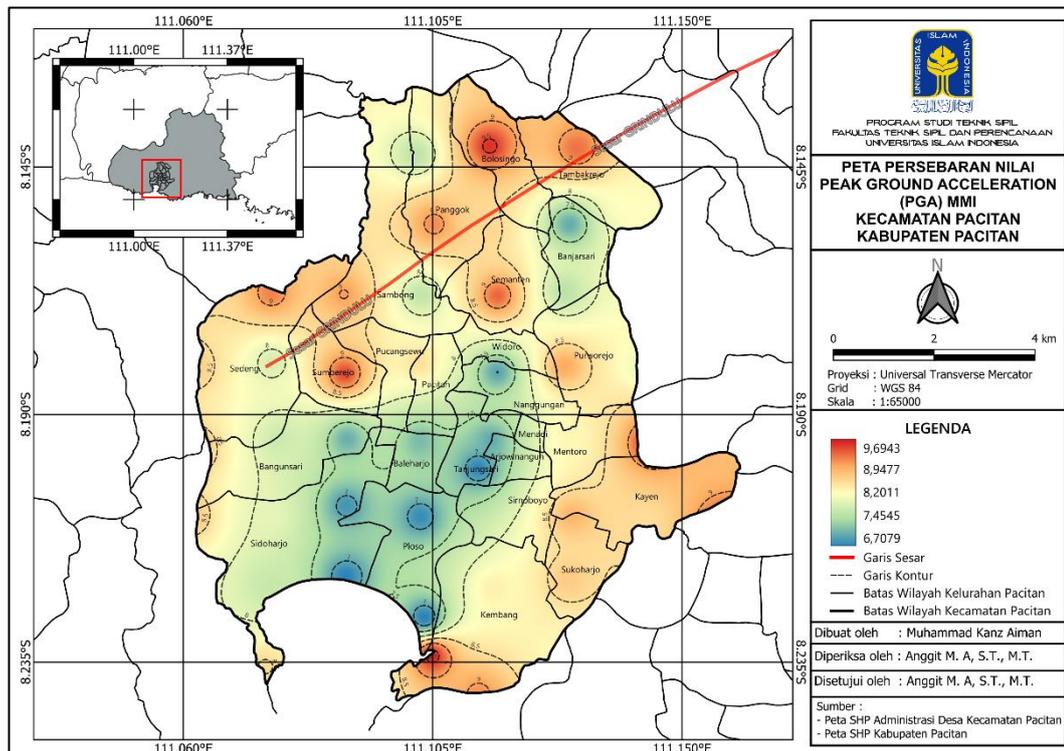
Berdasarkan data *peak ground acceleration* (PGA) permukaan yang didapatkan maka dapat diperoleh peta persebaran nilai PGA permukaan (gal) pada **Gambar 5.14**, peta persebaran nilai PGA permukaan (g) pada **Gambar 5.15**, peta persebaran nilai PGA permukaan (MMI) pada **Gambar 5.16** berikut.



Gambar 5.14 Peta Persebaran Nilai Peak Ground Acceleration (PGA) gal



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



Gambar 5.16 Peta Persebaran Nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) MMI

Berdasarkan peta persebaran nilai *peak ground acceleration* (PGA) di Kecamatan Pacitan didapatkan hasil nilai PGA permukaan berkisar antara 0,197 hingga 1,289 g atau 193,331 hingga 1265,529 gal. Berdasarkan **Tabel 3.1** wilayah dengan nilai PGA (gal) berkisar antara 168 - 564 memiliki tingkat kerusakan ringan sampai sedang, apabila bencana gempa bumi terjadi maka struktur bangunan pada wilayah tersebut dapat mengalami kerusakan ringan hingga sedang dan wilayah tersebut memiliki nilai skala MMI VII – VIII yang tersebar pada dataran rendah di seluruh wilayah Kecamatan Pacitan. Sedangkan pada dataran tinggi di seluruh wilayah Kecamatan Pacitan yang memiliki nilai PGA (gal) lebih dari 564 dengan tingkat kerusakan berat pada struktur bangunan dan memiliki nilai skala MMI IX – XII.

Berdasarkan pembahasan di atas dapat diketahui bahwa pada suatu wilayah memiliki nilai PGA yang tinggi maka akan semakin tinggi juga kerusakan yang dapat terjadi di wilayah tersebut dan juga sebaliknya. Pergerakan tanah saat bencana gempa bumi akan merambat lebih cepat dengan durasi waktu yang lebih

singkat pada wilayah yang memiliki nilai PGA permukaan tinggi dibandingkan dengan nilai PGA permukaan yang rendah.

5.9 Hubungan Antara Nilai A_g , F_g , K_g dan PGA

Dari hasil analisis data dan pembahasan didapatkan bahwa pada parameter – parameter pada indeks kerentanan seismik memiliki hubungan seperti pada nilai A_g , F_g , K_g , dan PGA. Wilayah dengan nilai A_g tinggi memiliki potensi kerusakan lebih tinggi saat bencana gempa terjadi dikarenakan nilai A_g dapat menandakan jenis lapisan sedimen yang lunak pada wilayah tersebut, sehingga daerah tersebut rentan mengalami kerusakan. Hal itu dibuktikan dengan persebaran nilai A_g tinggi yang tersebar di Desa Nanggung dimana wilayah tersebut memiliki ketebalan sedimen yang sangat tinggi yakni lebih dari 30 m dan memiliki nilai F_g yang rendah yaitu kurang dari 2,5 Hz. Hubungan antara nilai A_g , F_g , K_g dan PGA dapat dilihat pada **Tabel 5.12** berikut.

Tabel 5.12 Nilai Hubungan A_g , F_g , K_g dan PGA

Titik	A_g	F_g	K_g	PGA (gal)	PGA (g)
1	2,6966	6,1071	1,191	613,229	0,6253
2	1,7383	6,9701	0,434	654,396	0,6673
3	2,8227	7,8938	1,009	695,530	0,7092
4	3,8623	7,5895	1,966	681,279	0,6947
5	2,5566	13,4327	0,487	909,828	0,9278
6	3,2692	2,5942	4,120	399,421	0,4073
7	2,6859	2,2991	3,138	375,589	0,3830
8	3,3671	3,0617	3,703	432,897	0,4414
9	7,0103	2,1483	22,876	362,225	0,3694
10	5,7568	6,0144	5,510	605,269	0,6172
11	3,5498	11,1032	1,135	827,479	0,8438
12	3,0290	19,2706	0,476	1088,854	1,1103
13	4,9216	0,9812	24,687	245,454	0,2503
14	4,8130	0,7378	31,399	212,626	0,2168
15	4,6934	0,6178	35,658	194,354	0,1982
16	2,3988	3,8737	1,485	490,456	0,5001
17	2,5244	1,9261	3,309	345,472	0,3523
18	2,0200	12,5574	0,325	881,317	0,8987
19	1,5477	2,0029	1,196	351,594	0,3585
20	2,9591	5,6575	1,548	590,320	0,6019
21	4,9629	1,0945	22,504	259,338	0,2644
22	5,2449	0,6754	40,728	203,499	0,2075
23	6,1944	0,6115	62,750	193,331	0,1971

Lanjutan Tabel 5.12 Nilai Hubungan A_g , F_g , K_g dan PGA

Titik	A_g	F_g	K_g	PGA (gal)	PGA (g)
24	1,6932	23,9141	0,120	1208,343	1,2321
25	3,1681	7,2792	1,379	672,608	0,6859
26	2,4961	22,3970	0,278	1178,651	1,2019
27	4,2671	6,2418	2,917	621,461	0,6337
28	1,8859	16,0469	0,222	995,589	1,0152
29	8,8300	0,8751	89,097	232,235	0,2368
30	5,1969	0,9291	29,070	239,042	0,2438
31	6,7447	0,6326	71,906	197,157	0,2010
32	2,0751	4,7337	0,910	538,367	0,5490
33	4,8368	12,2390	1,911	864,175	0,8812
34	4,1551	14,8196	1,165	959,166	0,9781
35	4,7953	0,9417	24,418	241,523	0,2463
36	2,9078	1,8529	4,563	338,454	0,3451
37	5,9522	10,3513	3,423	799,099	0,8148
38	4,1635	4,4017	3,938	520,544	0,5308
39	3,4686	9,2532	1,300	753,898	0,7687
40	1,7211	7,3048	0,406	669,192	0,6824
41	5,0403	3,8017	6,682	482,158	0,4917
42	1,8497	3,9920	0,857	497,566	0,5074
43	2,1521	3,2701	1,416	449,343	0,4582
44	6,4227	24,7759	1,665	1235,542	1,2599
45	4,7279	5,9142	3,780	602,953	0,6148
46	4,3023	8,8600	2,089	739,044	0,7536
47	3,3014	26,0353	0,419	1265,530	1,2905

Dari tabel diatas dapat disimpulkan bahwa pada baris berwarna merah, nilai A_g yang tinggi dan F_g yang rendah pada suatu wilayah akan memiliki nilai kerentanan seismik atau K_g yang tinggi. Wilayah dengan nilai K_g yang tinggi mempunyai karakteristik lapisan sedimen yang lunak dan tebal, pada umumnya wilayah tersebut berada di dataran rendah. Pada daerah penelitian hal tersebut dibuktikan dengan nilai K_g yang tinggi berada di Desa Nanggung, dan didominasi oleh wilayah dataran rendah yang tersebar di Kecamatan Pacitan

Sedangkan pada baris berwarna kuning, nilai percepatan tanah maksimum atau PGA permukaan berbanding terbalik dengan nilai A_g dan berbanding lurus dengan nilai F_g . Nilai PGA permukaan yang tinggi pada suatu wilayah menunjukkan bahwa nilai K_g pada wilayah tersebut rendah dan sebaliknya. Pada

Kecamatan Pacitan nilai PGA permukaan yang tinggi didominasi oleh perbukitan atau dataran tinggi.

Secara garis besar hasil peta kerentanan berdasarkan pengukuran mikrotremor dan parameter seismik yang dilakukan di Kecamatan Pacitan didukung oleh peta kerentanan gempa yang dikeluarkan oleh BNPB Kabupaten Pacitan. Hal tersebut ditunjukkan pada **Gambar 3.9** wilayah Kecamatan Pacitan bagian selatan dan dataran rendah memiliki kerentanan gempa bumi yang tinggi .

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pengolahan data kerentanan seismik di Kecamatan Pacitan, Kabupaten Pacitan menggunakan pengukuran mikrotremor di lapangan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Distribusi nilai amplifikasi maksimal (A_g) pada daerah penelitian berkisar antara 1,548 sampai 8,830 dengan sebagian besar daerah termasuk kedalam klasifikasi zona sedang dan tinggi. Distribusi nilai frekuensi dominan (F_g) pada daerah penelitian berkisar antara 0,612 sampai 26,035 Hz dengan sebagian besar daerah memiliki nilai frekuensi yang termasuk rendah dan sedang. Distribusi nilai periode dominan (T_g) pada daerah penelitian berkisar antara 0,038 hingga 1,635 s dengan sebagian besar daerah termasuk kedalam klasifikasi tanah lunak hingga sangat lunak. Distribusi nilai indeks kerentanan seismik (K_g) pada daerah penelitian berkisar antara 0,119 hingga 89,097 dengan wilayah yang memiliki nilai indeks kerentanan seismik yang sangat tinggi berada di bagian selatan Kecamatan Pacitan, tepatnya di Desa Nanggung dan masuk kedalam kategori zona bahaya.
2. Distribusi nilai PGA permukaan berdasarkan perhitungan dengan metode Kanai berkisar antara 193,331 – 1265,530 gal atau 0,197 – 1,290 g atau 6,708-9,694 MMI, sehingga wilayah pada dataran rendah di Kecamatan Pacitan termasuk kedalam skala SIG BMKG IV dan berpotensi mengalami kerusakan ringan hingga sedang, sedangkan untuk wilayah pada dataran tinggi di Kecamatan Pacitan termasuk kedalam skala SIG BMKG V dan berpotensi mengalami kerusakan berat.
3. Berdasarkan peta persebaran mikrozonasi indeks kerentanan seismik di Kecamatan Pacitan, wilayah bagian selatan Kecamatan Pacitan memiliki

tingkat kerentanan seismik yang relatif lebih tinggi, wilayah tersebut mencakup Desa Nanggungan, Widoro dan Tanjungsari.

6.2 Saran

Setelah menyelesaikan rangkaian proses penelitian ini, maka diperoleh beberapa hal yang dapat diajukan sebagai saran untuk penelitian lebih lanjut, antara lain sebagai berikut.

1. Diperlukan analisis metode penentuan PGA dengan generasi Atenuasi yang terbaru, sehingga dapat memperoleh nilai PGA dengan metode terbaru.
2. Diperlukan data dukung lebih banyak dan lebih rapat seperti data titik bor untuk mendapatkan data batuan sehingga dapat mengetahui sifat tanah yang lebih akurat.
3. Diperlukan penelitian lebih lanjut dan tambahan titik pengukuran mikrotremor untuk mengetahui karakteristik dinamika tanah yang lebih akurat dan mengetahui peta mikrozonasi dengan cakupan yang lebih luas di seluruh Kecamatan Pacitan.

DAFTAR PUSTAKA

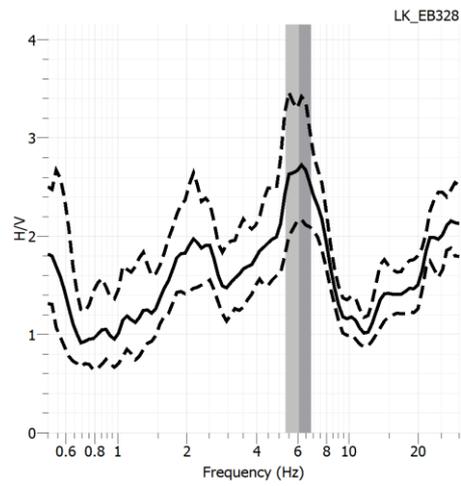
- Arifudin, A. M. (2018). *Karakteristik Situs dan Kerentanan seismik di kabupaten Klaten dengan Metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) dari Data Mikrotremor*. Yogyakarta: Tesis, Universitas Islam Indonesia.
- Azyam, M. K. F. (2023). *Identifikasi Tebal Lapisan Sedimen Dan Batuan Dasar (Bedrock) Di Kapanewon Berbah Kabupaten Sleman Dengan Mikrotremor Di Lapangan*. Yogyakarta: Skripsi, Universitas Islam Indonesia.
- BMKG. (1998). Buletin Meteorologi dan Geofisika No. 4. *Sumberdaya Geologi*.
- Bolt, B. A. (1978). *Earthquake a Primer*. W.H Freeman & CO.
- BPBD, B. A. (2018). *Pengertian Gempa Bumi, Jenis-Jenis, Penyebab, Akibat, dan Cara Menghadapi Gempa Bumi*. <https://bpbd.bandaacehkota.go.id/2018/08/05/pengertian-gempa-bumi-jenis-jenis-penyebab-akibat-dan-cara-menghadapi-gempa-bumi/>. Diakses pada 17 Maret 2023.
- Daryono, Stukno, J. Sartohadi, dan Brotopuspito KS Dulbahri. Efek tapak lokal di Graben Bantul berdasarkan pengukuran mikrotremor. *International conference earth science and technology*, Yogyakarta. 2009.
- Geoenviron. (2014). *Tektonik Pulau Jawa*. November 24, 2014. <https://geoenviron.wordpress.com/2014/11/24/tektonik-pulau-jawa/>. Diakses pada 1 Agustus 2023.
- Geologi, P. P. dan P. (1992). *Peta Geologi Lembar Pacitan, Jawa*. <https://geologi.esdm.go.id/geomap/pages/preview/peta-geologi-lembar-situbondo-jawa>. Diakses pada 23 Desember 2022.
- Haniifah, D. R. (2023). *Penyusunan Peta Kerentanan Gempa Di Berbah Kabupaten Sleman Menggunakan Metode Horizontal To Vertical Spectral Ratio (HVSr) Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor Di Lapangan*. Yogyakarta: Skripsi, Universitas Islam Indonesia.
- Howell, B. J. (1969). *Introduction to Geophysics*. McGraw-Hill.
- Indonesia, M. (2021). *Parameter Gempa Bumi*. Kementerian ESDM. <https://magma.esdm.go.id/v1/edukasi/glossary/parameter-gempa-bumi>. Diakses pada 16 Maret 2023.

- Jati, W. M. (2016). *Mikrozonasi Seismik Dengan Menggunakan Metode HVSR (Horizontal To Vertical Spectral Ratio) di Distrik Jayapura Utara dan Selatan*. Yogyakarta: Skripsi, Universitas Gadjah Mada.
- Kanai, K. (1961). An empirical formula for the spectrum of strong earthquake motions. In *Bulletin of the Earthquake Research Institute* (Vol. 39, pp. 85–95).
- Lutgens, F. K. (2009). *Essentials of geology* (10 th). Prentice Hall.
- Marjiyono. (2010). *Estimasi Karakteristik Dinamika Tanah Dari Data Mikrotremor Wilayah Bandung*. Institut Teknologi Bandung.
- Nakamura. (1989). Nakamura a Method for Dynamic Characteristics of Surface.pdf. In *Proc. 20th JSCE Earthquake Eng. Symposium* (Vol. 30, Issue 1, pp. 133–136).
- Nakamura, Y. (2000). Clear identification of fundamental idea of Nakamura's technique and its applications. *Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering*, Paper no. 2656. http://www.sdr.co.jp/papers/n_tech_and_application.pdf
- Nakamura, Y. (2008). On the H/V spectrum. *The 14th World Conference on Earthquake Engineering*, 1–10. http://117.120.50.114/papers/14wcee/14wcee_hv.pdf
- Plummer, C. C., Carlson, D. H., and Hammersley, L. (2016). *Physical Geology Fifteenth Edition*. Mc Graw Hill Education.
- Pratiwi, Y. N. I. (2020). *Mikrozonasi Indeks Kerentanan Seismik di Kecamatan Tambak Kabupaten Banyumas Jawa Tengah Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor*. Yogyakarta: Skripsi, Universitas Negeri Yogyakarta.
- Rheid, H. F. (1906). *The Mechanics of the Earthquake, The California Earthquake of April 18, 1906* (Report of the State Investigation Commission (ed.); Vol.2). Carnegie Institution of Washington.
- Rofiki. (2020). *Analisis Indeks Kerentanan Seismik Dengan Metode HVSR Di Kecamatan Wedi Kabupaten Klaten*. Yogyakarta: Skripsi, Universitas Negeri Yogyakarta.
- Samodra, H, Gafoer, S, dan Tjokrosapoetro, S. (1992). *Peta Geologi Lembar Pacitan, Jawa*. 1992.

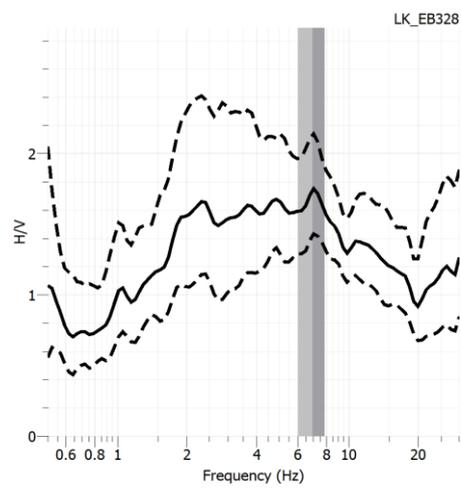
- SESAME. (2004). *Guidelines for the Implementation of the H/V Spectral Ratio technique on Ambient Vibrations*. Europe : SESAME European Research Project.
- Telford, et. al. (n.d.). *Applied Geophysics*. Retrieved March 15, 2023, from <https://memora.id/2020/02/12/pengertian-gempa-bumi-dan-gelombang-seismik-terlengkap/>. Diakses pada 15 Maret 2023.
- Tileng, K. G. (2015). Penerapan Aplikasi Edmodo di Universitas Ciputra Surabaya menggunakan Analisis Jalur. *Jurnal Informatika Dan Sistem Informasi*, 1(1), 28–37.
- USGS. (2023). *Earthquake Hazard Program*. U. S. Geological Survey. <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us7000k6xu/executive>. Diakses pada 9 Juni 2023.
- Wekke, I. S. (2021). *Mitigasi Bencana*. Adanu Abimata.
- Zuliyanti, R. (2018). *Analisis Parameter Mikrotremor Di Kawasan Jalur Sesar Grindulu Pacitan*. Yogyakarta: Skripsi, Universitas Negeri Yogyakarta.

LAMPIRAN

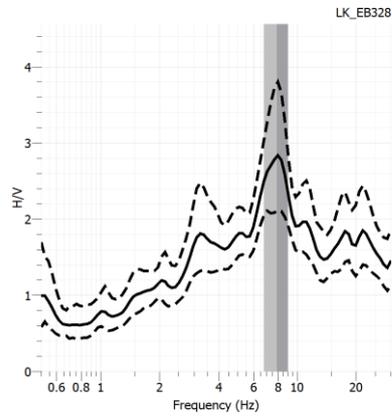
Lampiran 1 Gambar Kurva HVSR



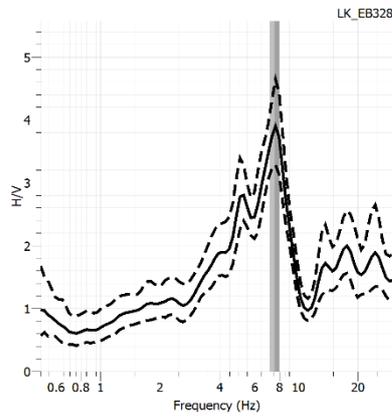
Gambar L-1.1 Kurva HVSR Titik 1



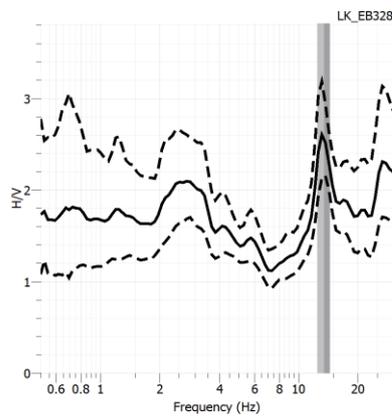
Gambar L-1.2 Kurva HVSR Titik 2



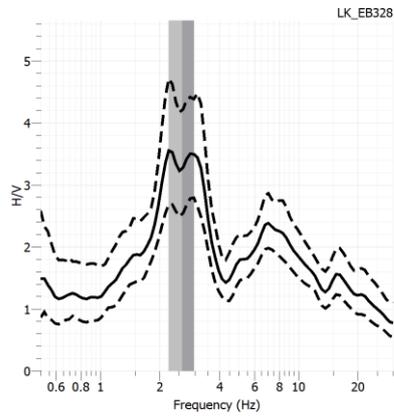
Gambar L-1.3 Kurva HVSr Titik 3



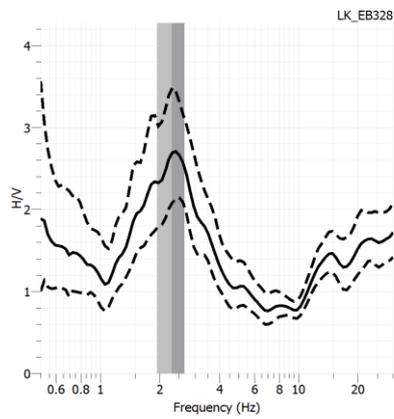
Gambar L-1.4 Kurva HVSr Titik 4



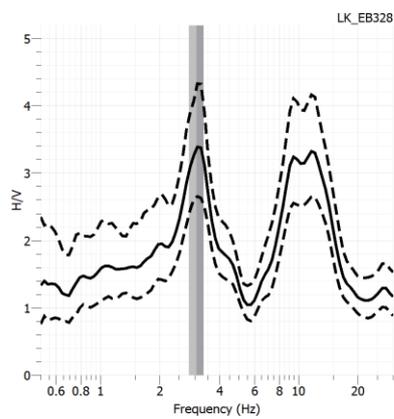
Gambar L-1.5 Kurva HVSr Titik 5



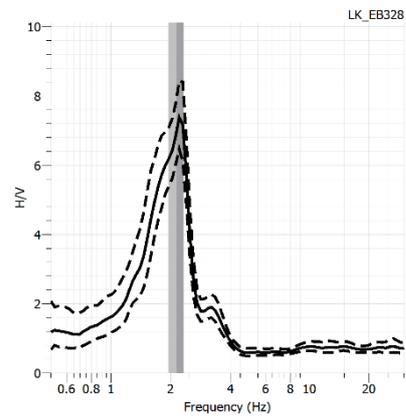
Gambar L-1.6 Kurva HVSr Titik 6



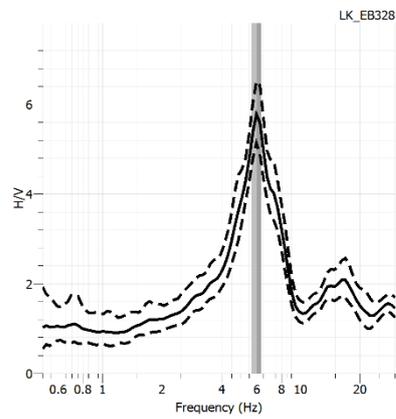
Gambar L-1.7 Kurva HVSr Titik 7



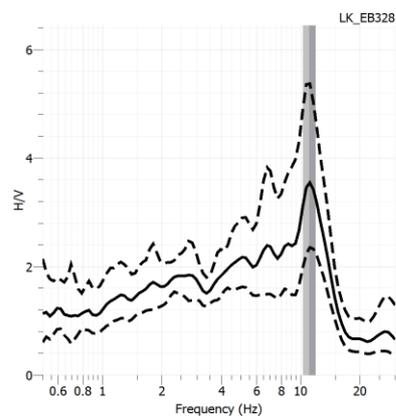
Gambar L-1.8 Kurva HVSr Titik 8



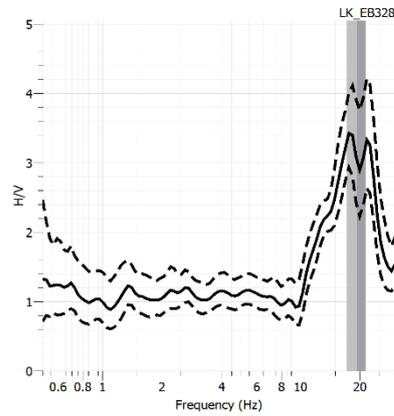
Gambar L-1.9 Kurva HVSr Titik 9



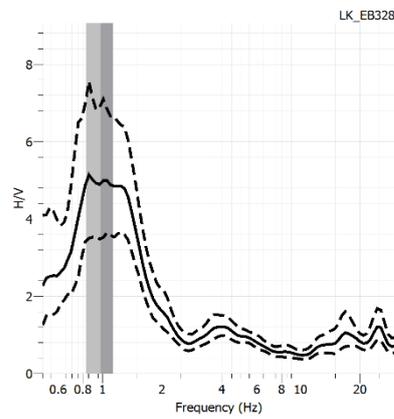
Gambar L-1.10 Kurva HVSr Titik 10



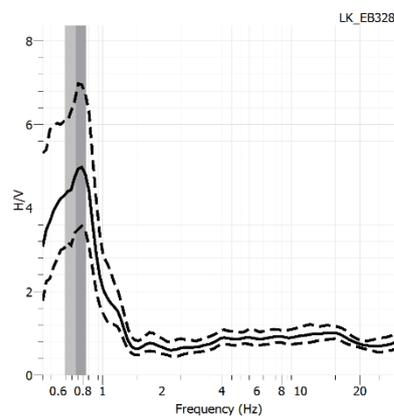
Gambar L-1.11 Kurva HVSr Titik 11



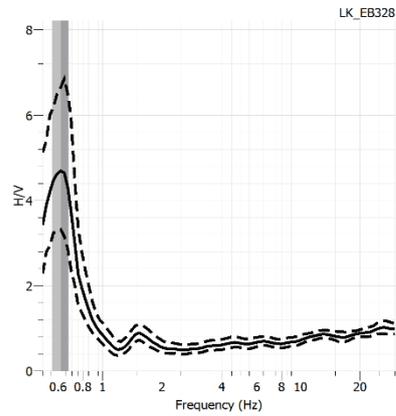
Gambar L-1.12 Kurva HVSr Titik 12



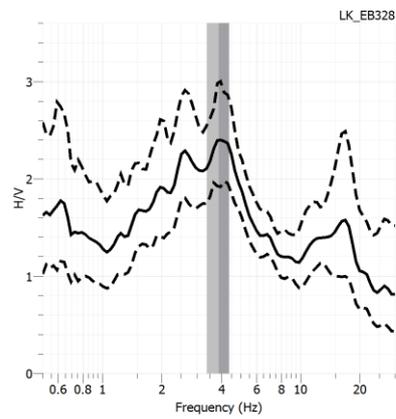
Gambar L-1.13 Kurva HVSr Titik 13



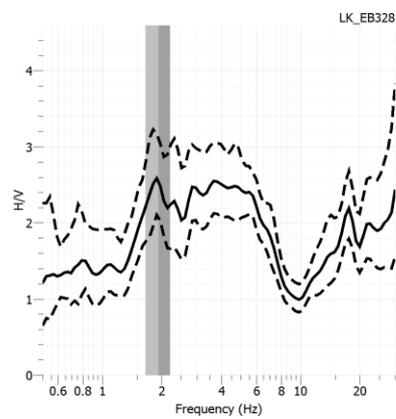
Gambar L-1.14 Kurva HVSr Titik 14



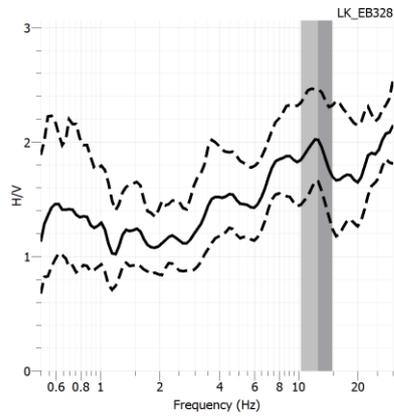
Gambar L-1.15 Kurva HVSr Titik 15



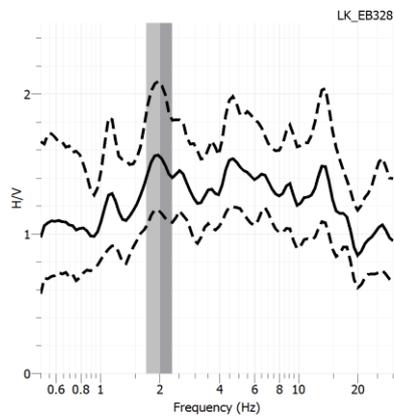
Gambar L-1.16 Kurva HVSr Titik 16



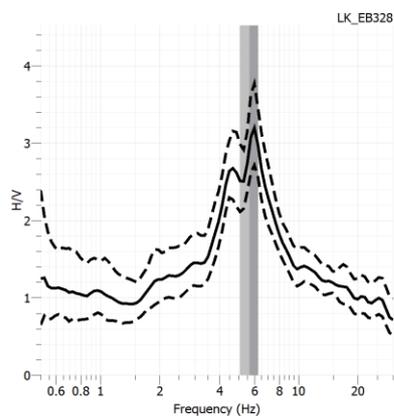
Gambar L-1.17 Kurva HVSr Titik 17



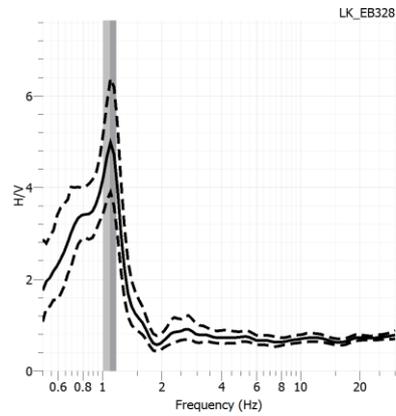
Gambar L-1.18 Kurva HVSr Titik 18



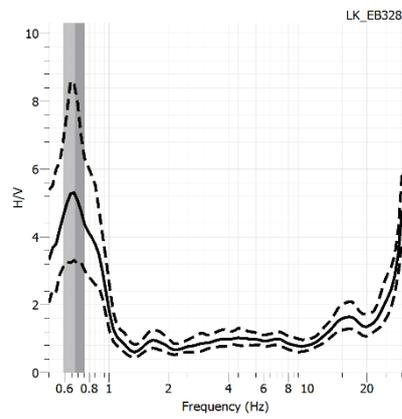
Gambar L-1.19 Kurva HVSr Titik 19



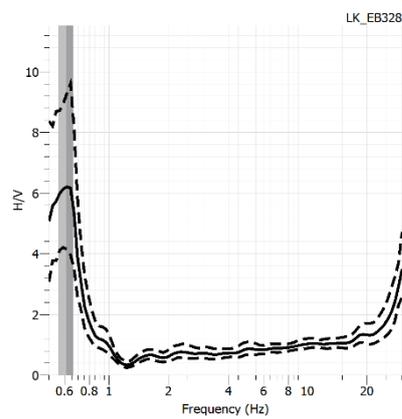
Gambar L-1.20 Kurva HVSr Titik 20



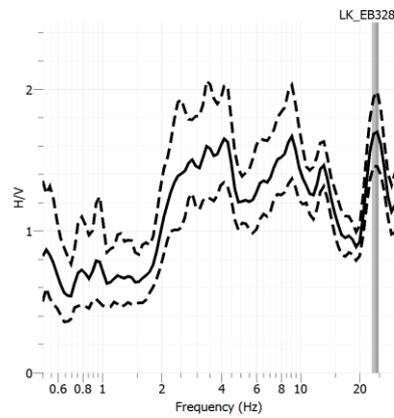
Gambar L-1.21 Kurva HVSr Titik 21



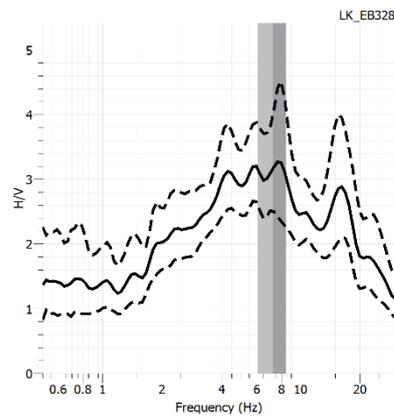
Gambar L-1.22 Kurva HVSr Titik 22



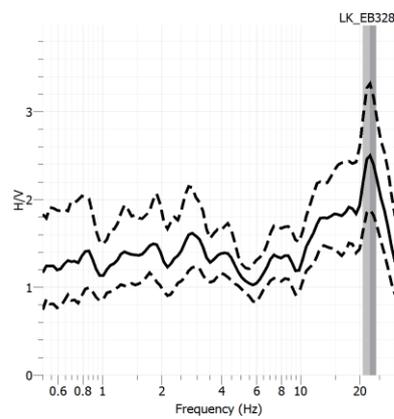
Gambar L-1.23 Kurva HVSr Titik 23



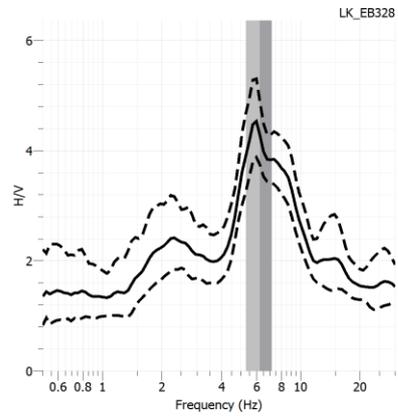
Gambar L-1.24 Kurva HVSr Titik 24



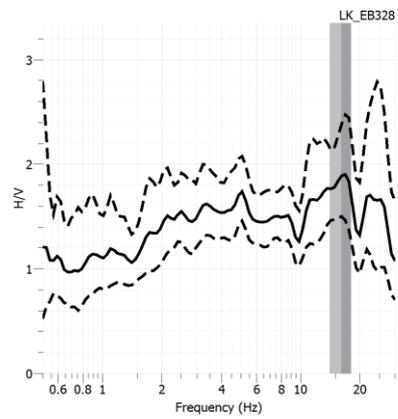
Gambar L-1.25 Kurva HVSr Titik 25



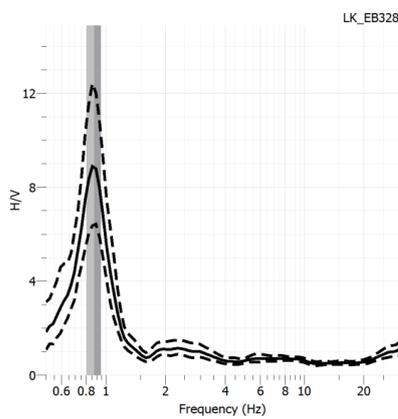
Gambar L-1.26 Kurva HVSr Titik 26



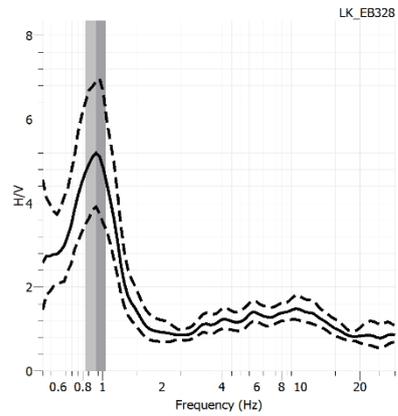
Gambar L-1.27 Kurva HVSr Titik 27



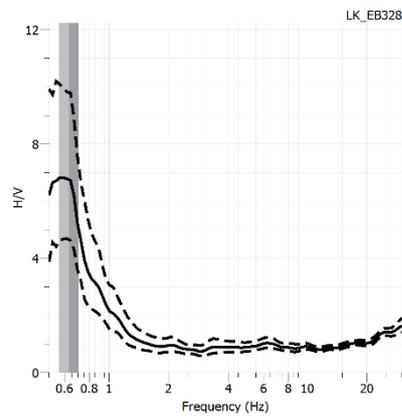
Gambar L-1.28 Kurva HVSr Titik 28



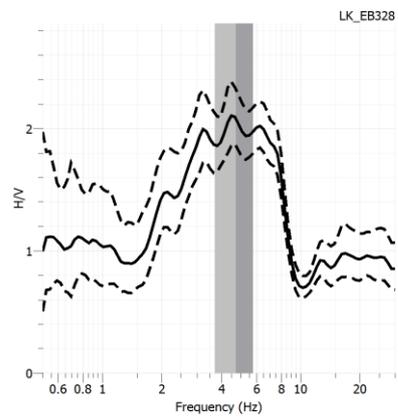
Gambar L-1.29 Kurva HVSr Titik 29



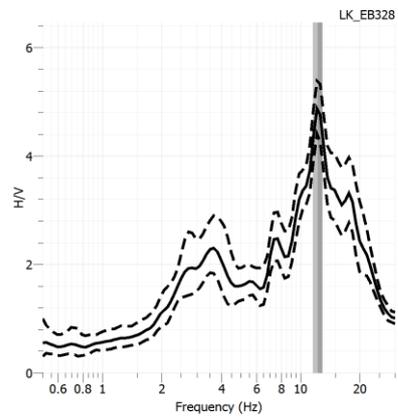
Gambar L-1.30 Kurva HVSr Titik 30



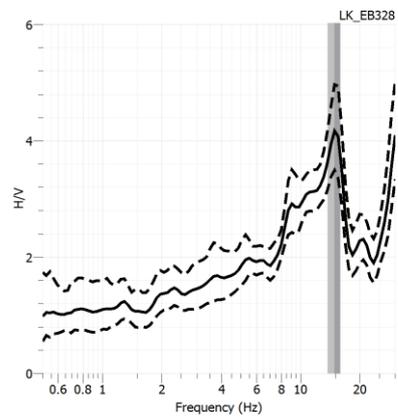
Gambar L-1.31 Kurva HVSr Titik 31



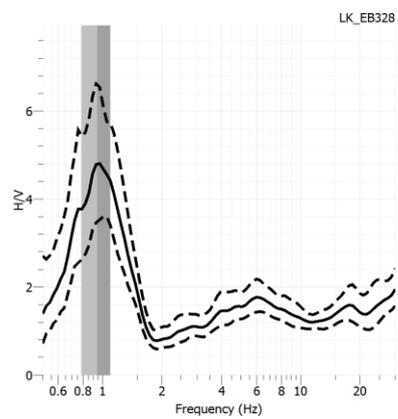
Gambar L-1.32 Kurva HVSr Titik 32



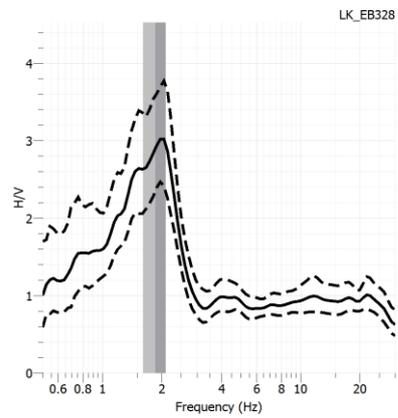
Gambar L-1.33 Kurva HVSr Titik 33



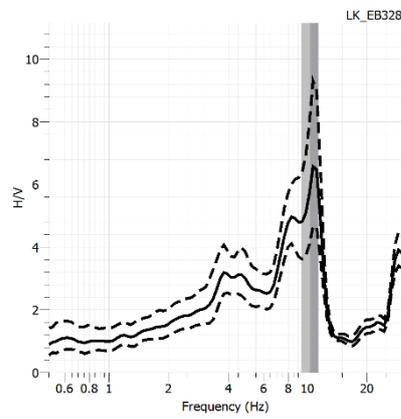
Gambar L-1.34 Kurva HVSr Titik 34



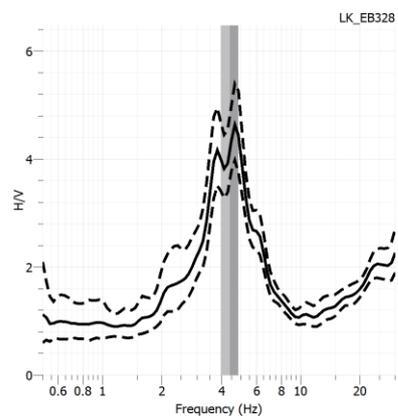
Gambar L-1.35 Kurva HVSr Titik 35



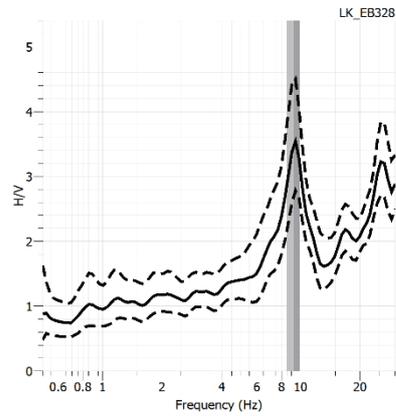
Gambar L-1.36 Kurva HVSr Titik 36



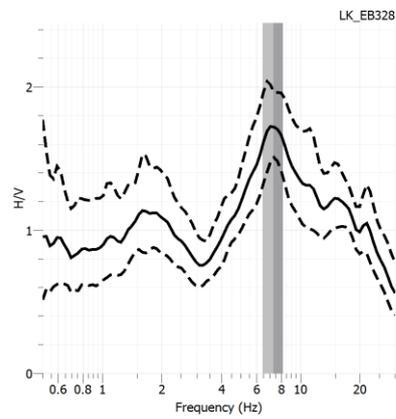
Gambar L-1.37 Kurva HVSr Titik 37



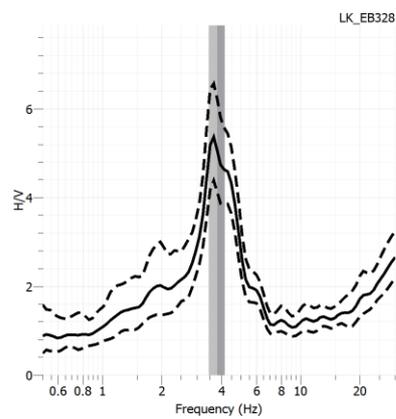
Gambar L-1.38 Kurva HVSr Titik 38



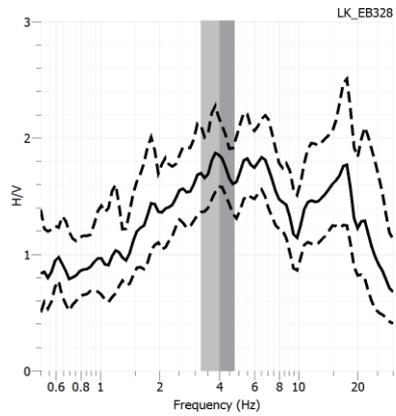
Gambar L-1.39 Kurva HVSr Titik 39



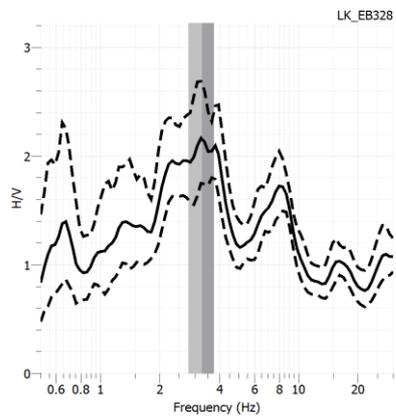
Gambar L-1.40 Kurva HVSr Titik 40



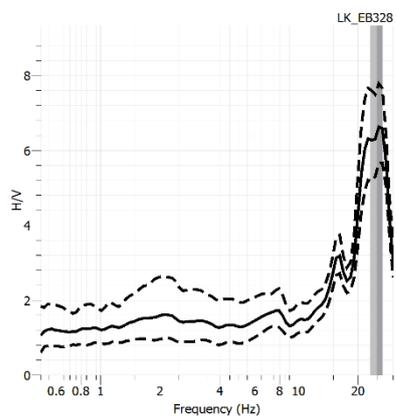
Gambar L-1.41 Kurva HVSr Titik 41



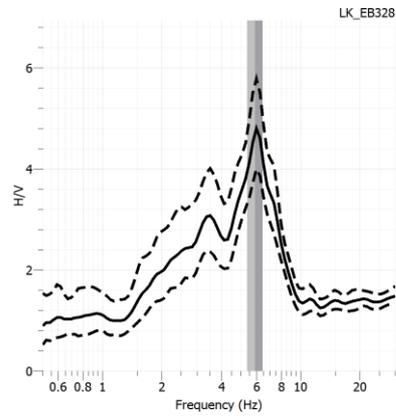
Gambar L-1.42 Kurva HVSr Titik 42



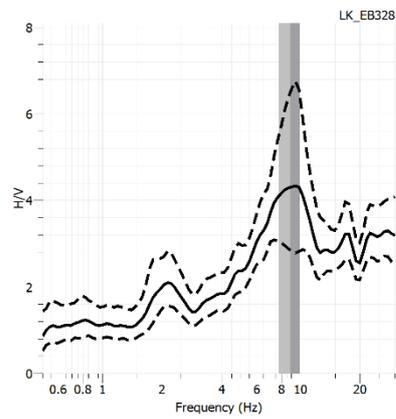
Gambar L-1.43 Kurva HVSr Titik 43



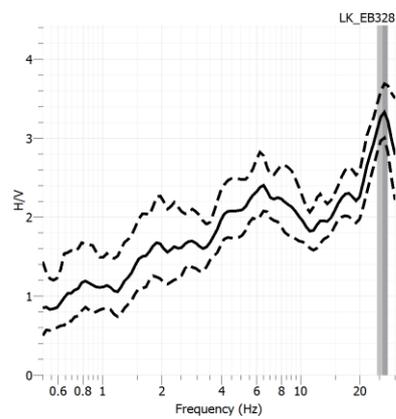
Gambar L-1.44 Kurva HVSr Titik 44



Gambar L-1.45 Kurva HVSr Titik 45

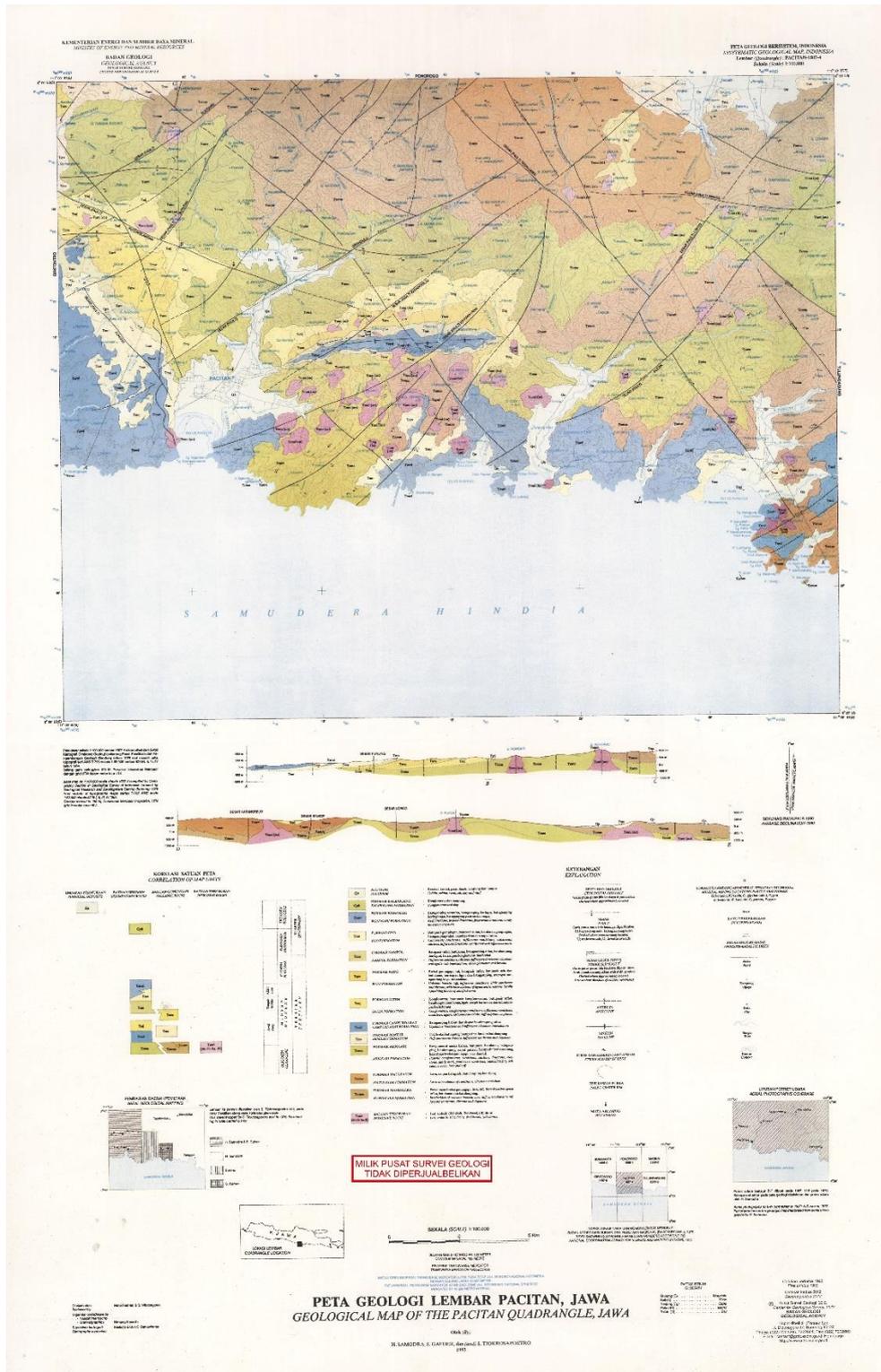


Gambar L-1.46 Kurva HVSr Titik 46



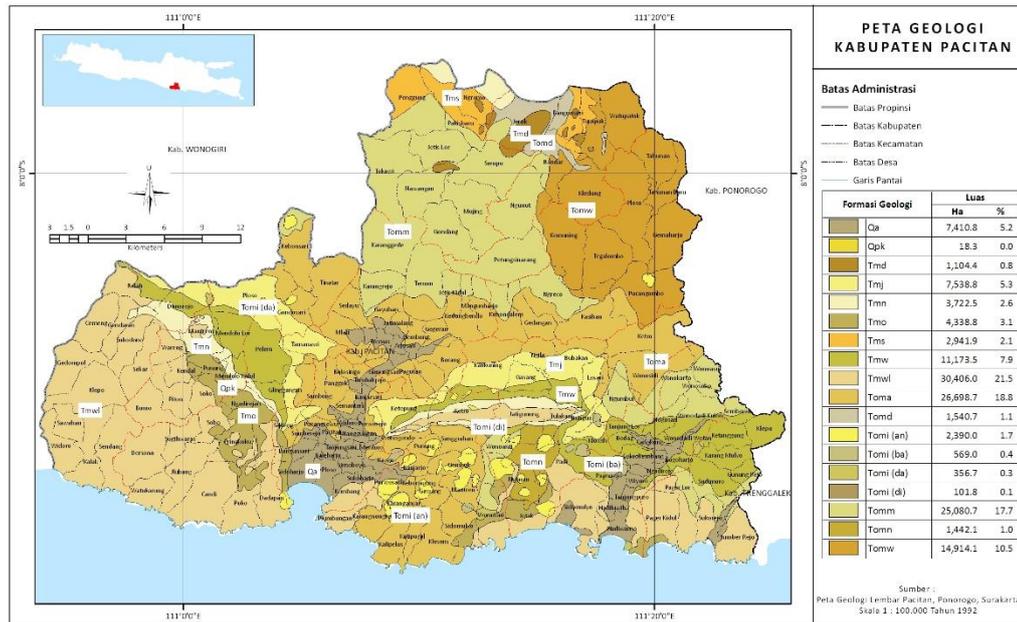
Gambar L-1.47 Kurva HVSr Titik 47

Lampiran 2 Gambar Peta Geologi Kabupaten Pacitan



Gambar L-2.1 Peta Geologi Lembar Pacitan

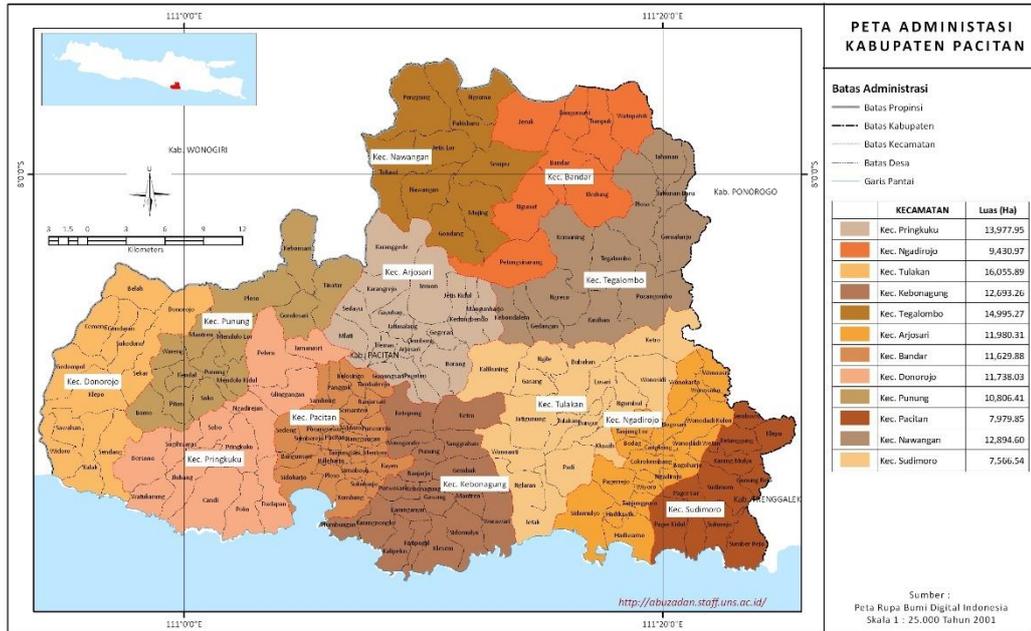
(Sumber: Samodra etl. al, 1992)



Gambar L-2.2 Peta Geologi Kabupaten Pacitan

(Sumber: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, 1992)

Lampiran 3 Gambar Peta Administrasi Kecamatan Pacitan



Gambar L-3.1 Peta Administrasi Kabupaten Pacitan

(Sumber: Peta Rupa Bumi Digital Indonesia, 2001)

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



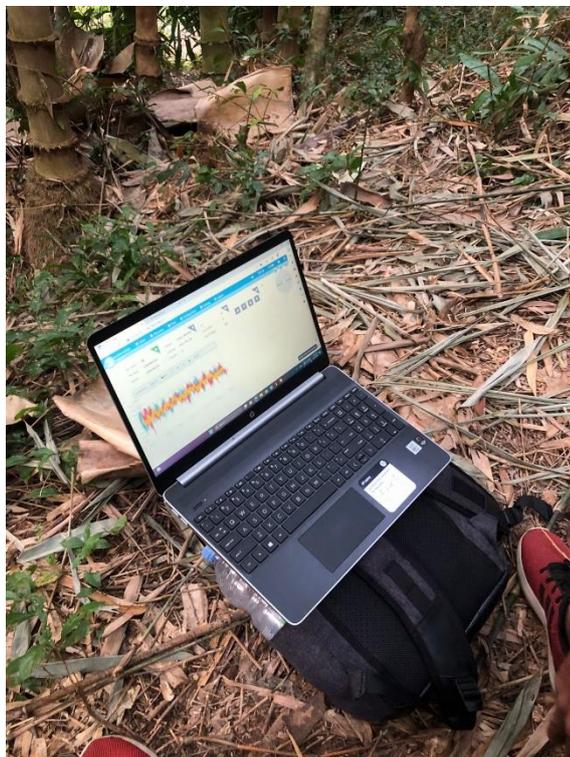
Gambar L-4.5 Dokumentasi Penelitian



Gambar L-4.6 Dokumentasi Penelitian



Gambar L-4.7 Dokumentasi Penelitian



Gambar L-4.8 Dokumentasi Penelitian



Gambar L-4.9 Dokumentasi Penelitian



Gambar L-4.10 Dokumentasi Penelitian



Gambar L-4.11 Dokumentasi Penelitian



Gambar L-4.12 Dokumentasi Penelitian

Lampiran 5 Surat Perizinan Penelitian di Kecamatan Pacitan



UNIVERSITAS
ISLAM
INDONESIA

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

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

Nomor : 81/Sek. Prodi/20/FTSP/V/2023
Hal : Permohonan Izin Penelitian dan Pengambilan Data Tugas Akhir

Kepada Yth:
**KEPALA BADAN KESATUAN BANGSA DAN POLITIK
KABUPATEN PACITAN, JAWA TIMUR**

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 bantuan untuk dapat memberikan izin Penelitian dan Pengambilan Data yang akan digunakan untuk keperluan penyusunan Tugas Akhir bagi mahasiswa Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta. Adapun nama mahasiswa tersebut adalah:

1. NAMA : ELZAN FAIQAL HUDHA
NIM : 19511237
JUDUL TUGAS AKHIR : ANALISIS KETEBALAN LAPISAN SEDIMEN DAN INDEKS KERENTANAN SEISMIK DI KECAMATAN PACITAN, KABUPATEN PACITAN MENGGUNAKAN METODE MIKROTREMOR HVSR
DOSEN PEMBIMBING : ELVIS SAPUTRA, S.T., M.T.
2. NAMA : MUHAMMAD KANZ AIMAN
NIM : 19511258
JUDUL TUGAS AKHIR : PEMETAAN KERENTANAN GEMPA DI KECAMATAN PACITAN MENGGUNAKAN PENGUKURAN MIKROTREMOR DENGAN METODE HVSR
DOSEN PEMBIMBING : ANGGIT MAS ARIFUDIN, S.T., M.T.

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

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.



9 Mei 2023
Sekretaris Prodi Sarjana Teknik Sipil,
Dian Anggrahen, S.T., M. Eng

Gambar L-5.1 Surat Perizinan Penelitian

Lampiran 6 Surat Balasan Perizinan Penelitian dari Kecamatan Pacitan

	<p>PEMERINTAH KABUPATEN PACITAN BADAN KESATUAN BANGSA DAN POLITIK JL. Ronggowarsito No. 07 Telp. (0357) 881066 email : bakesbangpol@pacitankab.go.id</p>
<p>REKOMENDASI PENELITIAN NOMOR : 072 /374 / 408.58 / 2023</p>	
Dasar	<p>: 1. Undang-undang Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2002 tentang Sistim Nasional Penelitian , Pengembangan, dan Penerapan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi;</p> <p>2. Undang-undang Republik Indonesia Nomor 23 Tahun 2014 Tentang Pemerintah Daerah;</p> <p>3. Peraturan Menteri Dalam Negeri Republik Indonesia Nomor 7 Tahun 2014 Tentang Perubahan Atas Peraturan Menteri Dalam Negeri Republik Indonesia Nomor 64 Tahun 2011 Tentang Pedoman Penerbitan Rekomendasi Penelitian;</p> <p>4. Peraturan Bupati Pacitan Nomor 155 Tahun 2021 tentang Kedudukan Tugas dan Fungsi, Susunan Organisasi Serta Tata Kerja Badan Kesatuan Bangsa dan Politik Kabupaten Pacitan</p>
Memperhatikan	<p>: Surat Sekretaris Prodi Sarjana Teknil Sipil tanggal 09 Mei 2023, Nomor : 81/Sek.Prodi/20/FTSP/V/2023, Perihal: Permohonan Ijin Penelitian</p>
<p>Kepala Badan Kesatuan Bangsa dan Politik Kab. Pacitan, memberikan rekomendasi kepada :</p>	
a. Nama	: MUHAMMAD KANZ AIMAN
b. Alamat	: Sandirejo, Sardonoharjo, Kec. Ngaklik, Kab. Sleman, DIY
c. Telp/NIM	: 087774555850
d. Lembaga/Instansi	: Universitas Islam Indonesia
e. Pekerjaan/Jabatan	: Mahasiswa
<p>Untuk melakukan penelitian/survey/kegiatan dengan :</p>	
a. Nama Kegiatan	: "Pemetaan Kerentanan Gempa Di Kecamatan Pacitan Menggunakan Pengukuran Mikrotremor Dengan Metode HSVR "
b. Tujuan	: Izin Penelitian
c. Bidang Kegiatan	: Teknik Sipil
d. Penanggungjawab	: Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T
e. Anggota/Peserta	: -
f. Waktu Kegiatan	: 17 Mei 2023 s.d 31 Mei 2023
g. Lokasi Kegiatan	: Sekecamatan Pacitan

Gambar L-6.1 Surat Balasan Penelitian

- Dengan ketentuan :**
1. Setiap Peneliti mempunyai hak mendapatkan informasi yang akurat tentang tata cara penerbitan rekomendasi penelitian, mendapatkan pelayanan penerbitan rekomendasi penelitian sesuai aturan yang berlaku, mendapatkan penjelasan dalam hal keterlambatan dan penolakan penerbitan rekomendasi penelitian;
 2. Berkewajiban menghormati dan mentaati peraturan dan tata tertib di daerah setempat/ lokasi penelitian;
 3. Pelaksanaan penelitian agar tidak disalahgunakan untuk tujuan tertentu yang dapat mengganggu kesetabilan keamanan dan ketertiban di daerah setempat / lokasi penelitian;
 4. Melaporkan hasil penelitian dan sejenisnya kepada Bupati Pacitan melalui Badan Kesatuan Bangsa dan Politik Kabupaten Pacitan;
 5. Apabila masa berlaku rekomendasi penelitian telah berakhir , dan penelitian sedang berjalan, peneliti harus segera mengajukan perpanjangan waktu dengan menyertakan hasil penelitian sebelumnya;
 6. Surat Keterangan ini akan dicabut dan dinyatakan tidak berlaku lagi apabila ternyata bahwa pemegang Surat Rekomendasi ini tidak memenuhi ketentuan tersebut diatas.

Demikian rekomendasi ini dibuat untuk digunakan seperlunya.

Pacitan, 11 Mei 2023

An. **KEPALA BADAN KESATUAN BANGSA
DAN POLITIK KABUPATEN PACITAN**

Sekretaris

Dra. ANNA SRI MULYATI, M.Sc

Pembina Tingkat I

NIP. 19670623 199203 2 006

Tembusan :

- Yth. 1. Bupati Pacitan
2. Dandim 0801 Pacitan
3. Kapolres Pacitan
4. Kepala Bappelitbang Kab. Pacitan
5. Camat Pacitan
6. Yang bersangkutan untuk dilaksanakan

Gambar L-6.2 Surat Balasan Penelitian