

**TUGAS AKHIR**

**ANALISIS HUBUNGAN INDEKS KERENTANAN  
SEISMIK DAN KETEBALAN LAPISAN SEDIMEN  
TERHADAP RISIKO GEMPA BUMI DI KECAMATAN  
PACITAN MENGGUNAKAN METODE HVSR  
(*ANALYSIS OF THE RELATIONSHIP BETWEEN  
SEISMIC VULNERABILITY INDEX AND SEDIMENT  
THICKNESS TO EARTHQUAKE RISK IN PACITAN  
DISTRICT USING HVSR METHOD*)**

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



**Elzan Faiqal Hudha  
19511237**

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

## TUGAS AKHIR

# ANALISIS HUBUNGAN INDEKS KERENTANAN SEISMIK DAN KETEBALAN LAPISAN SEDIMEN TERHADAP RISIKO GEMPA BUMI DI KECAMATAN PACITAN MENGGUNAKAN METODE HVSR (ANALYSIS OF THE RELATIONSHIP BETWEEN SEISMIC VULNERABILITY INDEX AND SEDIMENT THICKNESS TO EARTHQUAKE RISK IN PACITAN DISTRICT USING HVSR METHOD)

Disusun Oleh



**Elzan Faiqal Hudha**  
19511237

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

Diuji pada Tanggal 18 Agustus 2023

Oleh Dewan Penguji

Pembimbing

Elvis Saputra, S.T., M.T.  
NIP : 205111302

Penguji I

Malik Mushthofa, ST., M.Eng.  
NIP : 185111302

Penguji II

Astriana Hardawati S.T., M.Eng.  
NIP : 165111301

Mengesahkan

Ketua Program Studi Teknik Sipil



22/23  
/8

Idris Kuntalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP : 095110101

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

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

Yogyakarta, 18 Agustus 2023

Yang Membuat Pernyataan,



Elzan Faiqal Hudha

(19511237)

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul Analisis Hubungan Indeks Kerentanan Seismik Dan Ketebalan Lapisan Sedimen Terhadap Risiko Gempa Bumi Di Kecamatan Pacitan Menggunakan Metode HVSR. Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat akademik untuk menyelesaikan studi tingkat sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Dalam proses penyusunan tugas akhir ini banyak tantangan yang dihadapi oleh penulis, namun berkat saran, kritik, dan dorongan motivasi dari berbagai pihak sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik. Berkaitan dengan hal ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih sebanyak – banyaknya kepada :

1. Bapak Elvis Saputra, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing tugas akhir.
2. Ibu Yunalia Muntafi S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Uripto dan Ibu Oriza Sativa Ratna selaku kedua orangtua penulis yang telah memberikan dukungan moral, material, dan spiritual sehingga menjadi motivasi bagi penulis untuk segera menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Reiza Faizal Hudha dan Fasya Arinal Hudha selaku saudara kandung penulis yang telah memberikan motivasi dan hiburan saat mengerjakan tugas akhir ini.
5. Clarissa Putri Candraningtyas, S.Stat. yang telah memberikan bantuan pada saat pengolahan data, memberikan motivasi untuk terus bergerak, dan pendengar cerita pada setiap momen dalam kehidupan penulis. Penulis merasa bersyukur karena memiliki teman yang selalu supportif untuk segala halnya.
6. Muhammad Kanz Aiman selaku teman seperjuangan yang selalu *membackup* dan memberikan motivasi sejak magang, penelitian, hingga tugas akhir ini selesai.



7. Mas Adi, Mas Wafi, Salman Mutasim Billah yang telah membantu penulis pada saat mengumpulkan data yang digunakan dalam tugas akhir ini.
8. Muhammad Kevin Fadhilul Azyam, S.T. dan Diinaa Romiizahathuuf H, S.T. yang telah membimbing penulis pada saat penelitian dan analisis data.
9. Sabilla Putri R, S.T., Alhilal Mohammad F, S.T., Muhammad Rizalud Fadhilah, dan teman – teman seperjuangan selama kuliah “Odading” yang tidak dapat disebutkan satu demi satu. Terima kasih karena telah menjadi pendengar cerita dan memberikan motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Selain itu, terima kasih pula karena telah menjadikan momen kuliah yang berkesan dengan segala cerita didalamnya.

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

Yogyakarta, 18 Agustus 2023

Penulis,



Elzan Faiqal Hudha

19511237

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xiii
ABSTRAK	xv
<i>ABSTRACT</i>	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Penelitian Terdahulu	6
2.2 Perbandingan Penelitian	11
BAB III LANDASAN TEORI	17
3.1 Kondisi Geologi	17

3.2	Gempa Bumi	18
3.3	Gelombang Seismik	19
3.3.1	Gelombang Badan	20
3.3.2	Gelombang Permukaan	22
3.4	Mikrotremor	24
3.5	Metode <i>Horizontal to Vertical Spectrum Ratio</i>	25
3.6	Mikrozonasi	27
3.7	Inversi Kurva HVSR	28
3.8	Uji <i>Outlier</i>	29
3.9	Frekuensi Dominan ( $F_0$ )	30
3.10	Faktor Amplifikasi ( $A_g$ )	31
3.11	Ketebalan Lapisan Sedimen ( $h$ )	32
3.12	Indeks Kerentanan Seismik ( $K_g$ )	33
3.13	Hubungan Ketebalan Lapisan Sedimen dengan Indeks Kerentanan Seismik	34
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN		37
4.1	Lokasi Penelitian	37
4.2	Peralatan dan Teknik Pengumpulan Data	38
4.2.1	Peralatan	38
4.2.2	Teknik Pengumpulan Data	40
4.3	Pengolahan Data	42
4.3.1	Pengolahan Data Mikrotremor	42
4.3.2	Analisis Kurva H/V Menggunakan Metode <i>Ellipticity Curve</i>	43
4.3.3	Perhitungan Ketebalan Lapisan Sedimen ( $h$ )	44
4.3.4	Perhitungan Indeks Kerentanan Seismik ( $K_g$ )	44

4.4	Diagram Alir Penelitian	45
BAB V ANALISIS, HASIL, DAN PEMBAHASAN		46
5.1	Analisis Data Mikrotremor	46
5.2	Uji <i>Outlier</i>	50
5.3	Analisis Inversi Kurva HVSR	54
5.4	Analisis Nilai Frekuensi Dominan ( $f_0$ )	62
5.5	Analisis Nilai Faktor Amplifikasi ( $A_g$ )	65
5.6	Analisis Nilai Ketebalan Lapisan Sedimen ( $h$ )	69
5.7	Analisis Nilai Indeks Kerentanan Seismik ( $K_g$ )	75
5.8	Hubungan antara Nilai Indeks Kerentanan Seismik dengan Nilai Ketebalan Lapisan Sedimen	79
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		85
6.1	Kesimpulan	85
6.2	Saran	86
DAFTAR PUSTAKA		87
LAMPIRAN		91

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Peta Lempeng Tektonik Aktif Wilayah Indonesia	2
Gambar 3.1	Peta Geologi Kecamatan Pacitan	17
Gambar 3.2	Pergerakan Lempeng Tektonik	19
Gambar 3.3	Gelombang Primer	21
Gambar 3.4	Gelombang Sekunder	22
Gambar 3.5	Gelombang <i>Reyleigh</i>	23
Gambar 3.6	Gelombang <i>Love</i>	24
Gambar 3.7	Data Mikrotremor Di Kecamatan Gantiwarno	25
Gambar 3.8	Gerakan Horizontal dan Vertikal Pada Area Cekungan	27
Gambar 4.1	Batas Administrasi Kelurahan di Kecamatan Pacitan	37
Gambar 4.2	Lokasi Titik Penelitian	38
Gambar 4.3	Perangkat Keras yang Digunakan	40
Gambar 4.4	Proses <i>Windowing</i> dan <i>Cutting</i> Sinyal Mikrotremor	43
Gambar 4.5	<i>Ground Profiles</i> Kecepatan ( $V_s$ )	43
Gambar 4.6	Diagram Alir Penelitian	45
Gambar 5.1	Peta Lokasi Titik Penelitian di Kecamatan Pacitan	47
Gambar 5.2	Grafik Hasil Pengukuran Mikrotremor di Titik 29	48
Gambar 5.3	<i>Filtering Options</i> Untuk <i>Windowing</i> Titik 29	49
Gambar 5.4	Hasil <i>Windowing</i> Pada Titik 29	49
Gambar 5.5	Kurva HVSR Pada Titik 29	50
Gambar 5.6	Kurva HVSR Pada Titik 29 Setelah Filterisasi	50
Gambar 5.7	Tampilan <i>Software</i> Dinver Pada Titik 2	54
Gambar 5.8	Grafik $V_s$ Pada Titik 2	55
Gambar 5.9	Peta Persebaran Kecepatan Geser Tanah Hingga Kedalaman 30 Meter ( $V_{s30}$ ) di Kecamatan Pacitan	58
Gambar 5.10	Peta 3D Persebaran Kecepatan Geser Tanah Hingga Kedalaman 30 Meter ( $V_{s30}$ ) di Kecamatan Pacitan	58



Gambar 5.11	Peta Klasifikasi Jenis Tanah Berdasarkan Nilai Vs30 di Kecamatan Pacitan	59
Gambar 5.12	Peta Persebaran Nilai Vs pada Lapisan Pertama	60
Gambar 5.13	Peta Persebaran Nilai Vs pada Lapisan Kedua	61
Gambar 5.14	Peta Persebaran Nilai Vs pada Lapisan Ketiga	61
Gambar 5.15	Peta Persebaran Frekuensi Dominan di Kecamatan Pacitan	64
Gambar 5.16	Peta 3D Persebaran Frekuensi Dominan di Kecamatan Pacitan	64
Gambar 5.17	Peta Persebaran Faktor Amplifikasi Pada Kecamatan Pacitan	68
Gambar 5.18	Peta 3D Persebaran Faktor Amplifikasi Pada Kecamatan Pacitan	68
Gambar 5.19	Peta Persebaran Ketebalan Lapisan Sedimen Pada Kecamatan Pacitan	72
Gambar 5.20	Peta 3D Persebaran Ketebalan Lapisan Sedimen Pada Kecamatan Pacitan	72
Gambar 5.21	Permodelan 3D Lapisan Sedimen dan Bedrock Di Kecamatan Pacitan	74
Gambar 5.22	Permodelan 3D Lapisan Bedrock Di Kecamatan Pacitan	74
Gambar 5.23	Permodelan 3D Lapisan Sedimen Di Kecamatan Pacitan	75
Gambar 5.24	Peta Persebaran Indeks Kerentanan Seismik Pada Kecamatan Pacitan	78
Gambar 5.25	Peta 3D Persebaran Indeks Kerentanan Seismik Pada Kecamatan Pacitan	78
Gambar 5.26	<i>Scatter Plot</i> Hubungan Indeks Kerentanan Seismik Dengan Ketebalan Lapisan Sedimen	82

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan	11
Tabel 3.1	Klasifikasi Jenis Tanah Berdasarkan Nilai Frekuensi Dominan Mikrotremor oleh Kanai	30
Tabel 3.2	Nilai Amplifikasi	32
Tabel 3.3	Klasifikasi Jenis Batuan Berdasarkan Nilai Vs	32
Tabel 3.4	Klasifikasi Nilai Indeks Kerentanan Seismik	34
Tabel 3.5	Klasifikasi Koefisien Korelasi	35
Tabel 4.1	Standart dan Syarat Pengukuran oleh SESAME	41
Tabel 5.1	Rekapitulasi Hasil Uji Outlier Nilai Frekuensi Dominan	51
Tabel 5.2	Rekapitulasi Hasil Uji Outlier Nilai Faktor Amplifikasi	52
Tabel 5.3	Nilai Vs Setiap Lapisan Pada Titik 2	55
Tabel 5.4	Rekapitulasi Nilai Vs 30 Pada Kecamatan Pacitan	56
Tabel 5.5	Rekapitulasi Nilai Frekuensi Dominan Pada Kecamatan Pacitan	62
Tabel 5.6	Rekapitulasi Faktor Amplifikasi Pada Kecamatan Pacitan	66
Tabel 5.7	Rekapitulasi Perhitungan Ketebalan Lapisan Sedimen Pada Kecamatan Pacitan	70
Tabel 5.8	Rekapitulasi Perhitungan Indeks Kerentanan Seismik Pada Kecamatan Pacitan	76
Tabel 5.9	Perhitungan Koefisien Korelasi Indeks Kerentanan Seismik Dengan Ketebalan Lapisan Sedimen	80

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Gambar Kurva HVSR	92
Lampiran 2 Grafik Inversi Kurva HVSR	108
Lampiran 3 Dokumentasi Pada Saat Penelitian	124
Lampiran 4 Surat Perizinan Penelitian di Kecamatan Pacitan	127
Lampiran 5 Surat Balasan Perizinan Penelitian di Kecamatan Pacitan	128

## DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

$f_0$	= Frekuensi dominan ( $h_z$ )
$A_g$	= Faktor amplifikasi
$V_s$	= Kecepatan geser tanah ( $m/s$ )
$h$	= Ketebalan lapisan sedimen (meter)
$K_g$	= Indeks kerentanan seismik
LS	= Lintang selatan
BT	= Bujur timur
HVSR	= <i>Horizontal to Vertical Spectral Ratio</i>
Gelombang EW	= Gelombang seismik arah timur – barat
Gelombang NS	= Gelombang seismik arah utara – selatan
Gelombang Vertikal	= Gelombang seismik arah vertikal
$T_H$	= Faktor amplifikasi gerakan horizontal
$T_V$	= Faktor amplifikasi gerakan vertikal
$S_{Hf}$	= Spektrum komponen horizontal di permukaan tanah
$S_{Hb}$	= Spektrum komponen horizontal di lapisan dasar
$S_{Vf}$	= Spektrum komponen vertikal di permukaan tanah
$S_{Vb}$	= Spektrum komponen vertikal di lapisan dasar
$T_{SITE}$	= Efek tapak Lokal
$\lambda$	= Kekakuan batuan
$\rho$	= Kerapatan Batuan
$V_p$	= Kecepatan gelombang primer ( $m/s$ )
$V_s$	= Kecepatan gelombang sekunder ( $m/s$ )
$V_{s30}$	= Kecepatan geser tanah hingga kedalaman 30 meter ( $m/s$ )
$V_{si}$	= Kecepatan gelombang geser lapisan i ( $m/s$ )
$d_i$	= Tebal setiap lapisan hingga kedalaman 30 meter (m)
$x_i$	= Nilai sampel

$\bar{x}$	= Rata – rata nilai sampel
$\sum x$	= Nilai dari jumlah data
$\sigma$	= Standar deviasi atau Simpangan Baku
<i>Z Score</i>	= Standar batas
$r$	= Koefisien korelasi
$x$	= Nilai variabel bebas
$y$	= Nilai variabel terikat
$a$	= Variabel <i>intercept</i>
$b$	= Koefisien Arah



## ABSTRAK

Gempa bumi merupakan getaran yang terjadi dibawah permukaan bumi dimana energinya dapat menyebar ke segala arah dan dapat dirasakan hingga permukaan bumi. Kerusakan bangunan yang terjadi akibat gempa bumi dapat disebabkan oleh faktor geologi, seperti ketebalan lapisan sedimen di wilayah tersebut. Kondisi wilayah yang memiliki lapisan sedimen yang tebal dapat meningkatkan faktor amplifikasi sehingga menimbulkan getaran yang lebih kuat walaupun jauh dari pusat gempa bumi. Langkah yang dapat dilakukan untuk meminimalisir kerusakan yang terjadi akibat gempa bumi adalah mengidentifikasi ketebalan lapisan sedimen dan indeks kerentanan seismik terutama pada Kecamatan Pacitan. Kecamatan Pacitan merupakan salah satu kecamatan di Kabupaten Pacitan yang mempunyai tingkat bahaya tinggi terhadap gempa bumi. Hal ini diperparah dengan adanya Sesar Grindulu yang terbentang pada Kecamatan Pacitan, Kecamatan Arjosari, dan Kecamatan Tegalombo.

Penelitian ini dilakukan pengukuran langsung di lapangan dengan menggunakan alat *digital seismograph* merek Lunitek Triton 5s. Pengukuran sinyal mikrotremor dilakukan selama 30 menit pada 47 titik pengukuran dengan interval 1,5 km yang tersebar di Kecamatan Pacitan. Data hasil pengukuran nantinya akan dianalisis dengan metode HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) sehingga diperoleh kurva HVSR yang merepresentasikan nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) dan faktor amplifikasi ( $A_g$ ). Setelah itu, kurva H/V dilakukan inversi untuk mendapatkan nilai kecepatan geser tanah hingga kedalaman 30 meter ( $V_s30$ ). Berdasarkan ketiga parameter tersebut nantinya akan dihitung sehingga diperoleh nilai ketebalan lapisan sedimen ( $h$ ) dan indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ).

Hasil dari penelitian didapatkan nilai ketebalan lapisan sedimen berkisar antara 6,17 m hingga 324,10 m dimana lapisan sedimen paling tebal berada pada bagian selatan sedangkan pada bagian utara memiliki ketebalan lapisan tipis. Nilai indeks kerentanan seismik berkisar antara 0,119880098 hingga 89,09713 dimana sebagian besar wilayah masuk kedalam kategori rendah. Nilai indeks kerentanan seismik dengan ketebalan lapisan sedimen memiliki hubungan yang kuat dimana nilai koefisien korelasi dari kedua variabel tersebut adalah +0,729654764. Selain itu, berdasarkan analisis regresi linier didapatkan bahwa pengaruh nilai indeks kerentanan terhadap nilai ketebalan lapisan sedimen sebesar  $y = 28,00279378 + 2,119353882x$ . Hubungan antara kedua variabel tersebut memiliki pengaruh pada risiko karena pada saat lapisan sedimen tebal dan indeks kerentanan seismik tinggi memungkinkan wilayah tersebut akan mengalami perbesaran gelombang atau amplifikasi. Apabila terjadi perbesaran gelombang maka getaran gempa bumi yang dirasakan dipermukaan akan semakin besar sehingga dapat meningkatkan risiko kerusakan akibat gempa bumi.

**Kata Kunci :** Mikrotremor, HVSR, *Ellipticity Curve*, Sedimen

## **ABSTRACT**

*Earthquakes are vibrations that occur under the surface of the earth where the energy can spread in all directions and can be felt up to the surface of the earth. Damage to buildings caused by earthquakes can be caused by geological factors, such as the thickness of the sediment layer in the area. The condition of areas that have thick layers of sediment can increase the amplification factor resulting in stronger vibrations even though they are far from the epicenter of the earthquake. Steps that can be taken to minimize the damage caused by the earthquake are to identify the thickness of the sediment layer and the seismic vulnerability index, especially in Pacitan District. Pacitan District is one of the sub-districts in Pacitan Regency which has a high level of danger from earthquakes. This is exacerbated by the existence of the Grindulu Fault which lies in Pacitan District, Arjosari District, and Tegalombo District.*

*This research was conducted direct measurements in the field using the Lunitek Triton 5s. Microtremor signal measurements were carried out for 30 minutes at 47 measurement points with 1.5 km intervals spread across Pacitan District. The measured data will later be analyzed using the HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) method in order to obtain an HVSR curve that represents the dominant frequency value ( $f_0$ ) and amplification factor ( $A_g$ ). After that, the H/V curve was inverted to get the value of the soil shear velocity to a depth of 30 meters ( $V_s30$ ). Based on these three parameters, it will be calculated to obtain the value of the thickness of the sediment layer ( $h$ ) and the seismic vulnerability index ( $K_g$ ).*

*The results of the study showed that the thickness of the sediment layer ranged from 6,17 m to 324,10 m where the thickest sediment layer was in the south, while in the north it had a thin layer. The seismic vulnerability index value ranges from 0,119880098 to 89,09713 where most areas fall into the low category. The value of the seismic vulnerability index with the thickness of the sediment layer has a strong relationship where the correlation coefficient value of the two variables is +0,729654764. In addition, based on linear regression analysis, it was found that the effect of the susceptibility index value on the sediment layer thickness value was  $y = 28,00279378 + 2,119353882x$ . The relationship between the two variables has an influence on risk because when the sediment layer is thick and the seismic index is high, it is possible that the area will experience wave amplification or amplification. If there is a magnification of the wave, the earthquake vibrations felt on the surface will be even greater so that it can increase the risk of damage due to an earthquake.*

**Keywords:** *Microtremor, HVSR, Ellipticity Curve, Sediments*

# BAB I

## PENDAHULUAN

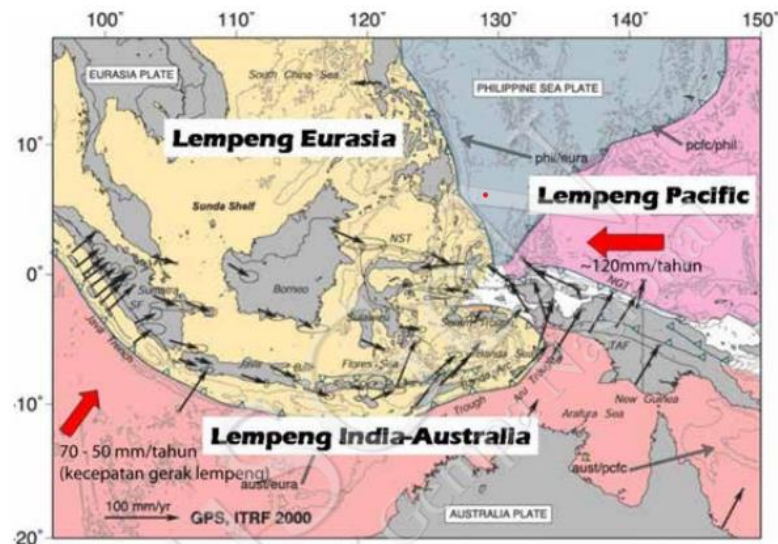
### 1.1 Latar Belakang

Kabupaten Pacitan merupakan salah satu kabupaten di Provinsi Jawa Timur yang terletak di pantai selatan pulau Jawa dan berbatasan langsung dengan Samudra Hindia. Berdasarkan Laporan Status Lingkungan Hidup Daerah Kabupaten Pacitan Tahun 2007, Kabupaten ini terletak antara 110° 55' hingga 111° 25' Bujur Timur dan 7° 55' hingga 8° 17' Lintang Selatan dan mempunyai luas wilayah sebesar 1389,89 km<sup>2</sup>. Selain itu, Kabupaten Pacitan berada sekitar 226,54 km dari zona pertemuan lempeng tektonik Selatan Jawa (Abdurrohman, 2020). Hal ini menjadikan wilayah Kabupaten Pacitan menjadi rawan terkena dampak akibat adanya pergerakan lempeng yang dapat berupa gempa bumi dengan skala besar hingga tsunami.

Gempa bumi adalah getaran yang terjadi dibawah permukaan bumi dimana energinya dapat menyebar ke segala arah sehingga dapat dirasakan hingga permukaan bumi berupa gelombang seismik (Sulistiyani, 2012). Gelombang tersebut terjadi karena pelepasan energi yang terbentuk akibat pergerakan lempeng bumi berupa lempeng yang saling mendekat (*konvergen*), saling menjauh (*divergen*), dan saling melewati (*transform*) (Fadhilah, 2021). Pada saat gelombang tersebut mencapai permukaan bumi maka dapat meningkatkan potensi kerusakan pada bangunan.

Gempa bumi yang terjadi di Kabupaten Pacitan disebabkan oleh adanya pergerakan lempeng Indo – Australia dengan kecepatan sekitar 7 cm/tahun kearah utara yang menujam dibawah lempeng Eurasia yang bergerak dengan kecepatan 12 cm/tahun kearah barat daya (Abdurrohman, 2020). Selain itu, kondisi ini diperparah dengan ditemukannya sesar pada Kabupaten Pacitan yaitu Sesar Grindulu. Sesar Grindulu merupakan sesar aktif yang bergerak dengan kecepatan 5 mm/tahun dan terbentang sepanjang 21,876 km sejajar dengan Sungai Grindulu dimana melewati

3 kecamatan yaitu Kecamatan Pacitan, Kecamatan Arjosari, dan Kecamatan Tegalombo (Ristanti, 2018). Berikut merupakan peta pertemuan lempeng tektonik di wilayah Indonesia dapat dilihat pada Gambar 1.1.



**Gambar 1.1 Peta Lempeng Tektonik Aktif Wilayah Indonesia**

(Sumber : Pusgen, 2017)

Bahaya pada suatu daerah akibat terjadinya gempa dipengaruhi oleh kondisi geologi dan jenis batuan yang terdapat pada daerah tersebut. Daerah yang dekat dengan episenter tidak selamanya mengalami kerusakan yang paling parah dibandingkan daerah yang jauh dari episenter. Struktur penyusun batuan yang lebih lembek dan tebal dapat meningkatkan amplifikasi gelombang sehingga menimbulkan getaran yang lebih kuat walaupun jauh dari hiposentrum. Selain itu, nilai amplifikasi dapat mengalami peningkatan pada batuan yang telah mengalami deformasi seperti sesar. Nilai amplifikasi dapat dipengaruhi oleh nilai periode dan frekuensi dominan. Nilai periode berbanding terbalik dengan nilai kecepatan geser tanah dan amplitudo getaran dipermukaan tanah dimana semakin besar nilai kecepatan geser maksimum maka semakin besar pula bahaya yang mungkin terjadi akibat gempa tersebut. Sedangkan, nilai frekuensi dominan dapat digunakan untuk mengetahui jenis dan karakteristik batuan dimana semakin besar nilai frekuensi menunjukkan semakin tipis sedimen yang ada pada daerah tersebut. Jika nilai

frekuensi yang terjadi akibat gempa pada suatu daerah mendekati frekuensi natural maka akan terjadi resonansi yang menyebabkan amplifikasi gelombang sehingga menyebabkan getaran yang dirasakan dipermukaan semakin kuat dan kerusakan yang terjadi akibat gempa semakin parah (Haerudin, Alami dan Rustasi, 2019).

Kecamatan Pacitan merupakan salah satu kecamatan di Kabupaten Pacitan yang mempunyai tingkat bahaya tinggi terhadap gempa bumi (Abdurrohman, 2020). Berdasarkan nilai bahaya tersebut maka perlu dilakukan mitigasi bencana dengan mengetahui tingkat kerentanan sehingga dapat diketahui tingkat risiko pada Kecamatan Pacitan. Penentuan nilai kerentanan dapat diperoleh dengan mengetahui ketebalan lapisan sedimen yang diperoleh dengan melakukan pengukuran mikrotremor dengan menggunakan *digital seismograph* merek Lunitek Triton 5s. Data pengukuran tersebut selanjutnya diolah untuk memperoleh nilai frekuensi dominan ( $f_o$ ) dan faktor amplifikasi ( $A_g$ ). Setelah itu, dilakukan pengolahan data yang untuk memperoleh nilai kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ), dimana nilai frekuensi dominan ( $f_o$ ) dan nilai kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) digunakan untuk memperoleh nilai ketebalan lapisan sedimen ( $h$ ). Sedangkan nilai frekuensi dominan ( $f_o$ ) dan faktor amplifikasi ( $A_g$ ) digunakan untuk memperoleh nilai indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ). Berdasarkan nilai indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) dan ketebalan lapisan sedimen ( $h$ ) nantinya akan diolah untuk mengetahui hubungan nilai tersebut sehingga dapat menggambarkan tingkat kerentanan wilayah Kecamatan Pacitan Kabupaten Pacitan. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran terkait tingkat kerentanan di Kecamatan Pacitan Kabupaten Pacitan yang dapat dipertimbangkan dalam penataan dan pengembangan wilayah.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berikut merupakan permasalahan yang akan diteliti dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana persebaran nilai indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) di Kecamatan Pacitan Kabupaten Pacitan ?



2. Bagaimana persebaran nilai ketebalan lapisan sedimen ( $h$ ) di Kecamatan Pacitan Kabupaten Pacitan ?
3. Bagaimana hubungan indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) dengan ketebalan lapisan sedimen ( $h$ ) di Kecamatan Pacitan Kabupaten Pacitan ?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Berikut merupakan tujuan penelitian yang didasarkan pada rumusan masalah tersebut adalah sebagai berikut.

1. Menentukan persebaran nilai indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) di Kecamatan Pacitan Kabupaten Pacitan.
2. Menentukan nilai ketebalan lapisan sedimen ( $h$ ) di Kecamatan Pacitan Kabupaten Pacitan.
3. Mengetahui hubungan indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) dengan ketebalan lapisan sedimen ( $h$ ) di Kecamatan Pacitan Kabupaten Pacitan.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Berikut merupakan manfaat dari adanya penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Memberikan informasi terkait kedalaman lapisan sedimen ( $h$ ) dan indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) yang digunakan dalam mitigasi bencana gempa bumi.
2. Memberikan informasi mengenai hubungan antara ketebalan lapisan sedimen ( $h$ ) dengan indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ).
3. Memberikan informasi dalam melakukan perencanaan pembangunan di Kecamatan Pacitan, Kabupaten Pacitan sehingga dapat meminimalisir kerusakan akibat gempa bumi.

### 1.5 Batasan Penelitian

Berikut merupakan batasan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Letak daerah penelitian dibatasi oleh koordinat geografis antara  $8^{\circ} 7' 30,894''$  LS –  $8^{\circ} 14' 30,894''$  LS dan  $111^{\circ} 3' 44,4672''$  BT –  $111^{\circ} 9' 37,71252''$  BT atau berada di Kecamatan Pacitan, Kabupaten Pacitan.
2. Terdapat 47 titik pengambilan data di Kecamatan Pacitan, Kabupaten Pacitan dengan interval 1,5 kilometer
3. Pengukuran getaran mikrotremor menggunakan *digital seismograph* dengan merek Lunitek Triton 5.
4. Informasi yang didapatkan pada penelitian ini berupa frekuensi dominan ( $f_0$ ), faktor amplifikasi ( $A_g$ ), ketebalan lapisan sedimen ( $h$ ), dan indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ).
5. Pengambilan data mikrotremor dilakukan dengan mengacu pada aturan yang ditetapkan oleh *SESAME European Research Project* (SESAME, 2004).

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Penelitian Terdahulu**

Pada penelitian ini digunakan beberapa referensi yang berfungsi sebagai dasar pemikiran dalam penyusunan tugas akhir ini. Referensi yang digunakan merupakan penelitian terdahulu yang hampir mirip ataupun sejenis baik lokasi penelitian ataupun metode yang digunakan dengan penelitian yang akan dilakukan. Berikut merupakan penelitian terdahulu yang digunakan sebagai referensi oleh peneliti.

##### 2.1.1 Interpretasi Lapisan Sedimen berdasarkan *Ground Profile $V_s$* dengan Pengukuran Mikrotremor di Kecamatan Pacitan

Nugroho Budi Wibowo pada tahun 2018 telah melakukan penelitian menggunakan mikrotremor untuk menginterpretasikan ketebalan lapisan sedimen di Kecamatan Pacitan menggunakan model *ground profile  $V_s$* . Ketebalan lapisan sedimen berpengaruh terhadap nilai amplifikasi getaran tanah yang terjadi pada saat terjadinya gempa bumi. Semakin besar kontras impedansi pada kedua lapisan maka dapat menaikkan nilai amplifikasi. Hal tersebut dapat menyebabkan *local site effect* yang terjadi pada suatu daerah sehingga semakin besar *local site effect* yang terjadi maka semakin besar juga kemungkinan kerusakan yang akan terjadi akibat gempa.

Pada penelitian ini dilakukan di Kecamatan Pacitan Kabupaten Pacitan dengan total 25 titik pengukuran. Pengukuran mikrotremor pada penelitian ini menggunakan alat merek TDS – 303 *Portable Seismograph* dimana setiap titik dilakukan pengukuran selama 30 menit. Dalam proses pengelolaan data dilakukan dengan metode HVSR sehingga menghasilkan kurva H/V yang digunakan sebagai *input elipcity curve*. Berdasarkan *elipcity curve* tersebut akan didapatkan nilai  $V_s$  yang digunakan untuk memperoleh nilai kedalaman sedimen.

Berdasarkan penelitian tersebut didapatkan nilai  $V_s$  yang bervariasi dari 153,11  $m/s$  (Formasi Aluvium) hingga 1393,48  $m/s$  (Formasi Batuan Terobosan Andesit). Lapisan sedimen paling tipis setebal 2,59 m berada pada formasi jaten (Tmj), sedangkan lapisan sedimen paling tebal setebal 94,37 m berada pada formasi aluvium (Qa). Kawasan Kota Pacitan, Teluk Pacitan, dan Sungai Grindulu memiliki ketebalan lapisan lebih dari 50 m.

### 2.1.2 Analisis Ketebalan Lapisan Sedimen dan Indeks Kerentanan Seismik Kota Jambi Bagian Timur

Arie Satria pada tahun 2020 telah melakukan penelitian dengan menggunakan mikrotremor untuk memperoleh nilai ketebalan lapisan sedimen dan indeks kerentanan seismik. Setelah itu, kedua parameter tersebut dibandingkan untuk mengetahui pengaruh ketebalan lapisan sedimen terhadap indeks kerentanan seismik di Kota Jambi bagian timur. Nilai ketebalan lapisan sedimen diperoleh berdasarkan parameter frekuensi dominan, sedangkan indeks kerentanan seismik didapatkan berdasarkan nilai frekuensi dominan dan faktor amplifikasi.

Lokasi penelitian dilakukan di Kota Jambi yang meliputi Kecamatan Telanaipura, Pelayangan, Pasar Jambi, Pal Merah, Kotabaru, Jelutung, Jambi Selatan, Jambi Timur, Danau Sipin, Danau Teluk, dan Alam Barajo. Dalam proses pengambilan data terdapat 25 titik penelitian dengan interval 1,98 km. Dimana setiap titik dilakukan pengambilan data selama 60 menit menggunakan alat Seismograf MAE A6000S dan Seismometer. Setelah itu, data yang sudah didapatkan kemudian diolah dengan *software* Geopsy untuk memperoleh kurva HVSR. Berdasarkan kurva tersebut nantinya akan diperoleh nilai frekuensi dominan, faktor amplifikasi, dan standar deviasi yang digunakan untuk mendapatkan nilai ketebalan lapisan sedimen dan indeks kerentanan seismik di Kota Jambi bagian timur.

Berdasarkan penelitian tersebut didapatkan nilai indeks kerentanan seismik yang relatif tinggi berada pada endapan alluvium meliputi Kelurahan Tanjung Sari, Kecamatan Jambi Timur, Pasir Panjang, Tanjung Raden hingga bagian selatan Olak Kemang, Kecamatan Danau Teluk. Selain itu, berdasarkan parameter ketebalan

lapisan sedimen dengan indeks kerentanan seismik menunjukkan hubungan yang linier. Dimana nilai indeks kerentanan seismik antara  $0,7 - 3,0 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s}$  atau termasuk kategori rendah berkorelasi dengan ketebalan lapisan sedimen antara 16,46 – 30,00 meter. Sedangkan indeks kerentanan seismik antara  $3,01 - 20,18 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s}$  atau termasuk kategori tinggi berkorelasi dengan ketebalan lapisan sedimen antara 30,01 – 60,45 meter.

### 2.1.3 *A Microtremor Survey To Identify Seismic Vulnerability Around Banda Aceh Using HVSR Analysis*

Yusron Asnawi pada tahun 2020 telah melakukan penelitian dengan menggunakan mikrotremor untuk mengetahui tingkat kerentanan sebagai dukungan dalam rencana mitigasi bencana. Penelitian ini dilakukan karena Banda Aceh memiliki segmen aktif yaitu Seulimeum dan Aceh. Hal ini diperparah dengan bentuk permukaan yang cekung dan tersusun dari tanah alluvial sehingga dapat menyebabkan amplifikasi hingga 1,5 – 2 kali.

Pengukuran mikrotremor dilakukan di Peukan Bada dengan 20 titik pengukuran dengan menggunakan seismometer. Dimana setiap titik dilakukan pengambilan data selama 45 menit. Selanjutnya data tersebut diolah dengan metode HVSR untuk mengetahui nilai frekuensi dominan dan faktor amplifikasi yang terjadi. Nilai amplifikasi sebagian besar dipengaruhi oleh kecepatan gelombang dan densitas batuan sehingga jika kecepatan gelombang semakin rendah maka amplifikasi yang terjadi semakin besar. Setelah itu, diperoleh nilai indeks kerentanan seismik berdasarkan nilai faktor amplifikasi dan frekuensi dominan.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka didapatkan bahwa 65% wilayah Peukan Bada merupakan wilayah yang rentan terhadap gempa dan didominasi oleh tanah alluvial dan endapan lumpur sebagai lapisan penyusunnya. Nilai frekuensi yang tinggi yaitu lebih dari 2,5 Hz dan periode dominan rendah yaitu kurang dari 0,5 detik dipengaruhi oleh lapisan penyusun yang kompak serta struktur batuan yang mendekati segmen Aceh. Tingkah kerentanan di Peukan Bada cukup tinggi dan sebanding dengan jenis tanah yang dapat memperkuat gelombang

seismik. Tingginya kerentanan ini diakibatkan oleh faktor geologi dari cekungan Banda Aceh.

#### 2.1.4 Mikrozonasi Indeks Kerentanan Seismik Di Kawasan Jalur Sesar Grindulu, Kabupaten Pacitan Berdasarkan Data Mikrotremor

Ulfa Fadhilah pada tahun 2021 telah melakukan penelitian dengan menggunakan mikrotremor yang nanti menjadi bahan dalam penyusunan mikrozonasi. Dalam penelitian tersebut didapatkan nilai frekuensi dominan, faktor amplifikasi, indeks kerentanan seismik dan ketebalan lapisan sedimen disekitar jalur Sesar Grindulu. Setelah itu, dilakukan analisis keterkaitan nilai *digital elevation model* (DEM) dengan keempat parameter yang telah didapatkan.

Lokasi pengukuran dilakukan pada beberapa desa, seperti Ngadirejen, Pagutan, Sedeng, Glinggingan, Gunungsari, Sumberejo, Pucangsewu, Panggok, Sematen, Sambong, Banjarsari, Tambakrejo, dan Mlati dengan total jumlah titik pengukuran sebanyak 27 titik pengukuran. Proses pengukuran tersebut dilakukan dengan durasi waktu  $\pm 30$  menit untuk setiap titiknya menggunakan *Digital Portable Seismograph* merek Taide tipe TDL – 303S. Selain itu, proses pengukuran dan analisis data yang dilakukan pada penelitian ini mengacu pada *SESAME European Research Project*.

Pengukuran dilakukan dengan frekuensi sampling 100 Hz. Hasil dari pengukuran tersebut dianalisis dengan menggunakan metode HVSR sehingga didapatkan kurva H/V yang digunakan untuk menentukan nilai frekuensi dominan dan faktor amplifikasi. Setelah itu, dilanjutkan dengan menganalisis nilai kerentanan seismik dan ketebalan lapisan sedimen.

Berdasarkan penelitian tersebut maka didapatkan kesimpulan adalah sebagai berikut.

1. Nilai frekuensi dominan yang didapatkan hasil penelitian berada antara 0,6 – 0,9 Hz. Nilai frekuensi dominan tertinggi berada pada Formasi Alluvium, sedangkan nilai frekuensi predominan terendah berada pada Formasi Arjosari. Nilai amplifikasi yang didapatkan dari hasil pengukuran berada antara nilai 3,15 – 15,30 dimana terdapat perbedaan yang signifikan antara

Formasi Jaten dan Arjosari dengan Formasi Alluvium. Nilai ketebalan lapisan sedimen yang didapatkan antara 13,22 – 335,81 m dimana nilai tertinggi berada pada Formasi Arjosari namun lebih dominan pada Formasi Alluvium, sedangkan nilai terendah berada pada Formasi Jaten. Nilai indeks kerentanan seismik yang didapatkan berdasarkan penelitian yang telah dilakukan antara 1,06 – 563,53  $s^2/cm$  dimana nilai tertinggi berada pada Formasi Alluvium yang meliputi Desa Gunungsari, Pagutan, Tremas, dan Sedayu. Sedangkan, nilai indeks kerentanan seismik terendah berada pada Formasi Arjosari.

2. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan didapatkan terdapat korelasi yang lemah antara hubungan nilai *digital elevation model* dengan keempat parameter, yaitu nilai frekuensi dominan, faktor amplifikasi, indeks kerentanan seismic, dan ketebalan lapisan sedimen.

## 2.2 Perbandingan Penelitian

Berdasarkan penjelasan diatas, maka diperoleh rincian yang terdapat pada Tabel 2.1 berikut,

**Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan**

	Penelitian Terdahulu				Penelitian Sekarang
Peneliti	Nugroho Budi Wibowo	Arie Satria	Yusran Asnawi	Ulfa Fadhilah	Elzan Faiqal Hudha
Tahun	2018	2020	2020	2021	2023
Judul Penelitian	Interpretasi Lapisan Sedimen berdasarkan <i>Ground Profile</i> Vs dengan Pengukuran Mikrotremor di Kecamatan Pacitan	Analisis Ketebalan Lapisan Sedimen dan Indeks Kerentanan Seismik Kota Jambi Bagian Timur	<i>A Microtremor Survey To Identify Seismic Vulnerability Around Banda Aceh Using HVSR Analysis</i>	Mikrozonasi Indeks Kerentanan Seismik di Kawasan Jalur Sesar Grindulu, Kabupaten Pacitan Berdasarkan Data Mikrotremor	Analisis Hubungan Indeks Kerentanan Seismik dan Ketebalan Lapisan Sedimen Terhadap Risiko Gempa Bumi di Kecamatan Pacitan Menggunakan Metode HVSR



Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

	Penelitian Terdahulu				Penelitian Sekarang
Peneliti	Nugroho Budi Wibowo	Arie Satria	Yusran Asnawi	Ulfa Fadhilah	Elzan Faiqal Hudha
<b>Tujuan Penelitian</b>	Penelitian ini memiliki tujuan yaitu menginterpretasikan ketebalan lapisan sedimen di Kecamatan Pacitan dengan mikrotremor yang diolah dengan model <i>ground profile</i> .	Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh nilai ketebalan lapisan sedimen dan indeks kerentanan seismik. Berdasarkan parameter tersebut kemudian digunakan untuk mengetahui pengaruh kedalaman sedimen terhadap	Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui tingkat kerentanan wilayah sebagai bentuk dukungan rencana mitigasi bencana di Banda Aceh	Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui mikrozonasi nilai frekuensi dominan, faktor amplifikasi, indeks kerentanan seismik, dan ketebalan lapisan sedimen. Selain itu, berdasarkan parameter tersebut nantinya akan diketahui hubungan	1. Menentukan persebaran nilai indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) di Kecamatan Pacitan, Kabupaten Pacitan. 2. Menentukan nilai ketebalan lapisan sedimen ( $h$ ) di Kecamatan Pacitan Kabupaten Pacitan.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

	Penelitian Terdahulu				Penelitian Sekarang
Peneliti	Nugroho Budi Wibowo	Arie Satria	Yusran Asnawi	Ulfa Fadhilah	Elzan Faiqal Hudha
<b>Tujuan Penelitian</b>		nilai indeks kerentanan seismik di Kota Jambi		keterkaitan keempat parameter tersebut terhadap nilai <i>digital elevation model</i> (DEM) di kawasan jalur Sesar Grindulu, Kabupaten Pacitan.	3. Mengetahui hubungan indeks kerentanan seismic ( $K_g$ ) dengan ketebalan lapisan sedimen ( $h$ ) di Kecamatan Pacitan Kabupaten Pacitan.
<b>Hasil Penelitian</b>	Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan didapatkan hasil nilai $V_s$ berkisar antara 153,11 – 1393,48 $m/s$ dimana nilai terendah	Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan didapatkan bahwa nilai indeks kerentanan seismik tinggi	Berdasarkan penelitian tersebut didapatkan bahwa 65% wilayah Peukan Bada merupakan wilayah yang cukup rentan	Nilai frekuensi dominan di wilayah penelitian berkisar antara 0,6 – 9,6 Hz dimana nilai tertinggi berada pada Formasi Arjosari.	

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

	Penelitian Terdahulu				Penelitian Sekarang
Peneliti	Nugroho Budi Wibowo	Arie Satria	Yusran Asnawi	Ulfa Fadhilah	Elzan Faiqal Hudha
<b>Hasil Penelitian</b>	pada Formasi Aluvium dan nilai tertinggi pada Formasi Batuan Terobosan Andesit. Sedangkan nilai ketebalan lapisan sedimen berkisar antara 2,59 – 94,37 m dimana nilai tertinggi berada pada Formasi Aluvium dan nilai terendah pada Formasi Jaten.	berakumulasi pada Endapan Alluvium seperti Kelurahan Tanjung Sari, Kecamatan Jambi Timur, Pasir Panjang, Tanjung Raden hingga bagian selatan Olak Kemang Kecamatan Danau Teluk. Sedangkan hubungan antara ketebalan lapisan sedimen dengan	terhadap gempa bumi. Hal ini terjadi karena lapisan penyusun tanah yang lunak atau tidak kompak yaitu tanah Alluvial dan endapan lumpur. Nilai frekuensi yang tinggi ( $f_0 > 2,5$ Hz) dan periode dominan yang rendah ( $T > 0,5$ s) dipengaruhi oleh material penyusun	Sedangkan nilai terendah berada pada Formasi Alluvium dan Formasi Arjosari. Nilai amplifikasi di wilayah penelitian berkisar antara 3,15 – 15,30. Sedangkan nilai kedalaman lapisan sedimen berkisar pada 13,22 – 335,81 m dengan nilai tertinggi berada pada	

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

	Penelitian Terdahulu				Penelitian Sekarang
Peneliti	Nugroho Budi Wibowo	Arie Satria	Yusran Asnawi	Ulfa Fadhilah	Elzan Faiqal Hudha
<b>Hasil Penelitian</b>		<p>nilai indeks kerentanan seismic menunjukkan nilai yang linier. Dimana nilai indeks kerentanan seismic dengan nilai <math>0,7 - 3,0 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s}</math> atau termasuk kategori rendah berhubungan dengan ketebalan</p>	<p>dari tanah keras dan struktur batuan yang mendekati segmen Aceh. Tingkat kerentanan yang cukup tinggi (<math>K_g &gt; 1</math>) dan sebanding dengan jenis tanah dapat terjadi faktor amplifikasi. Tingginya kerentanan ini didapatkan karena</p>	<p>Formasi Arjosari dan nilai terendah pada Formasi Jaten. Nilai indeks kerentanan seismic antara <math>1,06 - 563,53 \text{ s}^2/\text{cm}</math> dimana nilai tertinggi pada Formasi Alluvium dan nilai terendah pada Formasi Arjosari. Berdasarkan</p>	

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

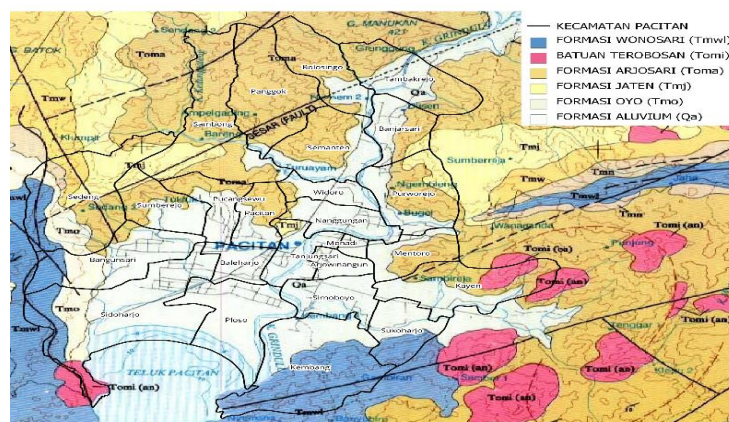
	Penelitian Terdahulu				Penelitian Sekarang
Peneliti	Nugroho Budi Wibowo	Arie Satria	Yusran Asnawi	Ulfa Fadhilah	Elzan Faiqal Hudha
Hasil Penelitian		<p>lapisan sedimen antara 16,46 – 30 m. Sedangkan nilai indeks kerentanan seismik antara <math>3,01 - 20,18 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s}</math> atau termasuk kategori tinggi berkorelasi dengan ketebalan lapisan sedimen antara 30,01 – 60,45 m.</p>	<p>faktor geologi dari cekungan Banda Aceh.</p>	<p>klasifikasi koefisien korelasi <i>pearson</i> dari hubungan keempat parameter tersebut memiliki korelasi yang lemah.</p>	

## BAB III

### LANDASAN TEORI

#### 3.1 Kondisi Geologi

Kecamatan Pacitan merupakan salah satu kecamatan yang berada di bagian selatan Kabupaten Pacitan, Jawa Timur dimana terdapat 5 kelurahan dan 20 desa yang terdapat pada wilayah tersebut. Menurut Peta Geologi Lembar Kabupaten Pacitan didapatkan bahwa Kecamatan tersusun dari 6 formasi yaitu Formasi Aluvium terdapat hampir pada seluruh wilayah Kecamatan Pacitan terkecuali Desa Panggok, Sambong, dan Sedeng. Sedangkan Formasi Wonosari terdapat pada Desa Bangunsari, Kembang, Sedeng, Sukoharjo, dan Kelurahan Sukoharjo. Formasi Oyo terdapat pada Desa Sedeng, Bangunsari, dan Kelurahan Sidoharjo. Formasi Arjosari terdapat pada Desa Banjarsari, Bolosingo, Kayen, Mentoro, Panggok, Purworejo, Sambong, Sedeng, Semanten, Sumberejo, Tambakrejo, dan Kelurahan Pucangsewu. Formasi Jaten terdapat pada Desa Purworejo, Sambong, Sedeng, dan Sumberejo. Selain itu, Batuan Terobosan terdapat pada Desa Kayen dan Kelurahan Sidoharjo. Berikut merupakan peta geologi di Kecamatan Pacitan yang dapat dilihat pada Gambar 3.1



**Gambar 3.1 Peta Geologi Kecamatan Pacitan**

(Sumber : Samodra, 1992)

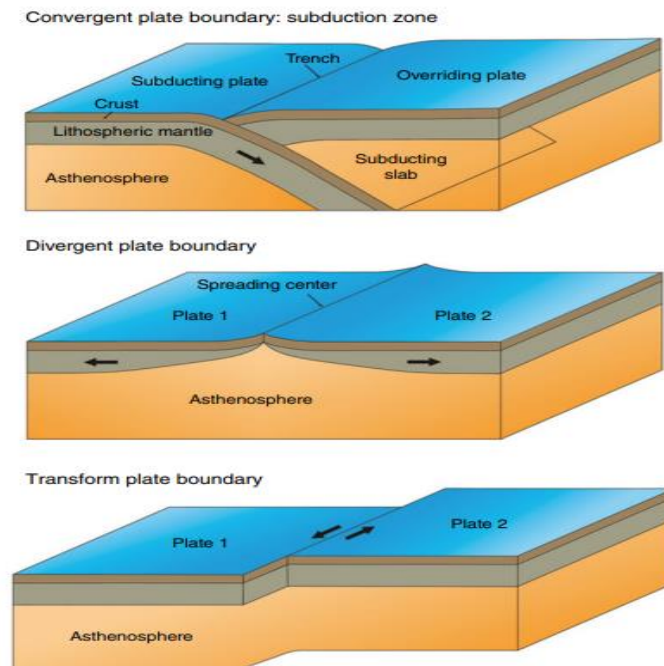
### 3.2 Gempa Bumi

Gempa bumi merupakan peristiwa bergetarnya permukaan bumi dimana kekuatannya beragam dan berpotensi untuk menghancurkan bangunan dan korban jiwa. Gempa bumi yang terjadi memiliki kekuatan yang berbeda – beda dari mulai tidak dirasakan hingga berpotensi menghancurkan suatu wilayah. Getaran tersebut dapat terjadi akibat, benturan peristiwa gunung meletus meteorit, ledakan bom, dan aktivitas manusia lainnya. Selain itu, getaran tersebut dapat terjadi akibat adanya pergerakan lempeng yang berada di permukaan bumi.

Pada permukaan bumi terdapat beberapa lempeng tektonik yang berukuran besar. Lempeng tektonik ini merupakan lapisan keras kerak bumi yang berada diatas mantel bumi yang cair dan panas sehingga dapat bergerak dan dapat saling bertumbukan di daerah perbatasan lempeng. Pergerakan lempeng yang lebih rapat bertumbukan dengan lempeng yang lebih renggang akan bergerak menyusup ke bawah. Pada pergerakan lempeng menyebabkan lempeng tersebut saling bergesekan, namun dikeadaan tertentu terjadi penguncian. Pergerakan lempeng yang terjadi secara terus – menerus menyebabkan terbentuknya energi dibagian lempeng yang terkunci. Ketika energi yang telah terakumulasi tidak dapat ditahan maka energi tersebut dapat terlepas dan dipancarkan ke segala arah berupa gelombang gempa bumi. Ketika gelombang tersebut mencapai permukaan bumi dapat menghasilkan getaran yang dapat merusak bangunan yang ada diatasnya (Wibowo, 2016).

Proses interaksi lempeng tektonik dapat terjadi pada daerah perbatasan lempeng – lempeng tektonik sehingga daerah tersebut memiliki kondisi tektonik aktif. Pada proses interaksi antar lempeng dapat terjadi 3 kemungkinan pergerakan suatu lempeng dengan lempeng lainnya, yaitu *divergen* (pergerakan saling menjauh), *konvergen* (pergerakan saling mendekat), dan *transform*. *Divergen* merupakan pergerakan lempeng yang saling menjauh sehingga diantara lempeng tersebut dapat menjadi lembah celah yang diisi dengan lava menghasilkan kepulauan vulkanik. Sedangkan, *konvergen* merupakan pergerakan lempeng saling bertumbukan di zona subduksi sehingga dapat menghasilkan gaya tekan yang menyebabkan terjadinya gempa bumi. *Transform* merupakan pergerakan lempeng

yang saling berpapasan secara horizontal dengan arah menyamping ataupun berlawanan. Dengan adanya *transform* ini maka dapat menghasilkan sesar (Fadhilah, 2021). Berikut merupakan pergerakan lempeng tektonik yang dapat dilihat pada Gambar 3.2



**Gambar 3.2 Pergerakan Lempeng Tektonik**

(Sumber : Duarte dan Schellart, 2016)

### 3.3 Gelombang Seismik

Gelombang seismik merupakan suatu rambatan energi yang disebabkan oleh gangguan yang berasal dari dasar atau permukaan bumi. Gelombang seismik juga dikenal dengan gelombang elastis dimana gelombang tersebut akan menjalar pada lapisan permukaan bumi yang mempunyai sifat elastisitas batuan yang berbeda – beda. Mekanisme perambatan gelombang ini diawali ketika gelombang seismik merambat melalui beberapa lapisan batuan yang memiliki impedansi yang berbeda. Gelombang tersebut nantinya akan terbagi dimana sebagian gelombang akan dipantulkan kembali ke permukaan dan sebagian diteruskan merambat kebawah permukaan.



Gelombang seismik ini dapat terjadi karena 2 metode yaitu metode aktif dan metode pasif. Metode aktif merupakan sumber gelombang seismik yang disebabkan oleh aktivitas manusia seperti ledakan, benda jatuh, dan getaran mesin. Sedangkan metode pasif merupakan sumber gelombang yang disebabkan oleh aktivitas alamiah seperti gempa bumi, erupsi gunung api dan longsor. Gelombang seismik terdiri dari beberapa komponen yaitu gelombang badan (*body wave*) dan gelombang permukaan (*surface wave*).

### 3.3.1 Gelombang Badan

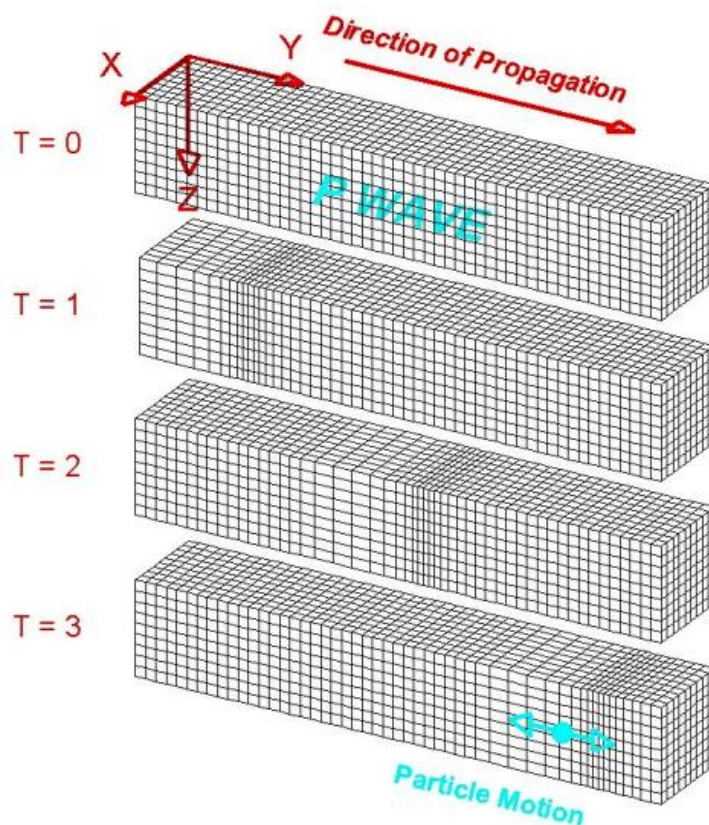
Gelombang badan adalah gelombang yang merambat melalui medium yang berada di dalam bumi. Gelombang badan juga dikenal dengan gelombang bebas karena gelombang tersebut dapat menjalar ke segala arah didalam permukaan bumi. Gelombang ini terdiri atas gelombang primer (gelombang P) dan gelombang sekunder (gelombang S).

#### 1. Gelombang primer

Gelombang primer adalah gelombang longitudinal yang bergerak sejajar dengan arah rambatannya. Gelombang ini juga dikenal dengan gelombang kompresi karena memiliki kecepatan rambatan yang paling tinggi dibandingkan dengan gelombang lainnya sehingga akan datang pertama dan memiliki frekuensi yang tinggi sehingga lebih tajam. Kecepatan gelombang primer pada batuan berkisar antara 1,8 hingga 7 km/s, sedangkan periode dari gelombang ini berkisar antara 5 hingga 10 ms. Kecepatan gelombang primer dipengaruhi oleh kekakuan batuan ( $\lambda$ ) dan kerapatan batuan ( $\rho$ ).

Gelombang primer dapat menjalar pada semua medium baik padat, cair, maupun gas sehingga gelombang ini dapat menembus inti bumi yang memiliki medium cair. Pada saat merambat, gelombang primer akan menghilang pada jarak lebih dari 130° dan tidak terlihat pada jarak kurang dari 140 ° karena terdapat inti bumi. Gelombang primer akan menyinggung permukaan inti bumi pada jarak 103° dan tidak akan terlihat pada jarak 114° karena mengenai inti bumi. Namun gelombang ini akan muncul kembali setelah menembus inti bumi (Haerudin, Alami dan Rustasi, 2019). Berikut

merupakan ilustrasi pergerakan gelombang primer yang dapat dilihat pada Gambar 3.3.

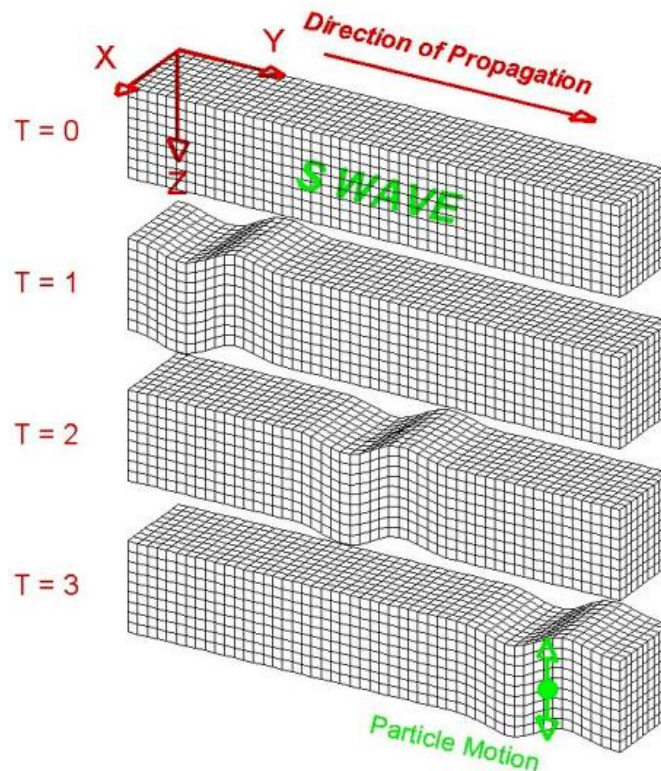


**Gambar 3.3 Gelombang Primer**

(Sumber : Braile, 2006)

## 2. Gelombang sekunder

Gelombang sekunder merupakan gelombang transversal yang merambat tegak lurus dengan arah rambatannya. Gelombang ini datang setelah gelombang primer dengan nilai amplitudo yang lebih besar dan frekuensi yang lebih rendah dimana nilai periode antara 11 hingga 13 ms. Pada saat merambat didalam bumi, gelombang ini tidak dapat melewati inti bumi. Gelombang sekunder terbentuk dari 2 gelombang yaitu gelombang horizontal dan gelombang vertikal. Berikut merupakan ilustrasi pergerakan gelombang sekunder yang dapat dilihat pada Gambar 3.4.



**Gambar 3.4 Gelombang Sekunder**

(Sumber : Braile, 2006)

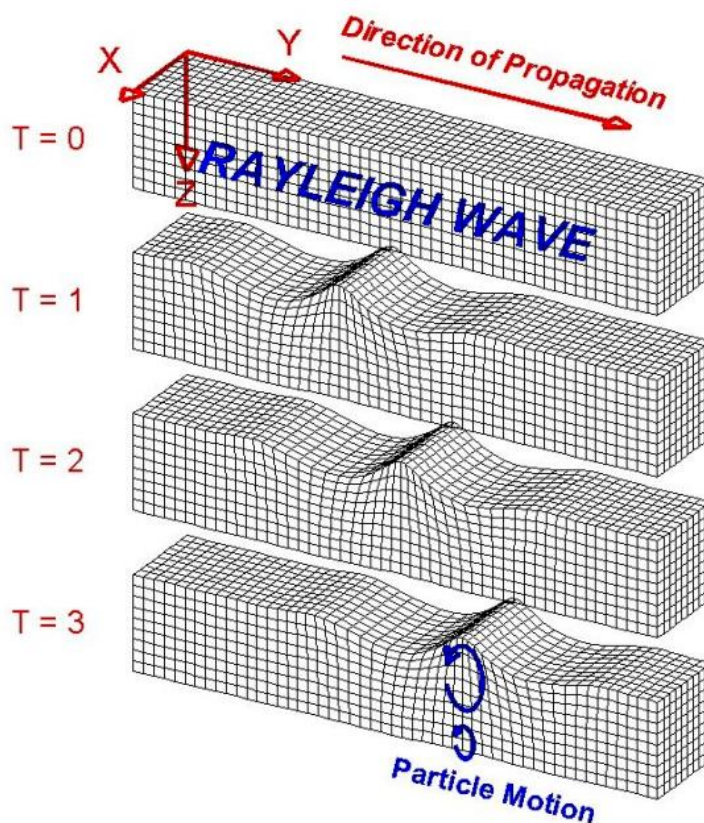
### 3.3.2 Gelombang Permukaan

Gelombang permukaan merupakan gelombang seismik yang berada pada batas permukaan medium. Pada proses penjalarannya, gelombang ini dapat merambat akibat efek *free surface* karena terdapat perbedaan sifat elastik. Gelombang permukaan memiliki nilai frekuensi yang rendah namun nilai amplitudo yang besar. Jenis dari gelombang permukaan terdapat 2 yaitu gelombang *Reyleigh* dan gelombang *Love*.

#### 1. Gelombang *Reyleigh*

Gelombang *Reyleigh* merupakan gelombang yang gerak partikelnya dari kombinasi gelombang primer dan gelombang sekunder. Gelombang ini bergerak elliptik dengan sumbu utama tegak lurus dengan permukaan dan tegak lurus dengan arah penjalarannya. Amplitudo gelombang ini dapat mengecil terhadap kedalaman gelombang tersebut. Oleh karena itu, nilai amplitudo gelombang ini terbesar pada saat di permukaan yang dangkal.

Berikut merupakan ilustrasi pergerakan gelombang *Reyleigh* yang dapat dilihat pada Gambar 3.5.



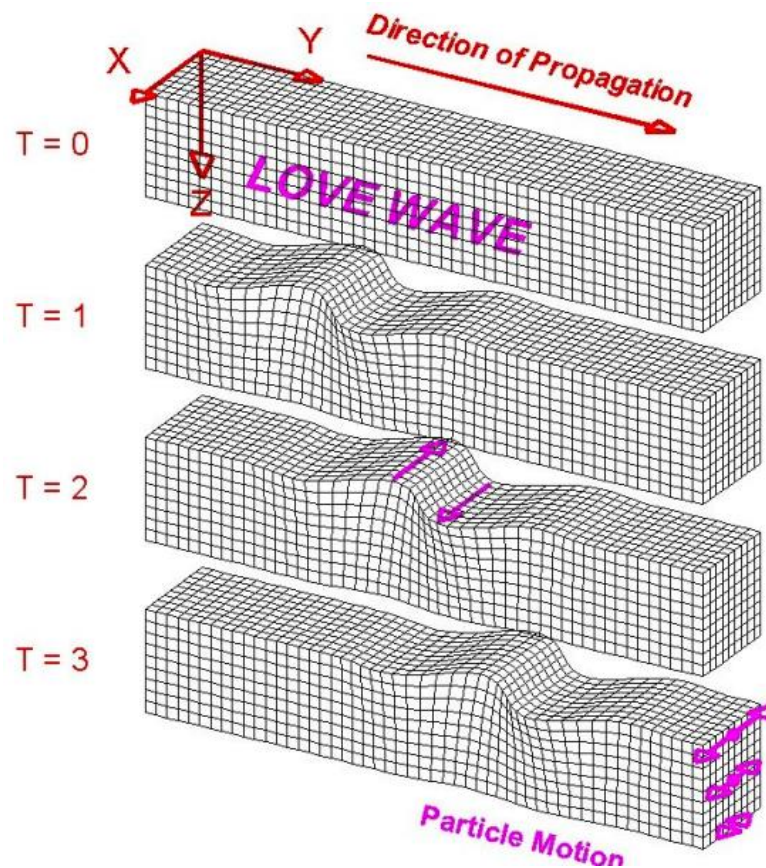
**Gambar 3.5 Gelombang Reyleigh**

(Sumber : Braile, 2006)

## 2. Gelombang *Love*

Gelombang *Love* dapat dinotasikan sebagai gelombang L atau gelombang Q. Gelombang ini merupakan gelombang transversal yang merambat pada permukaan bumi. Kecepatan gelombang *Love* dapat bervariasi sepanjang permukaan karena bergantung dengan panjang gelombang. Nilai amplitudo dari gelombang ini terbesar pada permukaan bumi karena berkurang terhadap kedalaman gelombang tersebut. Berikut merupakan ilustrasi pergerakan gelombang *Love* yang dapat dilihat pada Gambar 3.6.





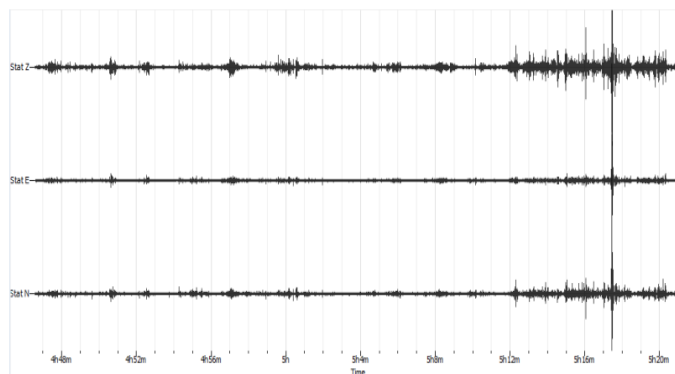
**Gambar 3.6 Gelombang Love**

(Sumber : Braile, 2006)

### 3.4 Mikrotremor

Mikrotremor atau yang biasa dikenal dengan *ambient noise* merupakan getaran pada tanah yang memiliki ukuran sangat kecil dengan secara terus menerus namun tidak dirasakan dipermukaan tanah (Kanai, 1983). Mikrotremor juga dapat diartikan sebagai getaran harmonik dengan ukuran kecil yang terjadi terus menerus, terjebak pada lapisan sedimen permukaan, dipantulkan karena adanya batas lapisan dengan frekuensi yang tetap, dan disebabkan oleh aktivitas manusia dan aktivitas alam. Getaran ini dapat terjadi akibat aktivitas manusia seperti orang yang berjalan, getaran mesin, dan aktivitas lalu lintas. Selain itu, getaran ini juga dapat terjadi akibat aktivitas alam seperti gelombang laut, hujan, angin, dan getaran alamiah tanah.

Berdasarkan pengukuran mikrotremor dapat digunakan untuk mengetahui parameter getaran dari lapisan dibawah permukaan bumi. Hal ini terjadi karena parameter getaran tersebut memiliki kaitan dengan keadaan dan kondisi struktur tanah yang berada dibawah permukaan tanah. Dalam melakukan pengukuran mikrotremor dapat dilakukan dengan menggunakan seismometer yang dapat merekam 3 komponen getaran yaitu komponen EW (*east – west*), NS (*north – south*), dan vertikal (*up – down*) (Syaifuddin *et al.*, 2016). Mikrotremor dapat diklasifikasikan berdasarkan nilai periodenya menjadi 2 jenis yaitu periode pendek dengan nilai periode kurang dari 1 detik yang menunjukkan ketebalan sedimen hanya beberapa puluh meter. Sedangkan periode panjang dengan periode lebih dari 1 detik yang menunjukkan keadaan struktur tanah yang dalam atau menunjukkan dasar batuan keras (Mirzaoglu dan Dýkmen, 2003). Berikut merupakan hasil pengukuran berupa sinyal mikrotremor yang terdiri dari 3 komponen seperti Gambar 3.7.



**Gambar 3.7 Data Mikrotremor Di Kecamatan Gantiwarno**

(Sumber : Arifudin, 2018)

### 3.5 Metode *Horizontal to Vertical Spectrum Ratio*

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengetahui karakteristik lapisan tanah yaitu dengan metode *Horizontal to Vertical Spectrum Ratio* atau dikenal dengan Metode HVSR. Metode ini efektif digunakan untuk mengetahui karakteristik tanah lapisan tanah karena biaya yang murah serta ramah terhadap lingkungan. Metode HVSR pertama kali diperkenalkan oleh Nogoshi dan Igarashi

pada tahun 1971, kemudian dikembangkan oleh Nakamura pada tahun 1989 yang menyatakan bahwa perbedaan karakteristik permukaan akan mempengaruhi efek gempa yang terjadi. Perbedaan karakteristik tersebut menyebabkan kerusakan yang terjadi saat gempa menjadi bervariasi.

Pada metode ini menyatakan bahwa terdapat hubungan antara perbandingan komponen horizontal dengan vertikal, dimana rasio antara kedua komponen tersebut dari gelombang permukaan menyatakan fungsi perpindahan. Hasil dari pengolahan data dengan metode ini adalah frekuensi dominan ( $f_o$ ) dan amplifikasi ( $A_g$ ). Berdasarkan getaran seismik horizontal dan vertikal di permukaan tanah yang mengenai lapisan batuan pada area cekungan didapatkan faktor amplifikasi dimana komponen horizontal dinotasikan sebagai  $T_H$  dan komponen vertikal dinotasikan sebagai  $T_V$ . Besarnya amplifikasi diperoleh dengan membandingkan spektrum pada permukaan tanah dengan spektrum pada batuan dasar. Adapun perhitungan nilai faktor amplifikasi horizontal dan faktor amplifikasi vertikal dapat diperoleh dengan Persamaan 3.1 dan Persamaan 3.2 dibawah ini.

$$T_H = \frac{S_{Hf}}{S_{Hb}} \quad (3.1)$$

$$T_V = \frac{S_{Vf}}{S_{Vb}} \quad (3.2)$$

Keterangan :

$T_H$  = Faktor amplifikasi gerakan horizontal

$T_V$  = Faktor amplifikasi gerakan vertikal

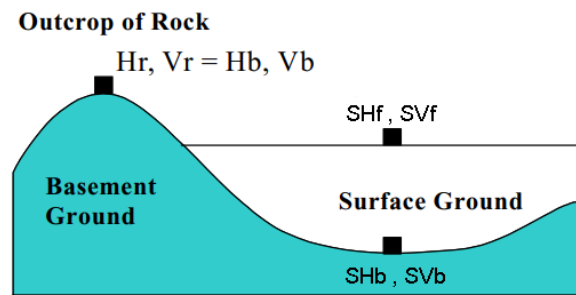
$S_{Hf}$  = Spektrum komponen horizontal di permukaan tanah

$S_{Hb}$  = Spektrum komponen horizontal di lapisan dasar

$S_{Vf}$  = Spektrum komponen vertikal di permukaan tanah

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

Berikut merupakan gambar yang mengilustrasikan faktor amplifikasi gerakan vertikal dan horizontal seperti Gambar 3.8



**Gambar 3.8 Gerakan Horizontal dan Vertikal Pada Area Cekungan**

(Sumber : Nakamura, 2000)

Pada pengukuran mikrotremor dengan seismograf terdapat 3 komponen yaitu komponen horizontal EW (*east – west*), komponen horizontal NS (*north – south*), dan komponen vertikal (*up – down*). Pada gelombang mikrotremor ini tersusun dari gelombang permukaan yaitu gelombang *Reyleigh* dan gelombang *Love* (Bonnetoy, Cotton dan Bard, 2006). Efek gelombang *Reyleigh* yang didapatkan dari pengukuran mikrotremor adalah ekuivalen dengan komponen vertikal dan horizontal sehingga rasio spektrum dibatuan dasar mendekati nilai 1. Persamaan 3.3 merupakan rumus dalam perhitungan rasio spektrum mikrotremor sebagai berikut.

$$HVSR = T_{SITE} = \frac{\sqrt{(SH_{North-South})^2 + (SH_{East-West})^2}}{SV_s} \quad (3.3)$$

Keterangan :

$T_{SITE}$  = Rasio spektrum mikrotremor

$SH_{North-South}$  = Sinyal horizontal arah utara dan selatan

$SH_{East-West}$  = Sinyal horizontal arah timur dan barat

$SV_s$  = Sinyal vertikal

### 3.6 Mikrozonasi

Mikrozonasi merupakan proses memetakan dan membagi suatu wilayah dengan memperhatikan beberapa parameter, seperti frekuensi dominan, amplifikasi, ketebalan lapisan sedimen, dan indeks kerentanan seismik. Mikrozonasi juga dapat digunakan untuk menggambarkan potensi risiko yang



mungkin terjadi akibat gempa bumi. Hal itu terjadi karena dalam melakukan penyusunan peta mikrozonasi memperhatikan kondisi geologi setempat dan topografi yang dapat berpengaruh pada kerusakan akibat gempa bumi. Dengan adanya peta mikrozonasi maka dapat memudahkan dalam melakukan pengembangan strategi penanggulangan bencana. Namun, informasi yang terdapat dalam peta mikrozonasi hanya dapat menjadi acuan pada daerah tersebut karena setiap daerah memiliki karakteristik dan potensi bahaya yang berbeda – beda.

### 3.7 Inversi Kurva HVSR

Metode inversi kurva HVSR merupakan metode yang digunakan untuk memperkirakan nilai model berdasarkan data hasil pengamatan dengan pembuatan model secara acak serta dilakukan pencocokan data untuk mendapatkan model yang terbaik (Patimah, 2017). Hasil akhir dari proses inversi tergantung dengan penentuan nilai dari setiap parameter yang mendekati data eksperimen sehingga perlu dilakukan iterasi atau pengulangan. Keakuratan dari hasil inversi dapat dilihat pada nilai *misfit*, semakin kecil nilai *misfit* pada proses iterasi maka hasil akan semakin baik. Salah satu metode yang dapat digunakan dalam melakukan inversi kurva HVSR adalah metode *Ellipticity Curve*. Pengolahan data inversi kurva HVSR dengan metode *ellipticity curve* dilakukan pada program Dinver pada *software* Geopsy dengan memasukkan beberapa parameter yang mempengaruhinya seperti kecepatan gelombang P ( $V_p$ ), kecepatan gelombang S ( $V_s$ ), densitas, dan *poisson ratio*. Selain itu, diperlukan data sekunder berupa data *borlog* yang digunakan untuk mengetahui ketebalan setiap lapisan dan jenis tanah yang ada pada sekitar lokasi penelitian. Hasil dari pengolahan data dengan metode *ellipticity curve* yaitu nilai kecepatan gelombang geser permukaan untuk setiap lapisan tanah di titik penelitian. Berdasarkan nilai gelombang geser permukaan setiap lapisan nantinya akan dihitung nilai gelombang geser permukaan hingga kedalaman 30 meter dengan menggunakan Persamaan  $V_{S30}$  sesuai dengan SNI 1726 Tahun 2019 seperti persamaan 3.4.

$$V_s30 = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n V_{si}} \quad (3.4)$$

Keterangan :

$V_s30$  = Kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 meter

$\sum_{i=1}^n d_i = 30$  Meter

$d_i$  = Tebal setiap lapisan hingga kedalaman 30 meter

$V_{si}$  = Kecepatan gelombang geser lapisan  $i$  (m/s)

### 3.8 Uji *Outlier*

*Outlier* merupakan data yang memiliki karakteristik yang unik yang dapat dilihat pada nilai hasil suatu pengamatan yang sangat berbeda jauh dengan nilai hasil dari pengamatan lainnya. Adanya nilai yang *outlier* maka dapat mengganggu hasil dari analisis yang telah dilakukan hingga pengambilan kesimpulan yang tidak akurat sehingga apabila terdapat data yang *outlier* maka dapat dikeluarkan dari proses analisis. Oleh karena itu, perlu dilakukan pendeteksian data yang mengandung *outlier* dengan melakukan uji *outlier* menggunakan metode *Z Score* atau standar baku. Adapun nilai *Z score* yang memenuhi syarat yaitu diantara -3 hingga +3. Pada uji *outlier* dilakukan perhitungan nilai rata – rata dan standar deviasi dari setiap parameter dengan persamaan 3.5, 3.6, dan 3.7.

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} \quad (3.5)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (3.6)$$

$$Z \text{ Score} = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma} \quad (3.7)$$

Keterangan :

$x_i$  = Nilai sampel

$\bar{x}$  = Rata – rata nilai sampel

$\sigma$  = Standar deviasi atau simpangan baku

Z Score = Standar Batas

### 3.9 Frekuensi Dominan ( $F_0$ )

Frekuensi dominan ( $F_0$ ) adalah jumlah gelombang alami yang sering muncul dalam rentang waktu tertentu pada suatu daerah. Frekuensi dominan ini juga dikenal dengan frekuensi alami sehingga apabila terjadi gempa bumi yang mempunyai frekuensi yang sama maka akan terjadi resonansi yang mengakibatkan terjadinya amplifikasi gelombang pada daerah tersebut. Nilai frekuensi dominan ini didapatkan dari hasil pengolahan metode HVSR pada sumbu horizontal puncak kurva H/V. Lachet dan Bard pada tahun 1995 telah melakukan penelitian pada 6 model geologi dengan variasi kecepatan dan ketebalan lapisan yang berbeda. Hasil dari penelitian tersebut didapatkan bahwa nilai frekuensi setiap model berbeda. Berdasarkan penelitian tersebut maka didapatkan bahwa nilai frekuensi dominan dipengaruhi oleh ketebalan lapisan sedimen ( $h$ ) dan kecepatan geser ( $V_s$ ) di lapisan tanah. Oleh karena itu, ketika frekuensi dominan pada suatu daerah bernilai kecil dapat menunjukkan bahwa daerah tersebut memiliki lapisan sedimen yang tebal. Selain itu, frekuensi dominan juga dapat digunakan untuk mengetahui jenis dan karakteristik lapisan tanah. Berikut merupakan Tabel 3.1 yang menjelaskan tentang klasifikasi frekuensi terhadap jenis tanah.

**Tabel 3.1 Klasifikasi Jenis Tanah Berdasarkan Nilai Frekuensi Dominan Mikrotremor oleh Kanai**

Klasifikasi Tanah		Frekuensi Dominan (Hz)	Klasifikasi Kanai	Deskripsi
Tipe	Jenis			
IV	I	6,667 – 20	Batuan tersier atau lebih tua yang terdiri dari batuan <i>gravel, hard sandy</i> , dll	Ketebalan lapisan sedimen permukaan sangat tipis dan didominasi oleh lapisan batuan keras
	II	4 – 10	Batuan alluvial dengan ketebalan 5 meter yang terdiri dari <i>loam, sandy hard clay, sandy – gravel</i> , dll	Ketebalan lapisan sedimen antara 5 – 10 meter dan masuk kedalam kategori menengah

Sumber : Arifin et al. (2014)

**Lanjutan Tabel 3.1 Klasifikasi Jenis Tanah Berdasarkan Nilai Frekuensi Dominan Mikrotremor oleh Kanai**

Klasifikasi Tanah		Frekuensi Dominan (Hz)	Klasifikasi Kanai	Deskripsi
Tipe	Jenis			
III	III	2,5 – 4	Batuan alluvial dengan ketebalan >5 meter yang terdiri dari <i>loam, sandy hard clay, sandy – gravel</i> , dll	Ketebalan lapisan sedimen antara 10 – 30 meter dan masuk kedalam kategori tebal
II	IV	< 2,5	Batuan alluvial yang terbentuk dari sedimentasi <i>top soil</i> , delta, lumpur, dll dengan kedalaman 30 meter atau lebih	Ketebalan lapisan sedimen masuk kedalam kategori sangat tebal

Sumber : Arifin et al. (2014)

### 3.10 Faktor Amplifikasi ( $A_g$ )

Amplifikasi merupakan penguatan atau perbesaran gelombang yang terjadi akibat perbedaan yang signifikan impedansi lapisan bawah dengan lapisan yang ada di atasnya. Amplifikasi pada suatu tanah dapat terjadi ketika gelombang yang merambat pada suatu lapisan yang lebih lunak dari pada lapisan sebelumnya. Apabila perbedaan impedansi tersebut semakin besar maka akan mempengaruhi nilai amplifikasi yang semakin besar pula dan begitu pula sebaliknya. Hal itu dapat terjadi karena lapisan tanah yang lembek akan memperlambat durasi dan meningkatkan frekuensi gelombang untuk menjalar sehingga ketika gelombang tersebut memiliki nilai yang sama dengan frekuensi natural akan terjadi amplifikasi. Oleh karena itu, semakin tinggi nilai faktor amplifikasi yang terjadi dapat meningkatkan risiko kerusakan yang terjadi pada suatu wilayah.

Pada kurva H/V, nilai amplifikasi didapatkan pada puncak kurva frekuensi dominan yang sering muncul. Nilai amplifikasi tersebut juga menjelaskan nilai amplitudo maksimal yang terjadi pada gelombang. Nilai amplifikasi dapat bertambah apabila batuan telah mengalami deformasi sehingga mengubah sifat fisik batuan sehingga pada jenis batuan yang sama dapat memiliki nilai amplifikasi yang

berbeda. Nilai amplitudo dapat diklasifikasikan menjadi beberapa kelas seperti pada Tabel 3.2 sebagai berikut.

**Tabel 3.2 Klasifikasi Nilai Amplifikasi**

Klasifikasi	Nilai Amplifikasi
Rendah	$A_g < 3$
Sedang	$3 \leq A_g < 6$
Tinggi	$6 \leq A_g < 9$
Sangat Tinggi	$A_g \geq 9$

Sumber : Setiawan (2009)

### 3.11 Ketebalan Lapisan Sedimen ( $h$ )

Ketebalan lapisan sedimen adalah ketebalan dari lapisan lapuk atau lunak pada lapisan tanah yang berada diatas lapisan batuan dasar atau *bedrock*. Lapisan sedimen dapat terbentuk karena akumulasi bahan yang telah terlepas dari batuan sebelumnya yang kemudian mengalami pembatuan dan tidak mengalami pembantuan. Lapisan bahan yang terlepas namun tidak mengalami pembantuan yang nantinya menjadi lapisan sedimen. Ketebalan lapisan pada suatu daerah dapat mempengaruhi kecepatan gelombang badan dimana pada lapisan sedimen memiliki kecepatan geser gelombang bernilai kecil sedangkan pada lapisan batuan dasar memiliki kecepatan gelombang relatif lebih besar (Lubis *et al.*, 2021). Nilai kecepatan gelombang dapat diklasifikasikan menjadi beberapa kelas seperti pada Tabel 3.3 berikut.

**Tabel 3.3 Klasifikasi Jenis Batuan Berdasarkan Nilai  $V_s$**

Tipe Batuan	Jenis Batuan	Nilai $V_s$ ( $m/s$ )
A	Batuan keras	$>1500$
B	Batuan sedang	$750 - 1500$
C	Tanah keras	$350 - 750$
D	Tanah sedang	$175 - 350$
E	Tanah lunak	$<175$

Sumber : Lubis et al (2021)

Selain itu, ketebalan lapisan sedimen dapat mempengaruhi frekuensi dominan, dimana frekuensi dominan berbanding terbalik dengan nilai ketebalan lapisan sedimen. Semakin besar nilai frekuensi dominan yang terjadi menunjukkan ketebalan lapisan sedimen tersebut semakin tipis, sebaliknya pada saat nilai frekuensi dominan kecil menunjukkan semakin tebal lapisan sedimen pada wilayah tersebut. Persamaan 3.4 merupakan rumus yang digunakan untuk menghitung nilai ketebalan lapisan sedimen sekaligus untuk mengetahui hubungan antara frekuensi dominan ( $f_0$ ) dan kecepatan geser tanah pada kedalaman 30 meter ( $V_s30$ ) dengan ketebalan lapisan sedimen ( $h$ ).

$$h = \frac{V_s30}{4f_0} \quad (3.8)$$

Keterangan :

$h$  = Ketebalan lapisan sedimen (m)

$V_s30$  = Kecepatan geser tanah hingga kedalaman 30 meter ( $m/s$ )

$F_0$  = Frekuensi dominan (Hz)

### 3.12 Indeks Kerentanan Seismik ( $K_g$ )

Indeks kerentanan seismik atau indeks kerentanan gempa merupakan parameter yang menggambarkan tingkat kerentanan lapisan permukaan tanah terhadap deformasi akibat terjadinya gempa bumi. Indeks kerentanan seismik pada suatu wilayah mempunyai hubungan yang linier terhadap kerusakan yang terjadi akibat gempa bumi. Jika suatu wilayah mempunyai nilai indeks kerentanan seismik yang tinggi maka tingkat risiko kerusakan akibat gempa juga akan tinggi. Sebaliknya, jika nilai indeks kerentanan seismik memiliki nilai kecil maka tingkat resiko kerusakan yang terjadi akibat gempa bernilai kecil. Dalam menentukan nilai indeks kerentanan seismik, faktor geologi menjadi salah satu yang perlu diperhatikan. Indeks kerentanan seismik dapat bernilai tinggi pada wilayah yang mempunyai nilai frekuensi dominan yang rendah. Nilai frekuensi dominan yang rendah menjelaskan bahwa wilayah tersebut mempunyai ketebalan lapisan sedimen

yang tebal yang disertai dengan amplifikasi sehingga membuat nilai indeks kerentanan seismik menjadi lebih besar. Hubungan antara amplifikasi ( $A_g$ ) dan frekuensi dominan ( $F_0$ ) dapat dilihat pada Persamaan 3.5 sebagai berikut.

$$K_g = \frac{A_g^2}{F_0} \quad (3.9)$$

Keterangan :

$K_g$  = Indeks Kerentanan Seismik

$A_g$  = Faktor Amplifikasi

$F_0$  = Frekuensi dominan (Hz)

**Tabel 3.4 Klasifikasi Nilai Indeks Kerentanan Seismik**

No.	Indeks Kerentanan Seismik	Keterangan
1	$K_g < 10$	Rendah
2	$10 < K_g < 20$	Sedang
3	$K_g > 20$	Tinggi

Sumber : (Daryono, et al., 2009)

### 3.13 Hubungan Ketebalan Lapisan Sedimen dengan Indeks Kerentanan Seismik

Kerusakan yang terjadi akibat gempa bumi dipengaruhi oleh kondisi geologi disekitar wilayah tersebut. Suatu wilayah yang memiliki geologi sama dapat menghasilkan efek yang berbeda terhadap getaran yang diakibatkan oleh gempa bumi dikarenakan karakteristik penyusun pada formasi tersebut atau yang sering dikenal dengan *local site effect*. Menurut Nakamura pada tahun 1997 bahwa tingkat kerentanan tanah terhadap deformasi pada saat terjadi gempa bumi dapat digambarkan dengan indeks kerentanan seismik. Sementara itu, tingkat kerentanan seismik suatu wilayah dipengaruhi oleh ketebalan lapisan sedimen, dimana semakin tipis lapisan sedimen maka indeks kerentanan seismik juga semakin kecil dan sebaliknya (Rusdin *et al.*, 2018). Dalam mengetahui hubungan antara ketebalan

sedimen dengan indeks kerentanan seismik perlu dilakukan analisis regresi linier dan analisis korelasi terhadap 2 variabel tersebut.

Analisis korelasi adalah merupakan metode yang digunakan untuk mengetahui kekuatan hubungan dan arah hubungan dari dua variabel. Hasil dari analisis korelasi menghasilkan sebuah nilai koefisien yang menunjukkan seberapa besar kekuatan dan arah hubungan tersebut. Koefisien korelasi tersebut berkisar antara -1 hingga 1, dimana jika nilai tersebut mendekati -1 atau 1 maka menandakan hubungan antara 2 variabel tersebut semakin kuat, namun apabila nilai tersebut mendekati 0 menandakan bahwa korelasi antara 2 variabel tersebut semakin lemah. Selain itu, nilai positif dalam koefisien korelasi menunjukkan bahwa hubungan antara 2 variabel tersebut searah dan nilai negatif menunjukkan bahwa hubungan antara 2 variabel tersebut berbanding terbalik. Adapun persamaan yang digunakan dalam analisis korelasi adalah sebagai berikut.

$$r = \frac{n(\Sigma xy) - (\Sigma x)(\Sigma y)}{\sqrt{(n(\Sigma x^2) - (\Sigma x)^2)(n(\Sigma y^2) - (\Sigma y)^2)}} \quad (3.10)$$

Keterangan :

- n = Banyaknya sampel
- x = Nilai variabel bebas
- y = Nilai variabel terikat

**Tabel 3.5 Klasifikasi Koefisien Korelasi**

No	Koefisien Korelasi	Keterangan
1	0,00 – 0,10	Korelasi Diabaikan
2	0,10 – 0,39	Korelasi Lemah
3	0,40 – 0,69	Korelasi Sedang
4	0,70 – 0,89	Korelasi Kuat
5	0,90 – 1,00	Korelasi Sangat Kuat

Sumber : (Schober dan Boer, 2018)

Setelah didapatkan koefisien korelasi maka dapat dilanjutkan dengan uji regresi linier. Regresi linier linier merupakan metode yang digunakan untuk



mengetahui besarnya pengaruh satu variabel atau lebih terhadap satu variabel lainnya. Dalam pengujian regresi, variabel yang dapat mempengaruhi disebut dengan variabel bebas. Sedangkan, variabel yang dapat dipengaruhi oleh variabel bebas disebut dengan variabel terikat. Adapun beberapa fungsi yang digunakan dalam perhitungan regresi linier adalah sebagai berikut.

$$y = a + bx \quad (3.11)$$

$$a = \frac{(\Sigma Y)(\Sigma X^2) - (\Sigma X)(\Sigma XY)}{n \times \Sigma X^2 - (\Sigma X)^2} \quad (3.12)$$

$$b = \frac{n(\Sigma XY) - (\Sigma X)(\Sigma Y)}{n \Sigma X^2 - (\Sigma X)^2} \quad (3.13)$$

Keterangan :

$y$  = Prediksi nilai variabel respon / dependen

$a$  = konstanta

$b$  = koefisien variabel prediktor

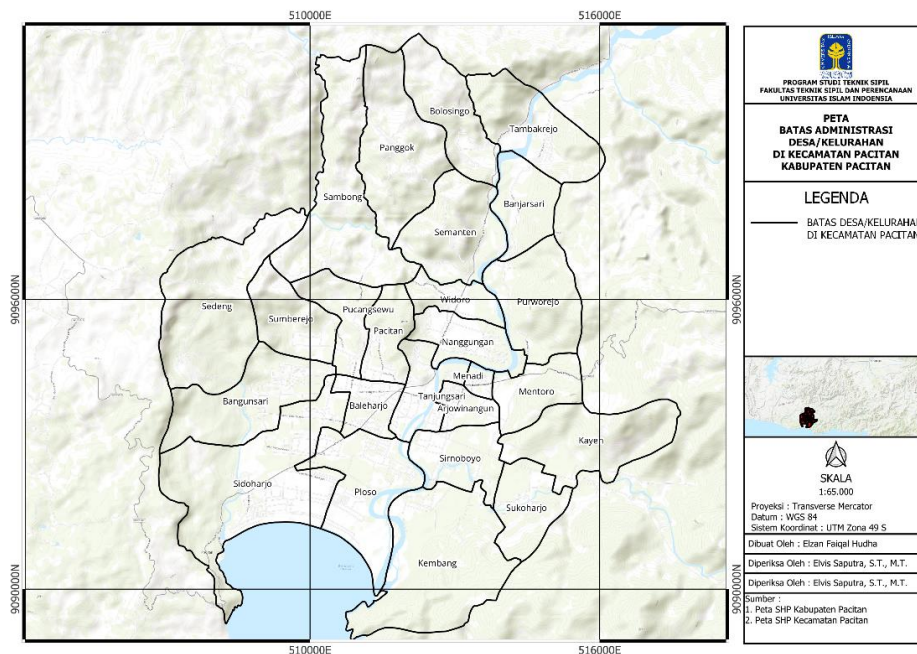
$x$  = Nilai variabel prediktor / independen

## BAB IV

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 4.1 Lokasi Penelitian

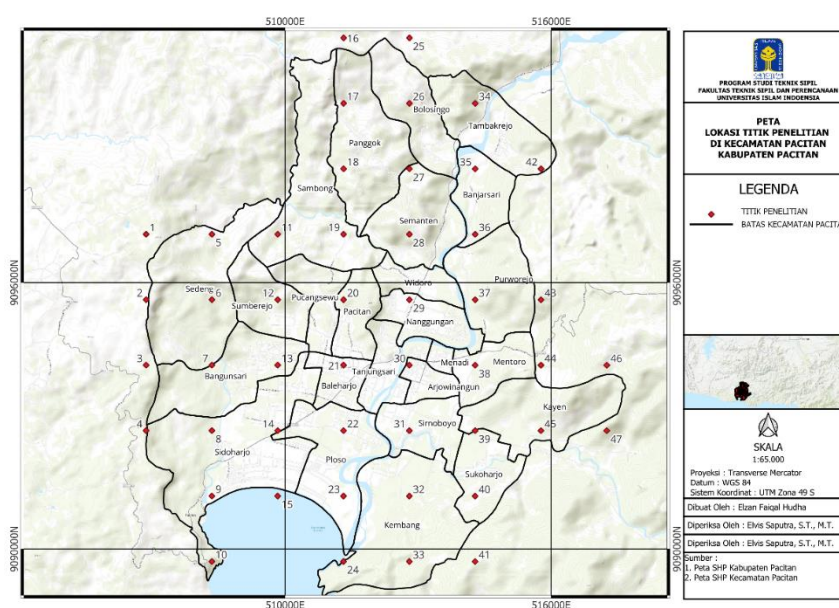
Penelitian ini dilakukan pada wilayah Kecamatan Pacitan, Kabupaten Pacitan. Berdasarkan koordinat geografis yaitu berada diantara  $8^{\circ} 7' 30,894''$  LS –  $8^{\circ} 14' 30,894''$  LS dan  $111^{\circ} 3' 44,4672''$  BT –  $111^{\circ} 9' 37,71252''$  BT. Kecamatan ini memiliki 5 kelurahan yaitu Baleharjo, Pacitan, Ploso, Pucangsewu, dan Sidoharjo serta 20 desa yaitu Banjarsari, Bolosingo, Arjowinangun, Bangunsari, Kayen, Kembang, Menadi, Mentoro, Nanggungun, Ponggak, Purworejo, Sambong, Sedeng, Semanten, Sinorboyo, Sukoharjo, Sumberharjo, Tambakrejo, Tanjungsari, dan Widoro. Berikut Gambar 4.1 yang menggambarkan batas administrasi Kecamatan Pacitan, Kabupaten Pacitan.



**Gambar 4.1 Batas Administrasi Kelurahan di Kecamatan Pacitan**

## 4.2 Peralatan dan Teknik Pengumpulan Data

Data mikrotremor didapatkan dengan melakukan pengambilan data secara langsung di titik pengukuran yang sudah ditentukan pada daerah penelitian. Titik pengukuran tersebut dibuat berupa *grid* dengan interval jarak setiap titik adalah  $\pm 1,5\text{km} \times 1,5\text{km}$ . Dalam melakukan pengambilan data digunakan alat *digital seismograph* merek Lunitek Triton 5s. Berikut merupakan Gambar 4.2 yang menggambarkan titik pengukuran dalam penelitian ini.



**Gambar 4.2 Lokasi Titik Penelitian**

### 4.2.1 Peralatan

Peralatan atau perangkat yang digunakan dalam penelitian ini dibagi menjadi 2 jenis, yaitu perangkat lunak (*software*) dan perangkat keras (*hardware*).

#### 1. Perangkat Lunak (*Software*)

Perangkat lunak merupakan peralatan yang berhubungan dengan penggunaan alat elektronik

- a. QGIS 3.24.1 berfungsi untuk menentukan titik penelitian dan pembuatan peta penelitian.
- b. ArcMaps 10.8 berfungsi untuk membuat peta persebaran hasil pengolahan data.

- c. Google Maps berfungsi sebagai petunjuk arah menuju lokasi titik penelitian.
  - d. Web Lunitek berfungsi untuk mengatur perangkat perekaman.
  - e. Sesarry Geopsy berfungsi untuk menganalisis dan memilih sinyal mikrotremor tanpa gangguan dengan proses *windowing* dan *cutting*.
  - f. Dinver pada *software* Sesarry Geopsy berfungsi untuk menganalisis kurva H/V dengan metode *ellipticity curve* sehingga diperoleh nilai kecepatan gelombang ( $V_s$ ) dan kedalaman sedimen ( $h$ ).
  - g. Microsoft Excel 2019 berfungsi untuk mengolah data.
  - h. Microsoft Word 2019 berfungsi untuk penyusunan laporan penelitian.
  - i. IBM SPSS berfungsi untuk analisis korelasi dan regresi linier.
2. Perangkat Keras (*Hardware*)
- a. Lunitek Triton 5s berfungsi untuk merekam getaran tanah yang terjadi.
  - b. *WIFI* Antenna atau *Ethernet Cable* berfungsi untuk menghubungkan antar perangkat.
  - c. *Global Positioning System* (GPS) Antenna berfungsi untuk memperoleh data posisi titik pengukuran.
  - d. Baterai type 18650 3400 mAh 3,7 Volt berfungsi sebagai sumber daya perangkat perekam.
  - e. Adaptor dan *Power Cable* berfungsi untuk sumber aliran daya pada pengisian baterai.
  - f. *Flashdisk* berfungsi untuk menyimpan data penelitian.
  - g. Laptop berfungsi sebagai perangkat dalam melakukan pengelolaan data dan penulisan laporan.
  - h. Lembar *Checklist* pengukuran data penelitian.

Guna mengetahui secara lebih jelas, perangkat keras (*hardware*) yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.3 sebagai berikut.



**Gambar 4.3 Perangkat Keras yang Digunakan**

#### 4.2.2 Teknik Pengumpulan Data

Sebelum melakukan penelitian, langkah awal yang dilakukan adalah melakukan desain titik lokasi penelitian. Proses pendesainan ini dilakukan dengan menggunakan *software* QGIS 3.24.1, dimana langkah awal yang dilakukan yaitu *menginput* beberapa data seperti batas administrasi wilayah penelitian dan peta geologi lembar Pacitan. Setelah itu, dilanjutkan dengan pembuatan *grid* berbentuk segiempat dengan interval setiap titik sejauh  $\pm 1,5 \text{ km} \times 1,5 \text{ km}$ . Selanjutnya titik koordinat yang telah diperoleh dapat dimasukkan kedalam Google Maps yang bertujuan untuk memudahkan dalam menemukan titik tersebut.

Pengukuran data mikrotremor yang digunakan dalam penelitian ini dilakukan secara langsung dilokasi penelitian. Dalam melakukan pengukuran dilakukan selama  $\pm 30$  menit untuk setiap titik. Selain itu, dalam melakukan pengukuran harus

dilakukan sesuai dengan aturan yang telah ditetapkan oleh *SESAME European Research Project* yang berkaitan dengan standar dan syarat pengukuran mikrotremor seperti pada Tabel 4.1. Terdapat 2 jenis data yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu :

1. Data Primer

Data primer yang digunakan dalam penelitian ini yaitu berupa data mikrotremor. Data mikrotremor ini didapatkan melalui perekaman getaran tanah yang akan menghasilkan 3 komponen gelombang, yaitu gelombang horizontal EW (*east – west*), gelombang horizontal NS (*north – south*), dan gelombang vertikal (*up – down*). Setelah itu, data yang telah diperoleh dapat disimpan dengan format *.mseed*. Hasil dari pengukuran tersebut nantinya dapat diolah dengan menggunakan *software* Geopsy sehingga diperoleh parameter yang dibutuhkan dalam penelitian ini.

2. Data Sekunder

Data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini yaitu berupa data borlog dan data pendukung lainnya dari lapisan tanah di sekitar daerah penelitian. Data ini diperoleh berdasarkan studi pustaka dari laporan hasil penelitian yang ada di wilayah tersebut.

**Tabel 4.1 Standart dan Syarat Pengukuran oleh SESAME**

Jenis Parameter	Saran yang dianjurkan	
Durasi pencatatan	$f_0$ minimum yang diharapkan (Hz)	Durasi pencatatan minimum yang disarankan (menit)
	0,2	30
	0,5	20
	1	10
	2	5
	5	3
	10	2
<i>Coupling soil – sensor alami (in situ)</i>	1. Atur sensor langsung pada permukaan tanah 2. Hindari menempatkan sensor seismograf pada permukaan tanah yang lunak (lumpur dan semak – semak) atau tanah lunak setelah hujan	

Lanjutan Tabel 4.1 Standart dan Syarat Pengukuran oleh SESAME

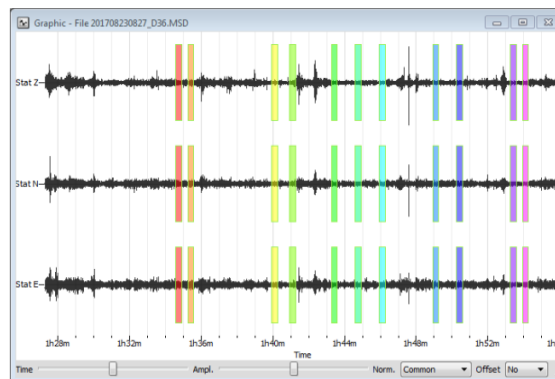
Jenis Parameter	Saran yang dianjurkan
<i>Coupling soil – sensor</i> buatan atau <i>artificial</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Hindari lempengan yang terbuat dari material lunak seperti karet atau busa</li> <li>2. Pada kemiringan yang curam di mana sulit mendapatkan kedataran sensor yang baik maka pasang sensor pada timbunan pasir atau wadah yang diisi pasir</li> </ol>
Keberadaan bangunan atau pohon	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Hindari pengukuran dekat dengan bangunan, gedung bertingkat, dan pohon jika kecepatan angin di atas <math>\pm 5 \text{ m/s}</math></li> <li>2. Hindari pengukuran pada parkir, pipa air, dan gorong-gorong</li> </ol>
Kondisi cuaca	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Suhu : Mengecek kondisi sensor dan mengikuti penjelasan pabrik</li> <li>2. Hujan : Hindari pengukuran pada saat hujan lebat</li> <li>3. Angin : Lindungi sensor ketika kecepatan angin lebih dari <math>5 \text{ m/s}</math></li> </ol>
Sumber Gangguan	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sumber monokromatik : Hindari pengukuran dekat dengan mesin, industri, pompa air, dan generator</li> <li>2. Sumber sementara : Jika terdapat gangguan seperti langkah kaki dan kendaraan yang melintas maka tambahkan durasi pengukuran</li> </ol>

Sumber : Haerudin et al. (2019)

### 4.3 Pengolahan Data

#### 4.3.1 Pengolahan Data Mikrotremor

Metode yang digunakan dalam pengelolaan data mikrotremor dalam penelitian ini adalah *Horizontal to Vertical Ratio* (HVSR). Hasil dari pengukuran maka akan menghasilkan 3 komponen getaran gelombang horizontal EW (*east – west*), gelombang horizontal NS (*north – south*), dan gelombang vertikal (*up – down*) kemudian disimpan dengan format *file* .mseed. Setelah itu, data mikrotremor tersebut dilakukan proses *windowing* dan *cutting*. Proses *windowing* dan *cutting* ini bertujuan untuk membagi dan memilih sinyal tanpa gangguan secara manual dengan menggunakan *software* Geopsy. Hasil dari proses ini menghasilkan kurva H/V yang kemudian disimpan dengan format *file* .hv. Berdasarkan kurva H/V tersebut nantinya akan dapat diketahui nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) dan faktor amplifikasi ( $A_g$ ). Berikut Gambar 4.4 contoh dari proses *windowing* dan *cutting* pada data mikrotremor.

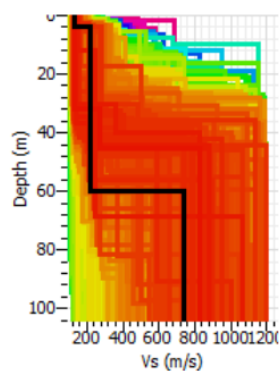


**Gambar 4.4** Proses *Windowing* dan *Cutting* Sinyal Mikrotremor

(Sumber : Zuliyanti, 2018)

#### 4.3.2 Analisis Kurva H/V Menggunakan Metode *Ellipticity Curve*

Berdasarkan kurva H/V yang telah didapatkan pada proses sebelumnya dapat digunakan sebagai *input* data pada metode *ellipticity curve*. Pada proses ini dilakukan dengan menggunakan program Dinver pada *software* Geopsy. Hasil dari proses dengan menggunakan metode ini adalah *ground profiles* kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ). Nilai  $V_s$  yang didapatkan sangat berpengaruh berdasarkan nilai *input* parameter yang menggambarkan karakteristik tanah disekitar daerah penelitian seperti nilai kecepatan gelombang S ( $V_s$ ), kecepatan gelombang P ( $V_p$ ), *poisson ratio*, dan densitas batuan. Garis hitam yang ada pada *ground profiles* menunjukkan model dengan nilai *misfit* paling baik.



**Gambar 4.5** *Ground Profiles* Kecepatan ( $V_s$ )

(Sumber : Zuliyanti, 2018)



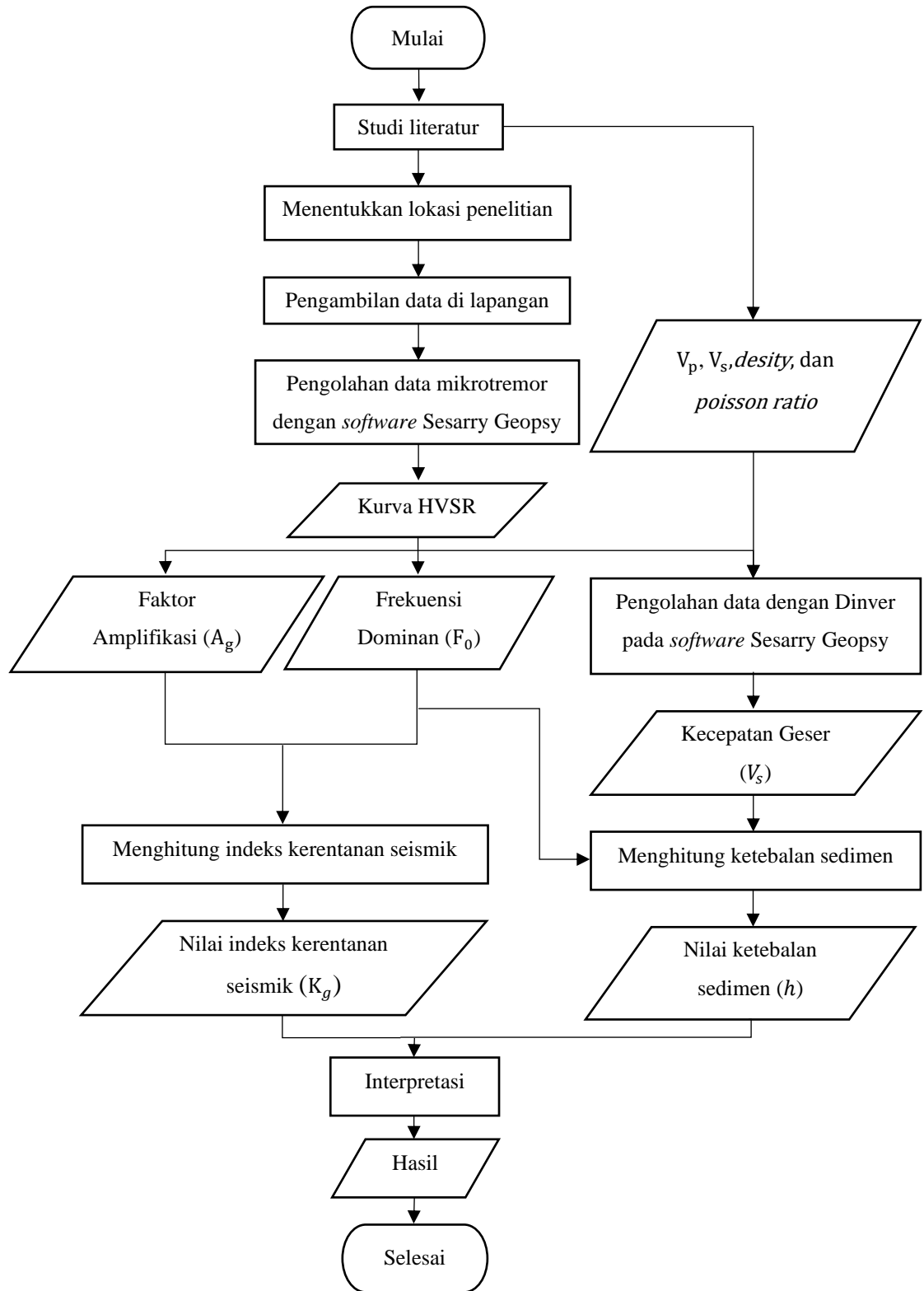
#### **4.3.3 Perhitungan Ketebalan Lapisan Sedimen ( $h$ )**

Nilai ketebalan lapisan sedimen didapatkan dari perhitungan dengan menggunakan Persamaan 3.4. Nilai frekuensi dominan yang digunakan berasal dari pengolahan data dengan menggunakan *software* Geopsy. Sedangkan nilai kecepatan gelombang geser yang digunakan dari hasil inversi kurva HVSR dengan program Dinver pada *software* Geopsy. Setelah itu, nilai ketebalan tersebut dipetakan untuk mengetahui persebaran distribusi nilai tersebut.

#### **4.3.4 Perhitungan Indeks Kerentanan Seismik ( $K_g$ )**

Nilai indeks kerentanan seismik dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.5. Dalam melakukan perhitungan nilai indeks kerentanan seismik dibutuhkan nilai frekuensi dominan dan faktor amplifikasi. Setelah itu, nilai indeks kerentanan seismik yang telah diperoleh dapat dipetakan untuk mengetahui persebaran distribusi nilai tersebut. Berdasarkan nilai indeks kerentanan seismik dan ketebalan lapisan sedimen maka dapat dilakukan perhitungan untuk mengetahui hubungan dari kedua nilai tersebut.

#### 4.4 Diagram Alir Penelitian



Gambar 4.6 Diagram Alir Penelitian

## **BAB V**

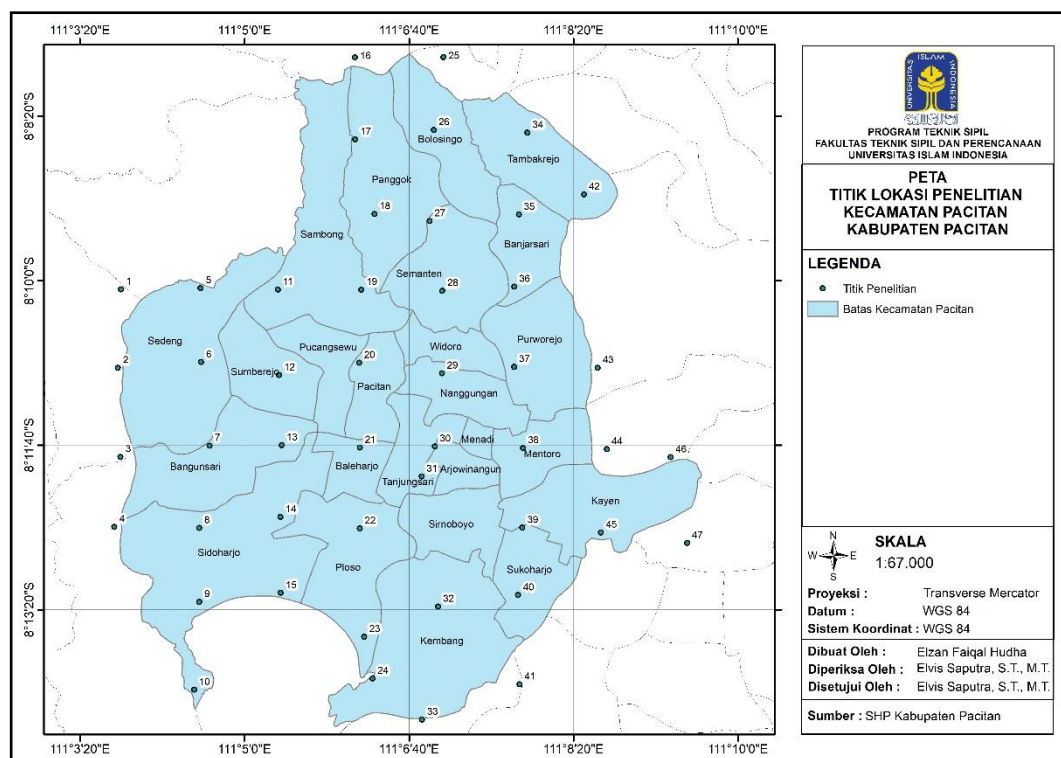
### **ANALISIS, HASIL, DAN PEMBAHASAN**

Penelitian mengenai analisis ketebalan sedimen dan indeks kerentanan seismik di Kecamatan Pacitan, Kabupaten Pacitan menggunakan data mikrotremor pada lapangan menghasilkan beberapa parameter mengenai karakteristik tanah yaitu frekuensi dominan ( $f_0$ ), faktor amplifikasi ( $A_g$ ), dan kecepatan geser tanah ( $V_s$ ). Berdasarkan beberapa parameter tersebut kemudian dianalisis sehingga menghasilkan nilai ketebalan lapisan sedimen ( $h$ ) dan indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ). Pada penelitian ini, langkah awal yang dilakukan adalah mencari lokasi penelitian yang tertera pada Gambar 4.2. Langkah selanjutnya yaitu melakukan pengaturan alat *digital seismograph* merek Lunitek Triton 5s dengan memasang komponen seperti *GPS*, *wifi*, dan baterai. Setelah itu, dilanjutkan dengan memposisikan alat agar menghadap kearah utara dengan menggunakan bantuan kompas dan mengatur ketinggian alat dengan melihat *nivo* sehingga berada ditengah. Ketika pengaturan alat telah selesai maka tekan tombol *power* hingga berbunyi “*beep*” pertama yang menandakan alat telah menyala dan tunggu hingga hingga alat berbunyi “*beep*” kedua yang menandakan alat sudah mulai melakukan perekaman. Pada saat proses pengukuran dapat dilihat secara *realtime* hasil pengukuran dengan menggunakan laptop yang telah tersambung dengan *wifi* alat perekam pada *website* yang telah tersedia. Setelah proses pengukuran selesai maka alat dapat dimatikan melalui laptop dan data hasil pengukuran akan tersimpan pada memori alat perekam serta dapat diunduh untuk digunakan pada tahap selanjutnya.

#### **5.1 Analisis Data Mikrotremor**

Penelitian mengenai analisis ketebalan lapisan sedimen dan indeks kerentanan seismik di Kecamatan Pacitan, Kabupaten Pacitan dengan menggunakan mikrotremor dilakukan secara merata pada kecamatan tersebut.

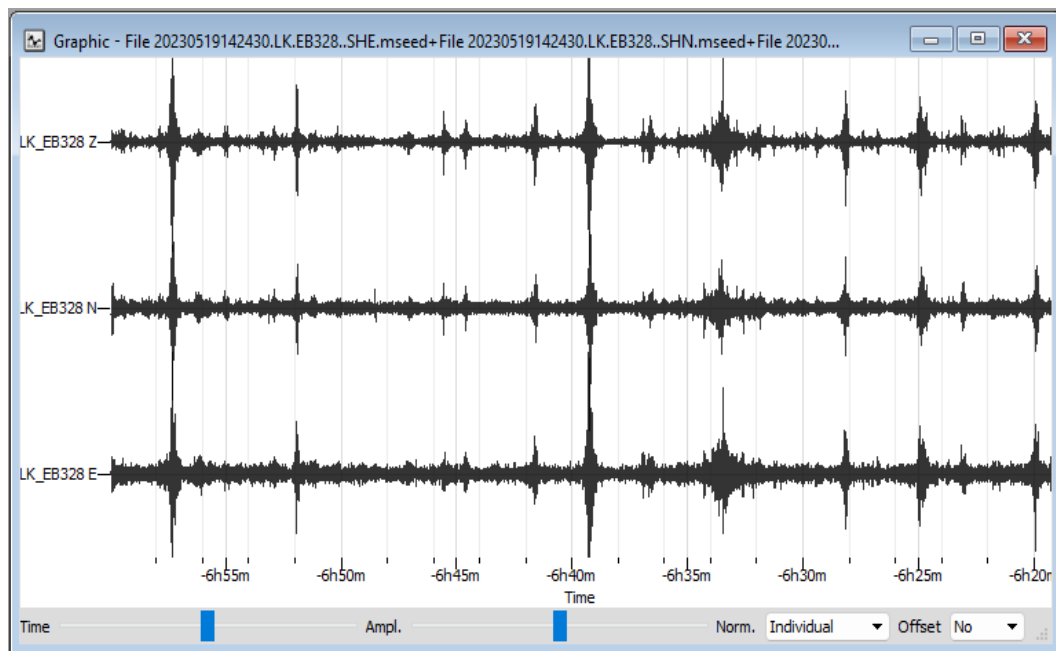
Terdapat 47 titik pengukuran pada kecamatan tersebut dengan interval setiap titik 1.5 km. Proses pengukuran data tersebut digunakan alat *digital seismograph* merek Lunitek Triton 5s pada lokasi yang telah ditentukan. Dalam mendapatkan titik spesifik pengukuran harus dilakukan sesuai dengan syarat yang tertera pada Tabel 4.1. Adapun peta titik lokasi penelitian di Kecamatan Pacitan dapat dilihat pada Gambar 5.1 berikut.



**Gambar 5.1 Peta Lokasi Titik Penelitian di Kecamatan Pacitan**

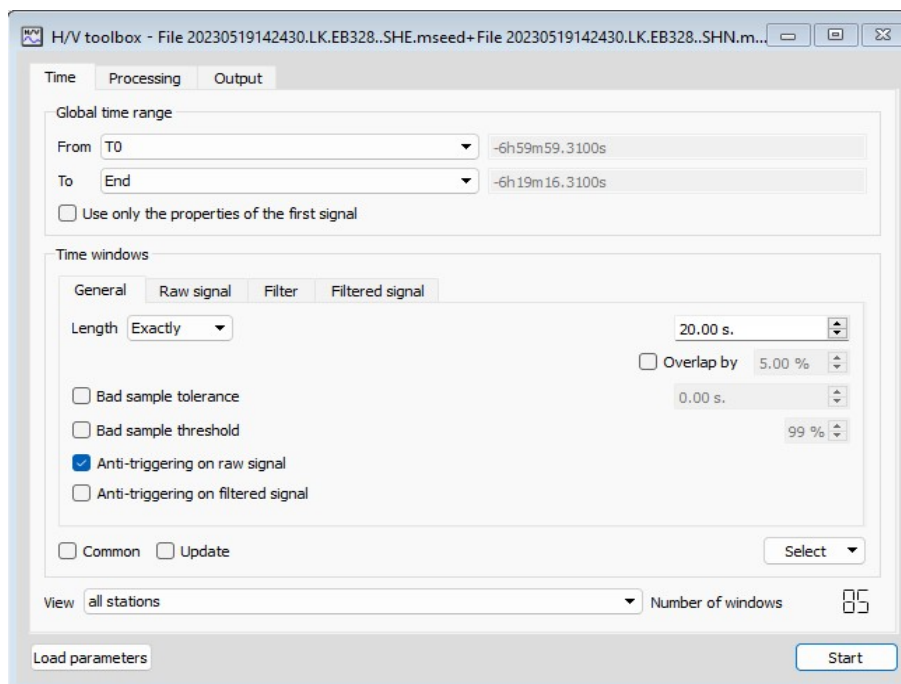
Pengukuran mikrotremor di lapangan memiliki waktu rata – rata sebesar 30 menit untuk setiap titiknya. Hasil dari pengukuran mikrotremor menghasilkan 3 gelombang seismik yaitu gelombang seismik vertikal, gelombang seismik horizontal *north – south*, dan gelombang seismik horizontal *east – west* dengan format data berturut – turut yaitu SHZ.mseed, SHN.mseed, dan SHE.mseed. Gelombang seismik tersebut nantinya akan diolah dengan menggunakan metode HVSR sehingga didapatkan nilai frekuensi dominan dan faktor amplifikasi. Contoh

seismogram hasil perekaman mikrotremor pada titik 29 di Kecamatan Pacitan Kabupaten Pacitan pada Gambar 5.2.

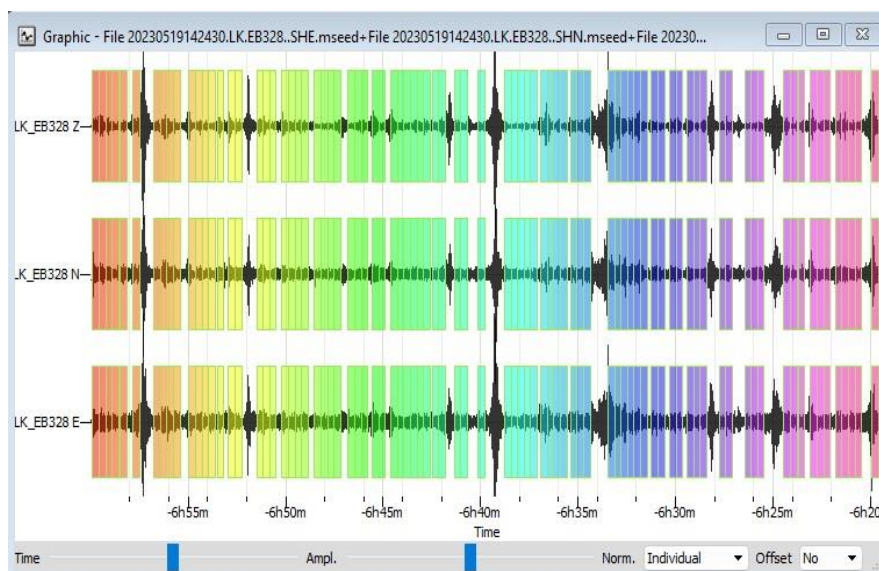


**Gambar 5.2 Grafik Hasil Pengukuran Mikrotremor di Titik 29**

Hasil dari perekaman gelombang seismik selanjutnya dianalisis dengan menggunakan *software* Sesarry Geopsy. Menurut Nakamura pada tahun 2000 menjelaskan bahwa perlu dilakukan proses pemilihan sinyal atau *windowing* yaitu proses pemilihan sinyal yang konstan serta menghapus *noise* atau sinyal gangguan yang terjadi selama perekaman. Hal ini dilakukan karena pada saat proses perekaman, sinyal yang terekam oleh alat tidak hanya berupa getaran alami, namun getaran yang disebabkan oleh aktivitas manusia seperti langkah kaki, sepeda motor, dan mesin. Proses *windowing* pada penelitian ini dilakukan dengan metode *auto select* dengan panjang kotak 20 detik seperti pada Gambar 5.3. Proses *windowing* nantinya akan membagi sinyal menjadi beberapa *window* yang berbeda warna. Satu warna yang terbentuk menggambarkan satu *window* dengan panjang kotak dalam satuan detik seperti pada Gambar 5.4. Selain itu, satu *window* akan membentuk satu kurva HVSR sehingga jumlah kurva yang akan terbentuk bergantung pada banyaknya *window* dalam sinyal mikrotremor tersebut (Arifudin, 2018).



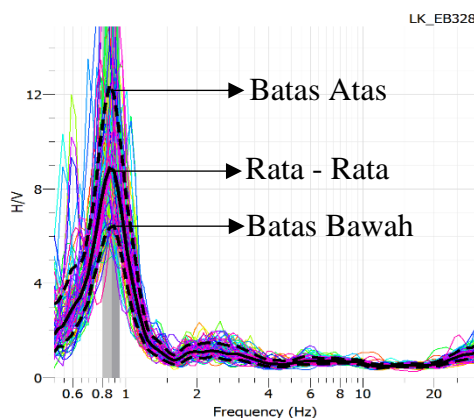
**Gambar 5.3 Filtering Options Untuk Windowing Titik 29**



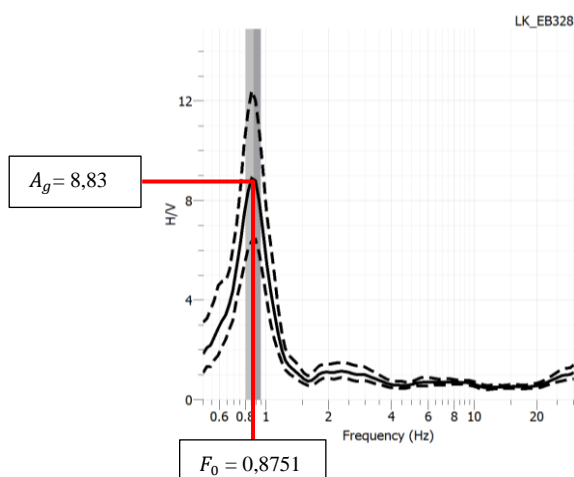
**Gambar 5.4 Hasil Windowing Pada Titik 29**

Hasil dari proses *windowing* nantinya akan membentuk kurva HVSR yang menampilkan semua *window*. Kurva dengan warna garis hitam menunjukkan nilai rata – rata dari kurva HVSR semua *window*. Sedangkan garis putus – putus warna

menunjukkan nilai simpangan kurva HVSR. Berdasarkan kurva tersebut nantinya akan menghasilkan nilai frekuensi dominan dan faktor amplifikasi dari pembacaan pada puncak kurva dengan garis hitam (Arifudin, 2018). Berikut merupakan kurva HVSR yang diperoleh berdasarkan pengolahan menggunakan Sessary Geopsy dapat dilihat pada gambar 5.5 dan gambar 5.6.



**Gambar 5.5 Kurva HVSR Pada Titik 29**



**Gambar 5.6 Kurva HVSR Pada Titik 29 Setelah Filterisasi**

## 5.2 Uji Outlier

*Outlier* merupakan sehimpunan data yang memiliki karakteristik berbeda jauh dengan data lainnya yang ditandai dengan munculnya nilai ekstrem baik variabel tunggal ataupun variabel kombinasi. Data yang mempunyai *outlier* dapat

berpengaruh dalam pengolahan data dan pengambilan keputusan. Untuk mengetahui nilai ekstrem pada data tersebut maka perlu dilakukan uji *outlier* dengan mengkonversi nilai data ke dalam nilai standar baku atau *Z score*. Batas nilai standar baku atau *Z score* yang disyaratkan dalam penelitian ini adalah kurang dari 3. Pendeteksian *outlier* dalam penelitian dilakukan pada nilai frekuensi dominan dan nilai faktor amplifikasi yang telah didapatkan dari hasil pengolahan mikrotremor dengan menggunakan *software* Sessary Geopsy seperti pada Gambar 5.6. Adapun nilai frekuensi dominan dapat dilihat pada Tabel 5.1 dan nilai faktor amplifikasi pada Tabel 5.2.

**Tabel 5.1 Rekapitulasi Hasil Uji Outlier Nilai Frekuensi Dominan**

Titik	$f_0$	Rata - Rata	Standar Deviasi	Z Score	Kesimpulan
1	6,10707	7,235814	6,964945	0,162061	Tidak Outlier
2	6,97013			0,038146	Tidak Outlier
3	7,8938			0,094471	Tidak Outlier
4	7,58952			0,050784	Tidak Outlier
5	13,4327			0,889725	Tidak Outlier
6	2,59417			0,666429	Tidak Outlier
7	2,29907			0,708799	Tidak Outlier
8	3,06174			0,599298	Tidak Outlier
9	2,14828			0,730449	Tidak Outlier
10	6,01435			0,175373	Tidak Outlier
11	11,1032			0,555264	Tidak Outlier
12	19,2706			1,727908	Tidak Outlier
13	0,981155			0,898020	Tidak Outlier
14	0,737768			0,932964	Tidak Outlier
15	0,61777			0,950193	Tidak Outlier
16	3,87368			0,482722	Tidak Outlier
17	1,92611			0,762347	Tidak Outlier
18	12,5574			0,764053	Tidak Outlier
19	2,0029			0,751322	Tidak Outlier
20	5,65753			0,226604	Tidak Outlier
21	1,09447			0,881751	Tidak Outlier
22	0,675436			0,941914	Tidak Outlier
23	0,611491			0,951095	Tidak Outlier
24	23,9141			2,394604	Tidak Outlier
25	7,27918			0,006226	Tidak Outlier



Lanjutan Tabel 5.1 Rekapitulasi Hasil Uji Outlier Nilai Frekuensi Dominan

Titik	$f_0$	Rata - Rata	Standar Deviasi	Z Score	Kesimpulan
26	22,397	7,235814	6,964945	2,176785	Tidak Outlier
27	6,24177			0,142721	Tidak Outlier
28	16,0469			1,265062	Tidak Outlier
29	0,8751			0,913247	Tidak Outlier
30	0,92909			0,905495	Tidak Outlier
31	0,632639			0,948058	Tidak Outlier
32	4,73371			0,359243	Tidak Outlier
33	12,239			0,718338	Tidak Outlier
34	14,8196			1,088851	Tidak Outlier
35	0,941732			0,903680	Tidak Outlier
36	1,85293			0,772854	Tidak Outlier
37	10,3513			0,447309	Tidak Outlier
38	4,40173			0,406907	Tidak Outlier
39	9,25316			0,289643	Tidak Outlier
40	7,30475			0,009898	Tidak Outlier
41	3,80165			0,493064	Tidak Outlier
42	3,99203			0,465730	Tidak Outlier
43	3,27013			0,569378	Tidak Outlier
44	24,7759			2,518338	Tidak Outlier
45	5,91423			0,189748	Tidak Outlier
46	8,86	0,233194	Tidak Outlier		
47	26,0353	2,699158	Tidak Outlier		

Tabel 5.2 Rekapitulasi Hasil Uji Outlier Nilai Faktor Amplifikasi

Titik	$A_g$	Rata - Rata	Standar Deviasi	Z Score	Kesimpulan
1	2,69655	3,846353	1,66139	0,692073	Tidak Outlier
2	1,73831			1,268843	Tidak Outlier
3	2,82268			0,616155	Tidak Outlier
4	3,86233			0,009616	Tidak Outlier
5	2,55658			0,776322	Tidak Outlier
6	3,26916			0,347416	Tidak Outlier
7	2,68588			0,698495	Tidak Outlier
8	3,3671			0,288465	Tidak Outlier
9	7,01028			1,904385	Tidak Outlier
10	5,75682			1,149920	Tidak Outlier
11	3,54979			0,178503	Tidak Outlier
12	3,02899			0,491976	Tidak Outlier
13	4,92157			0,647179	Tidak Outlier
14	4,81299			0,581824	Tidak Outlier

Lanjutan Tabel 5.2 Rekapitulasi Hasil Uji Outlier Nilai Faktor Amplifikasi

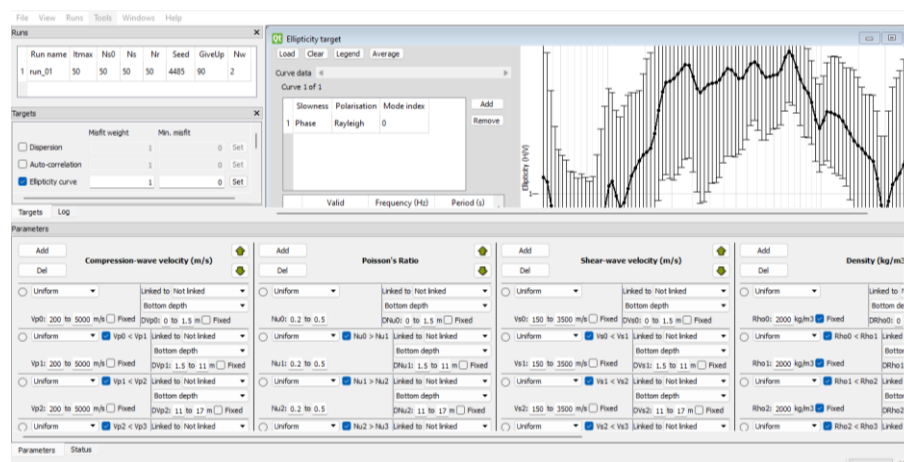
Titik	$A_g$	Rata - Rata	Standar Deviasi	Z Score	Kesimpulan
15	4,69343	3,8463534	1,66139	0,509860	Tidak Outlier
16	2,39878			0,871302	Tidak Outlier
17	2,52439			0,795697	Tidak Outlier
18	2,02			1,099292	Tidak Outlier
19	1,54773			1,383554	Tidak Outlier
20	2,9591			0,534043	Tidak Outlier
21	4,96286			0,672031	Tidak Outlier
22	5,24491			0,841799	Tidak Outlier
23	6,19444			1,413326	Tidak Outlier
24	1,69317			1,296013	Tidak Outlier
25	3,16807			0,408262	Tidak Outlier
26	2,49614			0,812701	Tidak Outlier
27	4,26711			0,253256	Tidak Outlier
28	1,88586			1,180032	Tidak Outlier
29	8,83			2,999684	Tidak Outlier
30	5,19694			0,812925	Tidak Outlier
31	6,74466			1,744507	Tidak Outlier
32	2,07509			1,066133	Tidak Outlier
33	4,83681			0,596161	Tidak Outlier
34	4,15508			0,185824	Tidak Outlier
35	4,79533			0,571194	Tidak Outlier
36	2,90781			0,564914	Tidak Outlier
37	5,95222			1,267533	Tidak Outlier
38	4,16354			0,190916	Tidak Outlier
39	3,46857			0,227390	Tidak Outlier
40	1,72112			1,279190	Tidak Outlier
41	5,04029			0,718637	Tidak Outlier
42	1,84968	1,201809	Tidak Outlier		
43	2,15213	1,019762	Tidak Outlier		
44	6,42273	1,550735	Tidak Outlier		
45	4,7279	0,530608	Tidak Outlier		
46	4,30233	0,274455	Tidak Outlier		
47	3,30136	0,328035	Tidak Outlier		

Berdasarkan hasil deteksi *outlier* pada Tabel 5.1 dan Tabel 5.2 diperoleh bahwa tidak terdapat nilai frekuensi dominan dan nilai amplifikasi yang menyimpang. Adapun *Z Score* pada nilai frekuensi dominan tertinggi sebesar 2,699158 pada titik 47 dan nilai terendah sebesar 0,006226 pada titik 25. Sedangkan *Z Score* pada nilai amplifikasi tertinggi sebesar 2,999684 pada titik 29 dan nilai

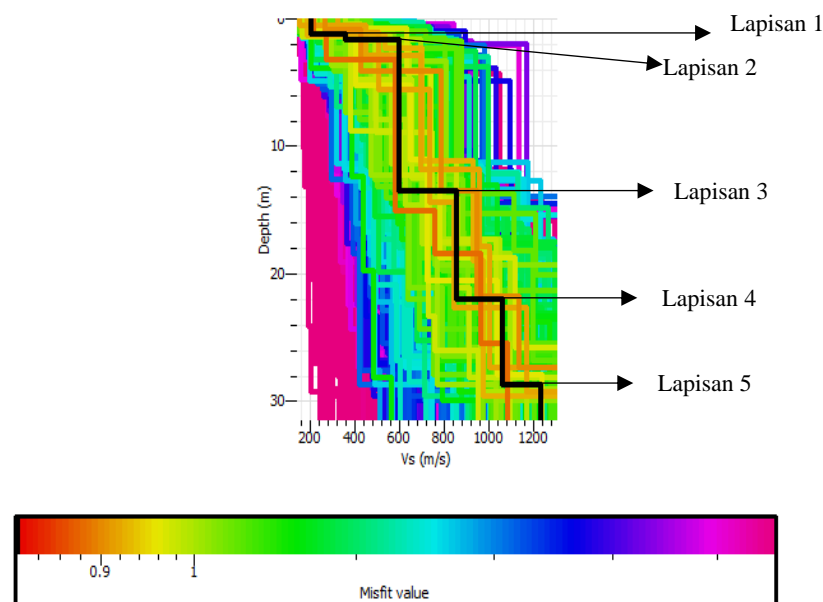
terendah sebesar 0,009616 pada titik 4. Oleh karena itu, nilai frekuensi dominan dan nilai amplifikasi yang telah didapatkan dapat digunakan dalam tahap analisis selanjutnya.

### 5.3 Analisis Inversi Kurva HVSR

Pada umumnya, dalam memperkirakan nilai kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) dilakukan dengan melakukan pengeboran secara langsung di lapangan. Namun metode tersebut membutuhkan waktu dan biaya yang lebih jika dilakukan untuk titik yang banyak. Alternatif metode yang dapat digunakan untuk memperkirakan nilai kecepatan gelombang geser yaitu menggunakan mikrotremor yang kemudian dianalisis dengan metode *ellipticity curve*. Metode *ellipticity curve* merupakan metode inversi yang digunakan untuk mengetahui struktur lapisan bawah tanah. Pengolahan inversi kurva HVSR menggunakan *software* Dinver dengan memasukkan beberapa parameter tambahan seperti kecepatan gelombang P ( $V_p$ ), kecepatan gelombang S ( $V_s$ ), massa jenis batuan, dan *poisson ratio*. Penentuan parameter tersebut akan berbeda – beda sesuai dengan formasi geologi pada daerah penelitian, namun pada penelitian ini nilai tersebut disamakan sesuai dengan data borlog yang berada di sekitar Jembatan Grindulu yang terdiri dari 5 lapisan. Adapun tampilan pada *software* Dinver dapat dilihat pada Gambar 5.7 dan hasil inversi kurva HVSR pada titik 2 dapat dilihat pada Gambar 5.8



**Gambar 5.7 Tampilan Software Dinver Pada Titik 2**



**Gambar 5.8 Grafik  $V_s$  Pada Titik 2**

Pada Gambar 5.8 terlihat beberapa macam warna garis hasil inversi kurva HVSR yang menunjukkan berbagai macam model kurva dengan nilai *misfit* berbeda – beda. Semakin kecil nilai *misfit* pada kurva tersebut menandakan bahwa semakin mendekati hasil permodelan dengan kondisi lapangan. Sedangkan kurva dengan warna hitam merupakan kurva yang digunakan sebagai model referensi karena memiliki nilai *misfit* terkecil. Berdasarkan Gambar 5.8 maka didapatkan nilai  $V_s$  untuk setiap lapisan pada titik 2 dimana tebal lapisan sedimen didapatkan dengan mengurangi elevasi lapisan sesudahnya dikurangi dengan elevasi lapisan sebelumnya sehingga didapatkan seperti Tabel 5.3.

**Tabel 5.3 Nilai  $V_s$  Setiap Lapisan Pada Titik 2**

Lapisan	Tebal Lapisan (m)	$V_s$ (m/s)
Lapisan 1	1,12	203
Lapisan 2	0,44	355
Lapisan 3	11,85	596
Lapisan 4	8,49	875
Lapisan 5	6,71	1064

Kemudian dihitung nilai  $V_s30$  berdasarkan nilai  $V_s$  setiap lapisan pada titik 2 dengan menggunakan Persamaan 3.4 sebagai berikut.

$$V_s30 = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{V_{si}}}$$

$$V_s30 = \frac{30}{\frac{1,12}{203} + \frac{0,44}{355} + \frac{11,85}{596} + \frac{8,49}{875} + \frac{6,71}{1064}}$$

$$V_s30 = 703,425 \text{ m/s}$$

Perhitungan  $V_s30$  tersebut dilakukan pada semua titik pengukuran sehingga diperoleh nilai kecepatan geser tanah hingga kedalaman 30 meter ( $V_s30$ ) pada daerah penelitian berkisar antara 237,927  $m/s$  hingga 958,656  $m/s$ . Berikut merupakan rekapitulasi perhitungan yang dapat dilihat pada Tabel 5.4.

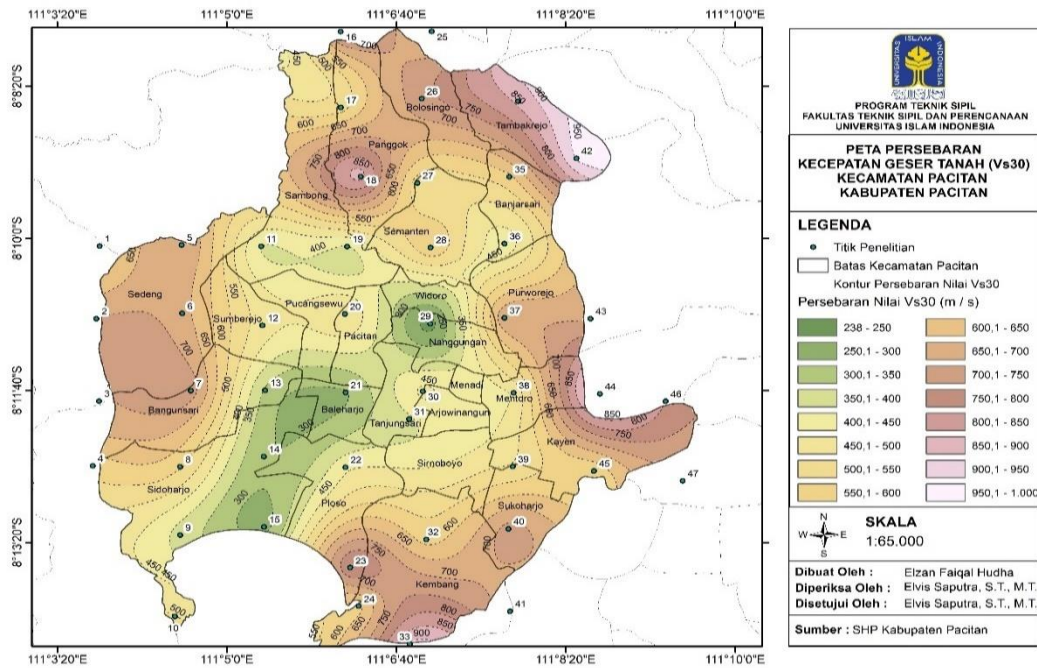
**Tabel 5.4 Rekapitulasi Nilai  $V_s$  30 Pada Kecamatan Pacitan**

Titik	Longitude	Latitude	$V_s$ 30 (m/s)	Keterangan
1	111,062469	-8,168135	546,651	Tanah Keras
2	111,061956	-8,181401	703,425	Tanah Keras
3	111,062385	-8,196437	689,444	Tanah Keras
4	111,061343	-8,208249	564,362	Tanah Keras
5	111,075928	-8,167934	697,396	Tanah Keras
6	111,076003	-8,180428	665,519	Tanah Keras
7	111,077451	-8,194545	721,420	Tanah Keras
8	111,075695	-8,20845	554,686	Tanah Keras
9	111,075694	-8,220909	380,257	Tanah Keras
10	111,074832	-8,235765	503,019	Tanah Keras
11	111,088966	-8,16816	400,581	Tanah Keras
12	111,089161	-8,182613	479,048	Tanah Keras
13	111,089615	-8,194465	344,170	Tanah Sedang
14	111,089416	-8,206573	306,230	Tanah Sedang
15	111,089436	-8,219406	285,374	Tanah Sedang
16	111,101995	-8,12896	805,472	Batuan
17	111,102022	-8,142796	529,699	Tanah Keras
18	111,105276	-8,155425	863,144	Batuan
19	111,103052	-8,168211	390,046	Tanah Keras
20	111,102693	-8,180528	491,030	Tanah Keras
21	111,102805	-8,194862	298,370	Tanah Sedang
22	111,1028	-8,208537	439,513	Tanah Keras

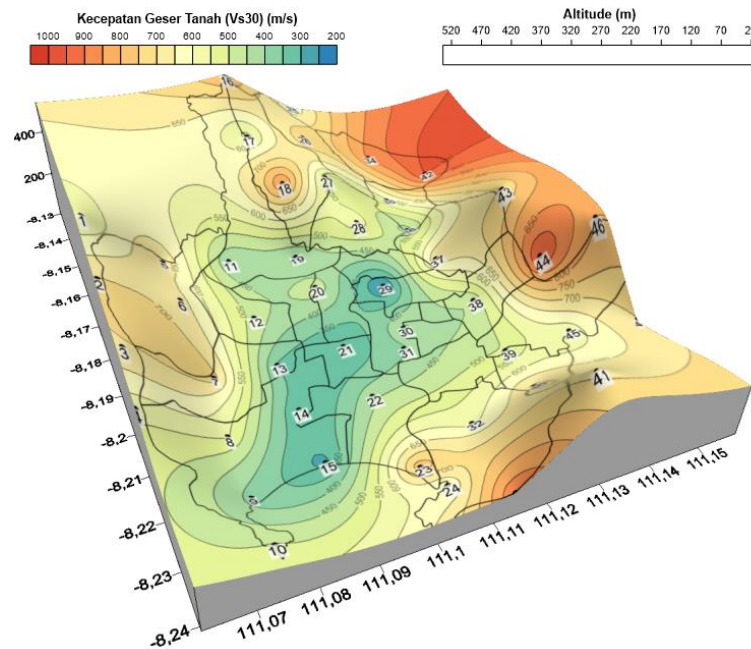
**Lanjutan Tabel 5.4 Rekapitulasi Nilai  $V_s$  30 Pada Kecamatan Pacitan**

<b>Titik</b>	<b>Longitude</b>	<b>Latitude</b>	<b><math>V_s</math> 30 (m/s)</b>	<b>Keterangan</b>
23	111,103556	-8,226832	792,735	Batuan
24	111,104965	-8,233871	589,855	Tanah Keras
25	111,116916	-8,128905	608,153	Tanah Keras
26	111,115282	-8,141218	733,544	Tanah Keras
27	111,114577	-8,156616	522,116	Tanah Keras
28	111,116746	-8,168392	586,620	Tanah Keras
29	111,116683	-8,182316	237,927	Tanah Sedang
30	111,115465	-8,194678	458,427	Tanah Keras
31	111,113237	-8,199749	392,623	Tanah Keras
32	111,116018	-8,221704	584,925	Tanah Keras
33	111,113315	-8,240803	905,397	Batuan
34	111,131091	-8,141683	862,438	Batuan
35	111,129662	-8,15549	585,635	Tanah Keras
36	111,128863	-8,167696	427,056	Tanah Keras
37	111,12884	-8,181248	691,453	Tanah Keras
38	111,130337	-8,194934	456,330	Tanah Keras
39	111,13022	-8,208392	505,459	Tanah Keras
40	111,129517	-8,219772	715,107	Tanah Keras
41	111,129779	-8,234832	680,719	Tanah Keras
42	111,140649	-8,152109	955,365	Batuan
43	111,142955	-8,181389	700,586	Tanah Keras
44	111,144504	-8,195119	958,656	Batuan
45	111,14351	-8,209203	566,166	Tanah Keras
46	111,15528	-8,196487	798,446	Batuan
47	111,158055	-8,210983	696,581	Tanah Keras

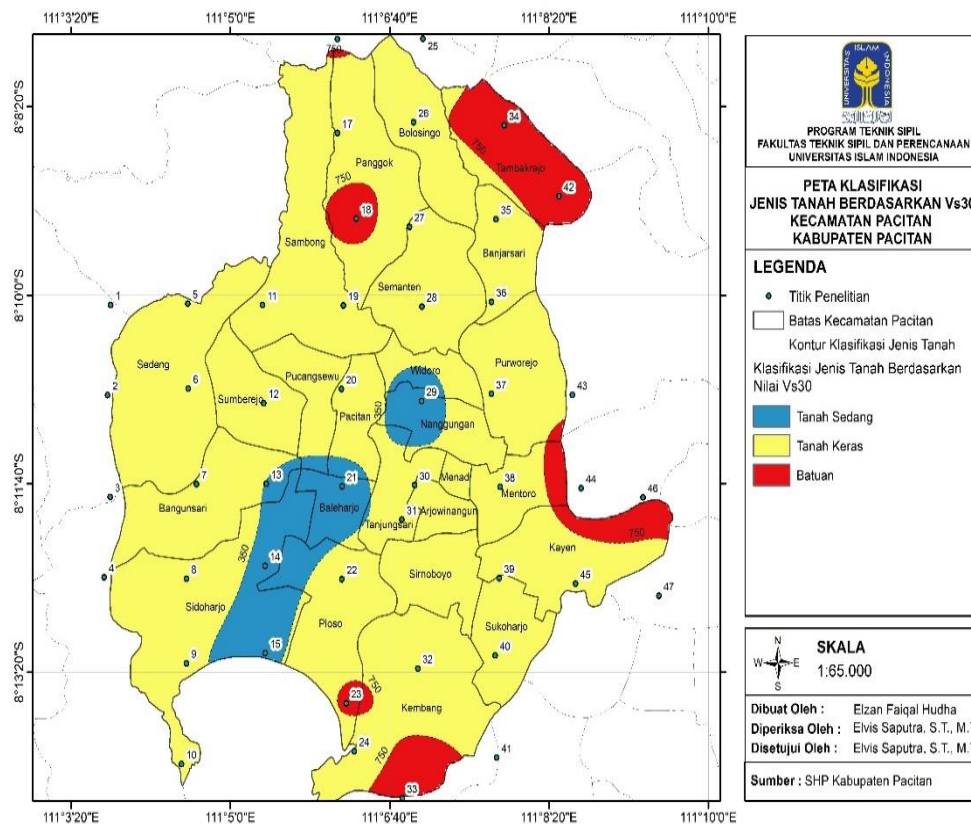
Berdasarkan nilai kecepatan geser tanah hingga kedalaman 30 meter ( $V_s$ 30) yang didapatkan dari pengolahan kurva HVSR dengan menggunakan *software* Dinver maka dapatkan hasil yang kemudian diklasifikasikan sesuai pada Tabel 3.3 untuk mengetahui jenis tanah sehingga diperoleh peta persebaran  $V_s$ 30 seperti pada Gambar 5.9 dan Gambar 5.10.



**Gambar 5.9 Peta Persebaran Kecepatan Geser Tanah Hingga Kedalaman 30 Meter ( $V_s30$ ) di Kecamatan Pacitan**



**Gambar 5.10 Peta 3D Persebaran Kecepatan Geser Tanah Hingga Kedalaman 30 Meter ( $V_s30$ ) di Kecamatan Pacitan**



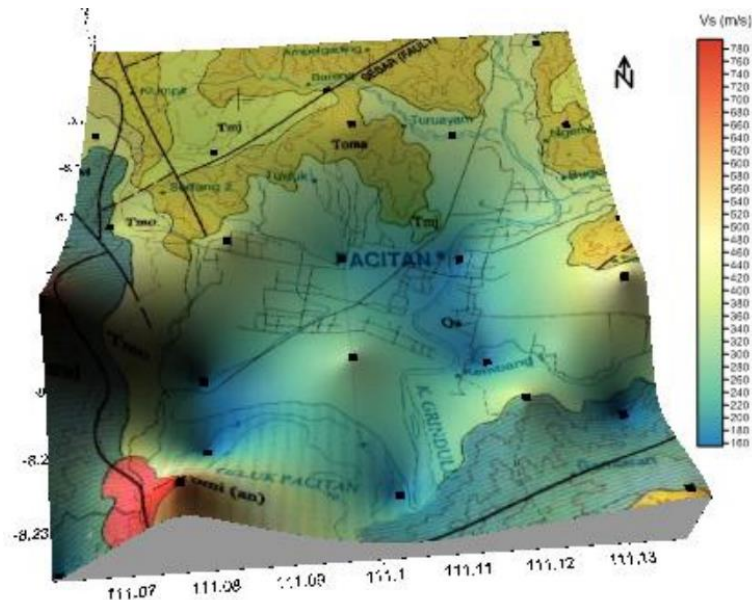
**Gambar 5.11 Peta Klasifikasi Jenis Tanah Berdasarkan Nilai  $V_s$  30 di Kecamatan Pacitan**

Berdasarkan klasifikasi nilai frekuensi dominan pada Tabel 3.3 didapatkan bahwa tidak terdapat wilayah penelitian yang termasuk kedalam kategori tanah lunak ( $V_s < 175 \text{ m/s}$ ) dan batuan keras ( $V_s > 1500 \text{ m/s}$ ). Daerah penelitian yang termasuk kedalam kategori tanah sedang ( $175 < V_s < 350 \text{ m/s}$ ) yaitu Desa Bangunsari (titik 13), Kelurahan Sidoharjo (titik 14 dan 15), Kelurahan Baleharjo (titik 21), dan Desa Nanggungun (titik 29). Daerah penelitian yang termasuk kedalam kategori tanah keras ( $350 < V_s < 750 \text{ m/s}$ ) yaitu Desa Sedeng (titik 1, 2, 5, dan 6), Desa Bangunsari (titik 3 dan 7), Kelurahan Sidoharjo (titik 4, 8, 9, dan 10), Desa Sumberejo (titik 12), Desa Sambong (titik 11 dan 19), Desa Panggok (titik 17), Kelurahan Pacitan (titik 20), Kelurahan Ploso (titik 22), Desa Kembang (titik 24), Desa Bolosingo (titik 25 dan 26), Desa Semanten (titik 27 dan 28), Desa Medani, Desa Arjowinangun (titik 30), Desa Tanjungsari (titik 31), Desa



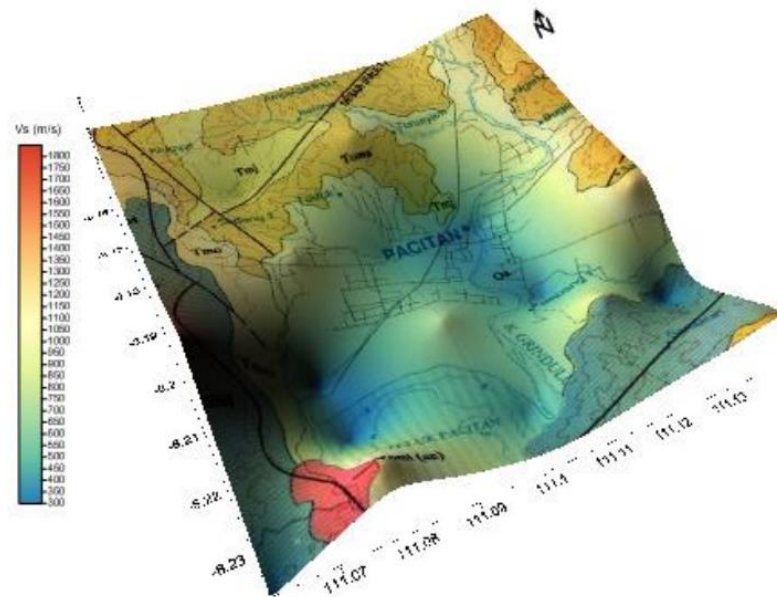
Sinorboyo, Desa Kembang (titik 32 dan 41), Desa Banjarsari (titik 35 dan 36), Desa Purworejo (titik 37 dan 43), Desa Mentoro (titik 38), Desa Kayen (titik 39, 45, dan 47), dan Desa Sukoharjo (titik 40). Sedangkan wilayah penelitian yang termasuk kedalam kategori batuan ( $750 < V_s < 1500 \text{ m/s}$ ) tersebar pada Desa Ponggok (titik 16 dan 18), Desa Ploso (titik 23), Desa Kembang (titik 33), Desa Tambakrejo (titik 34 dan 42), Desa Mentoro (titik 44), dan Desa Kayen (titik 46).

Penelitian yang bertujuan untuk memperoleh nilai kecepatan geser tanah ( $V_s$ ) di Kecamatan Pacitan sudah dilakukan oleh Nugroho Budi Wibowo pada tahun 2018. Berdasarkan hasil yang diperoleh pada penelitian sebelumnya kemudian dilakukan perbandingan terhadap hasil nilai kecepatan geser yang dilakukan pada penelitian kali ini. Hal ini dilakukan untuk mengetahui hubungan pola persebaran nilai kecepatan geser pada Kecamatan Pacitan pada penelitian sebelumnya dengan penelitian kali ini. Adapun peta persebaran nilai kecepatan geser tanah yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya dapat dilihat pada Gambar 5.12, Gambar 5.13, dan Gambar 5.14.



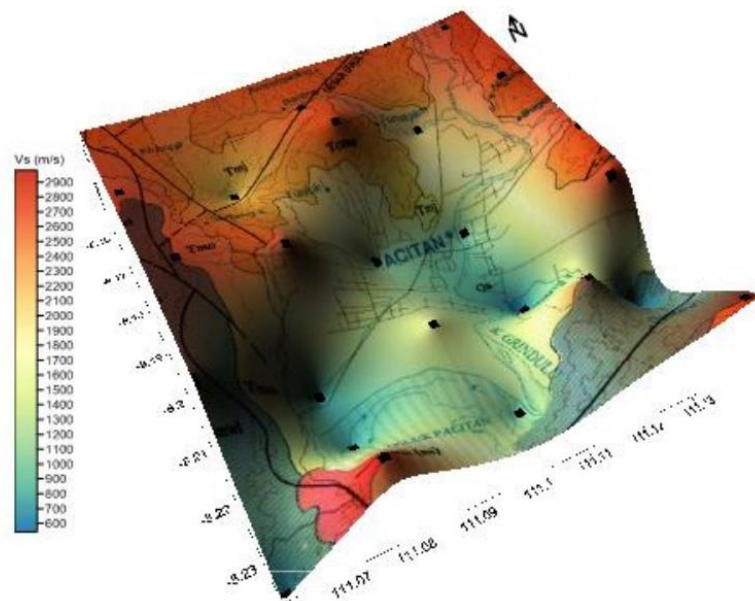
**Gambar 5. 12 Peta Persebaran Nilai  $V_s$  pada Lapisan Pertama**

(Sumber : Wibowo, 2018)



**Gambar 5. 13 Peta Persebaran Nilai  $V_s$  pada Lapisan Kedua**

(Sumber : Wibowo, 2018)



**Gambar 5. 14 Peta Persebaran Nilai  $V_s$  pada Lapisan Ketiga**

(Sumber : Wibowo, 2018)

Berdasarkan peta persebaran tersebut didapatkan bahwa kecepatan geser tanah yang memiliki nilai tinggi berada pada daerah perbukitan atau dataran tinggi. Sedangkan kecepatan geser tanah yang memiliki nilai rendah didominasi pada

daerah dataran rendah. Hal ini memiliki hubungan yang linier dengan penelitian kali ini, dimana kecepatan geser tanah yang tinggi didominasi pada daerah perbukitan atau dataran tinggi. Selain itu, nilai kecepatan geser tanah yang bernilai rendah didominasi pada daerah dataran rendah atau pesisir pantai.

#### 5.4 Analisis Nilai Frekuensi Dominan ( $f_0$ )

Frekuensi dominan merupakan banyaknya gelombang yang terjadi dalam satuan waktu. Nilai frekuensi dominan ini berhubungan dengan kedalaman bidang pantul dimana bidang pantul tersebut merupakan batas antara lapisan sedimen dengan batuan keras sehingga nilai frekuensi dominan memiliki hubungan antara ketebalan lapisan sedimen ( $h$ ) dengan kecepatan geser tanah ( $V_s$ ). Hubungan antara frekuensi dominan berbanding terbalik dengan ketebalan lapisan sedimen dan berbanding lurus dengan kecepatan geser tanah dikarenakan pada lapisan sedimen tipis dan di dominasi oleh batuan keras maka kecepatan gesernya akan meningkat dan terbentuk banyak gelombang, sedangkan pada lapisan sedimen tebal maka nilai kecepatan geser akan berkurang dan berkurangnya gelombang yang terbentuk. Nilai frekuensi dominan di Kecamatan Pacitan Kabupaten Pacitan didapatkan pada sumbu x puncak kurva HVSR seperti pada Gambar 5.4. Nilai frekuensi dominan pada daerah penelitian berkisar antara 0,611491 Hz hingga 26,0353 Hz. Hasil frekuensi dominan selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.5 berikut.

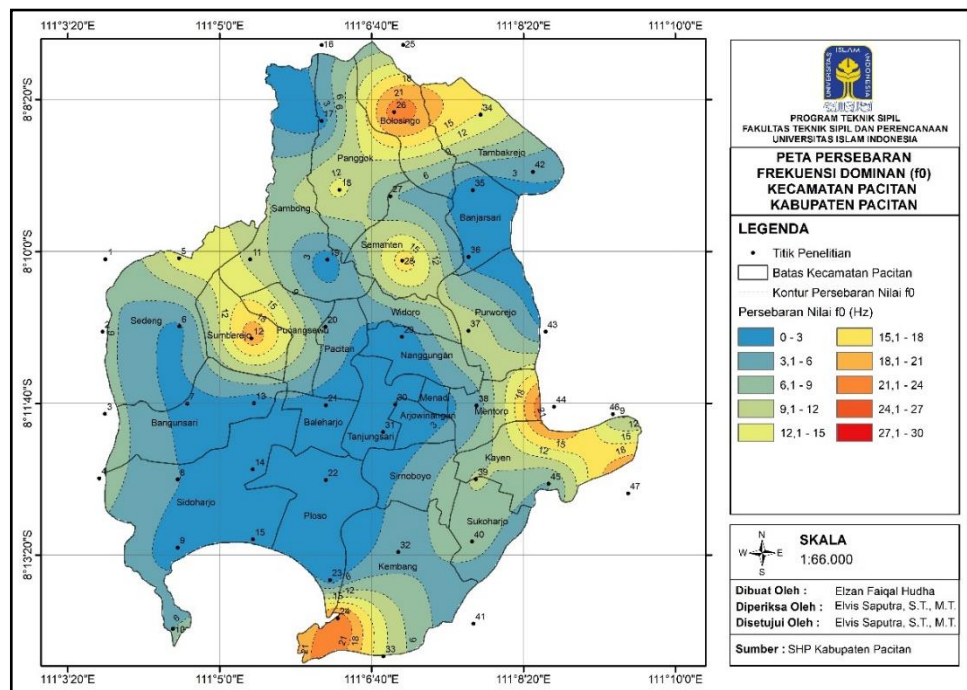
**Tabel 5.5 Rekapitulasi Nilai Frekuensi Dominan Pada Kecamatan Pacitan**

Titik	Longitude	Latitude	Frekuensi Dominan ( $f_0$ ) (Hz)
1	111,062469	-8,168135	6,10707
2	111,061956	-8,181401	6,97013
3	111,062385	-8,196437	7,8938
4	111,061343	-8,208249	7,58952
5	111,075928	-8,167934	13,4327
6	111,076003	-8,180428	2,59417
7	111,077451	-8,194545	2,29907
8	111,075695	-8,20845	3,06174

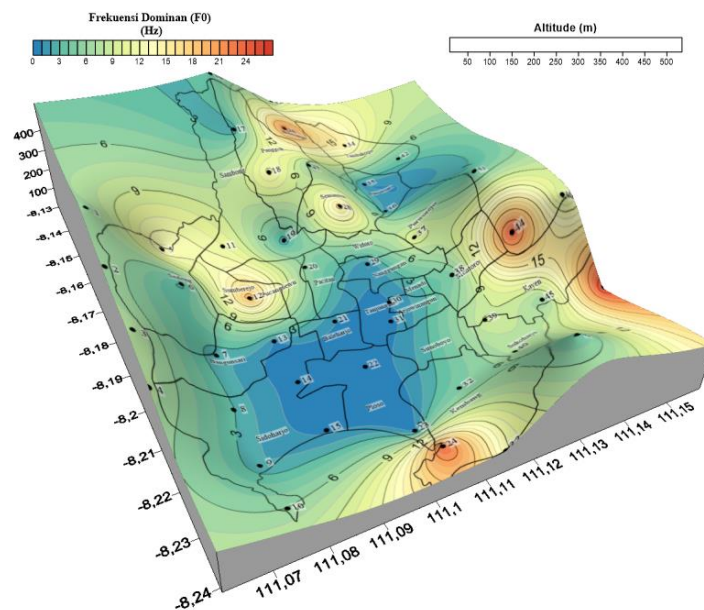
**Lanjutan Tabel 5.5 Rekapitulasi Nilai Frekuensi Dominan Pada Kecamatan Pacitan**

<b>Titik</b>	<b>Longitude</b>	<b>Latitude</b>	<b>Frekuensi Dominan (<math>f_0</math>) (Hz)</b>
9	111,075694	-8,220909	2,14828
10	111,074832	-8,235765	6,01435
11	111,088966	-8,16816	11,1032
12	111,089161	-8,182613	19,2706
13	111,089615	-8,194465	0,981155
14	111,089416	-8,206573	0,737768
15	111,089436	-8,219406	0,61777
16	111,101995	-8,12896	3,87368
17	111,102022	-8,142796	1,92611
18	111,105276	-8,155425	12,5574
19	111,103052	-8,168211	2,0029
20	111,102693	-8,180528	5,65753
21	111,102805	-8,194862	1,09447
22	111,1028	-8,208537	0,675436
23	111,103556	-8,226832	0,611491
24	111,104965	-8,233871	23,9141
25	111,116916	-8,128905	7,27918
26	111,115282	-8,141218	22,397
27	111,114577	-8,156616	6,24177
28	111,116746	-8,168392	16,0469
29	111,116683	-8,182316	0,8751
30	111,115465	-8,194678	0,92909
31	111,113237	-8,199749	0,632639
32	111,116018	-8,221704	4,73371
33	111,113315	-8,240803	12,239
34	111,131091	-8,141683	14,8196
35	111,129662	-8,15549	0,941732
36	111,128863	-8,167696	1,85293
37	111,12884	-8,181248	10,3513
38	111,130337	-8,194934	4,40173
39	111,13022	-8,208392	9,25316
40	111,129517	-8,219772	7,30475
41	111,129779	-8,234832	3,80165
42	111,140649	-8,152109	3,99203
43	111,142955	-8,181389	3,27013
44	111,144504	-8,195119	24,7759
45	111,14351	-8,209203	5,91423
46	111,15528	-8,196487	8,86
47	111,158055	-8,210983	26,0353

Berdasarkan nilai frekuensi dominan yang didapatkan dari pengukuran di lapangan maka dapat diklasifikasikan sesuai pada Tabel 3.1 sehingga diperoleh peta persebaran frekuensi dominan seperti pada Gambar 5.15 dan Gambar 5.16 berikut.



**Gambar 5.15 Peta Persebaran Frekuensi Dominan di Kecamatan Pacitan**



**Gambar 5. 16 Peta 3D Persebaran Frekuensi Dominan di Kecamatan Pacitan**

Berdasarkan klasifikasi nilai frekuensi dominan pada Tabel 3.1 didapatkan bahwa persebaran pada wilayah penelitian berada pada zona Jenis dan tipe I hingga IV. Daerah yang termasuk kedalam kategori Tipe I dan II Jenis IV dengan nilai  $f_0 > 2,5 \text{ Hz}$  tersebar pada Desa Bangunsari (titik 7 dan 13), Kelurahan Sidoharjo (titik 9, 14, dan 15), Desa Ponggok (titik 17), Desa Sambong (titik 19), Kelurahan Baleharjo (titik 21), Kelurahan Ploso (titik 22 dan 23), Desa Widoro, Desa Nanggung (titik 29), Desa Tanjungsari (titik 30 dan 31), Desa Arjowinangun, Desa Banjarsari (titik 35 dan 36). Sedangkan daerah yang termasuk kedalam kategori tipe III Jenis III dengan nilai  $2,5 \text{ Hz} < f_0 < 4 \text{ Hz}$  tersebar pada Desa Sedeng (titik 6), Kelurahan Sidoharjo (titik 8), sekitar Desa Ponggok (titik 16), sekitar Desa Kembang (titik 41), Desa Tambakrejo (titik 42), dan sekitar Desa Purworejo (titik 43). Adapun daerah yang termasuk kedalam kategori tipe IV jenis II dengan nilai  $4 \text{ Hz} < f_0 < 10 \text{ Hz}$  tersebar pada sekitar Desa Sedeng (titik 1 dan 2), sekitar Desa Bangunsari (titik 3), sekitar Kelurahan Sidoharjo (titik 4 dan 10), Kelurahan Pacitan (titik 20), sekitar Desa Bolosingo (titik 25), Desa Semanten (titik 27), Desa Kembang (titik 32), Desa Mentoro (titik 38), Desa Kayen (titik 45 dan 46), dan Desa Sukoharjo (titik 39 dan 40). Daerah yang memiliki persebaran frekuensi dominan kategori tipe IV jenis II dengan nilai  $6,667 \text{ Hz} < f_0 < 20 \text{ Hz}$  yaitu sekitar Desa Sedeng (titik 2 dan 5), sekitar Desa Bangunsari (titik 3), sekitar Kelurahan Sidoharjo (titik 4), Desa Sambong (titik 11), Desa Sumberejo (titik 12), Desa Ponggok (titik 18), sekitar Desa Bolosingo (titik 25), Desa Semanten (titik 28), Desa Kembang (titik 33), Desa Tambakrejo (titik 34), Desa Purworejo (titik 37), Desa Sukoharjo (titik 39 dan 40), dan Desa Kayen (titik 46). Selain itu, terdapat beberapa daerah yang nilainya melebihi pengkategorian dengan nilai  $f_0 > 20 \text{ Hz}$  yaitu pada Desa Kembang (titik 24), Desa Bolosingo (titik 26), sekitar Desa mentora (titik 44), dan sekitar Desa Kayen (titik 47).

### 5.5 Analisis Nilai Faktor Amplifikasi ( $A_g$ )

Menurut Nakamura pada tahun 2000 menjelaskan bahwa faktor amplifikasi memiliki hubungan dengan perbedaan impedansi atau densitas antara lapisan sedimen dengan batuan keras yang ada dibawahnya. Apabila perbedaan densitas

tersebut semakin tinggi maka nilai faktor amplifikasinya juga semakin tinggi. Sedangkan daerah yang rawan terhadap kerusakan bangunan akibat gempa terjadi pada daerah yang memiliki faktor amplifikasi besar dikarenakan semakin besar nilai faktor amplifikasi maka semakin lunak lapisan sedimen yang ada dibawahnya. (Sungkono *et al.*, 2011). Oleh karena itu, hubungan antara faktor amplifikasi dan potensi terjadinya kerusakan bangunan akibat gempa bumi memiliki hubungan berbanding lurus. Nilai faktor amplifikasi di Kecamatan Pacitan yang didapatkan pada sumbu y puncak kurva HVSR seperti pada Gambar 5.4. Nilai faktor amplifikasi pada penelitian ini berkisar antara 1,54773 di titik 19 hingga 8,83 di titik 29. Berikut merupakan rekapitulasi nilai faktor amplifikasi hasil penelitian di Kecamatan Pacitan yang dapat dilihat pada Tabel 5.6 dibawah ini.

**Tabel 5.6 Rekapitulasi Faktor Amplifikasi Pada Kecamatan Pacitan**

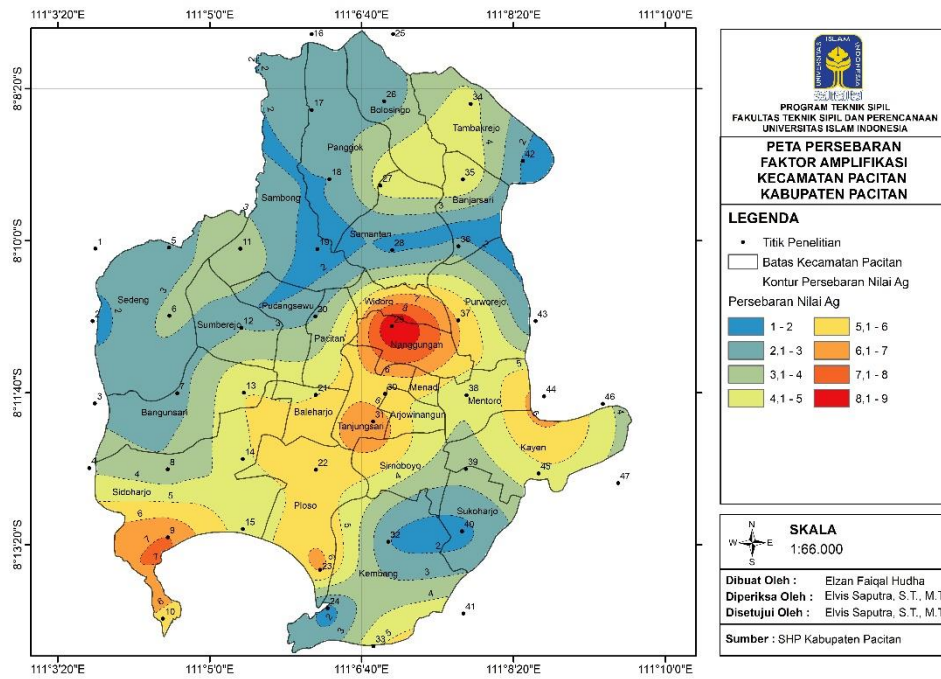
<b>Titik</b>	<b>Longitude</b>	<b>Latitude</b>	<b>Faktor Amplifikasi</b>
1	111,062469	-8,168135	2,69655
2	111,061956	-8,181401	1,73831
3	111,062385	-8,196437	2,82268
4	111,061343	-8,208249	3,86233
5	111,075928	-8,167934	2,55658
6	111,076003	-8,180428	3,26916
7	111,077451	-8,194545	2,68588
8	111,075695	-8,20845	3,3671
9	111,075694	-8,220909	7,01028
10	111,074832	-8,235765	5,75682
11	111,088966	-8,16816	3,54979
12	111,089161	-8,182613	3,02899
13	111,089615	-8,194465	4,92157
14	111,089416	-8,206573	4,81299
15	111,089436	-8,219406	4,69343
16	111,101995	-8,12896	2,39878
17	111,102022	-8,142796	2,52439
18	111,105276	-8,155425	2,02
19	111,103052	-8,168211	1,54773
20	111,102693	-8,180528	2,9591
21	111,102805	-8,194862	4,96286
22	111,1028	-8,208537	5,24491
23	111,103556	-8,226832	6,19444
24	111,104965	-8,233871	1,69317
25	111,116916	-8,128905	3,16807

**Lanjutan Tabel 5.6 Rekapitulasi Faktor Amplifikasi Pada Kecamatan Pacitan**

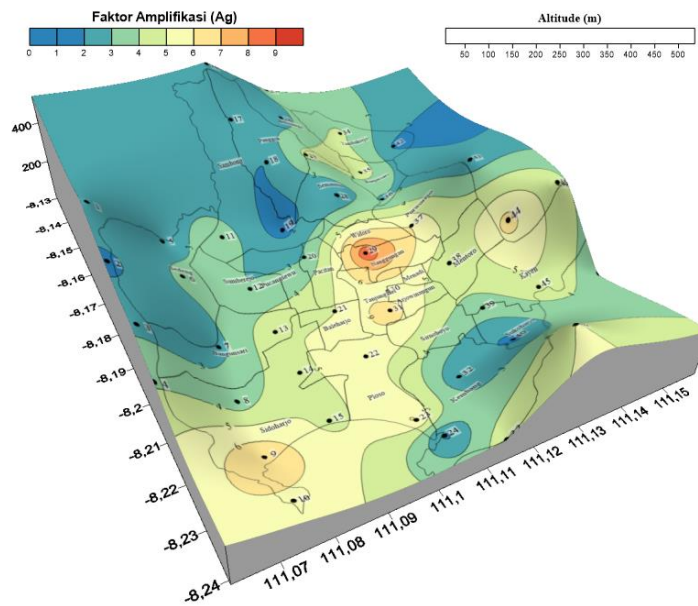
<b>Titik</b>	<b>Longitude</b>	<b>Latitude</b>	<b>Faktor Amplifikasi</b>
26	111,115282	-8,141218	2,49614
27	111,114577	-8,156616	4,26711
28	111,116746	-8,168392	1,88586
29	111,116683	-8,182316	8,83
30	111,115465	-8,194678	5,19694
31	111,113237	-8,199749	6,74466
32	111,116018	-8,221704	2,07509
33	111,113315	-8,240803	4,83681
34	111,131091	-8,141683	4,15508
35	111,129662	-8,15549	4,79533
36	111,128863	-8,167696	2,90781
37	111,12884	-8,181248	5,95222
38	111,130337	-8,194934	4,16354
39	111,13022	-8,208392	3,46857
40	111,129517	-8,219772	1,72112
41	111,129779	-8,234832	5,04029
42	111,140649	-8,152109	1,84968
43	111,142955	-8,181389	2,15213
44	111,144504	-8,195119	6,42273
45	111,14351	-8,209203	4,7279
46	111,15528	-8,196487	4,30233
47	111,158055	-8,210983	3,30136

Berdasarkan nilai faktor amplifikasi yang didapatkan dari hasil perekaman mikrotremor dilapangan, kemudian dilakukan pengklasifikasian nilai sesuai dengan Tabel 3.2 sehingga diperoleh peta persebaran nilai faktor amplifikasi di Kecamatan Pacitan seperti pada Gambar 5.17 dan Gambar 5.18 sebagai berikut.





**Gambar 5.17 Peta Persebaran Faktor Amplifikasi Pada Kecamatan Pacitan**



**Gambar 5. 18 Peta 3D Persebaran Faktor Amplifikasi Pada Kecamatan Pacitan**

Berdasarkan klasifikasi nilai faktor amplifikasi pada Tabel 3.2 didapatkan bahwa persebaran pada wilayah penelitian yang memiliki nilai  $A_g < 3$  atau kategori

rendah tersebar pada sekitar Desa Sedeng (titik 1, 2, dan 5), sekitar Desa Bangunsari (titik 3 dan 7), Desa Sambong (titik 19), Desa Ponggok (titik 16, 17, dan 18), Kelurahan Pacitan (titik 20), Desa Semanten (titik 28), Desa Bolosingo (titik 26), Desa Banjarsari (titik 36), Desa Tambakrejo (titik 42), sekitar Desa Purworejo (titik 43), Desa Sukoharjo (titik 40), dan Desa Kembang (titik 32 dan 24). Persebaran nilai faktor amplifikasi yang termasuk kategori sedang dengan nilai  $3 < f_0 < 6$  terdapat pada hampir seluruh Wilayah di Kecamatan Pacitan seperti Kelurahan Sidoharjo (titik 4, 8, 10, 14, dan 15), Desa Bangunsari (titik 13), Desa Sedeng (titik 6), Desa Sumberejo (titik 12), Kelurahan Pucangsewu, Kelurahan Baleharjo (titik 21), Kelurahan Ploso (titik 22), Desa Sambong (titik 11), sekitar Desa Bolosingo (titik 25), Desa Semanten (titik 27), sekitar Desa Tanjungsari, Desa Arjowinangun (titik 30), Desa Kembang (titik 33 dan 41), Desa Tambakrejo (titik 34), Desa Banjarsari (titik 35), Desa Menadi, Desa Purworejo (titik 37), Desa Mentoro (titik 38), Desa Sinorboto, Desa Sukoharjo (titik 39), Desa Kayen (titik 45, 46, dan 47). Sedangkan, persebaran nilai faktor amplifikasi yang termasuk kedalam kategori tinggi dengan nilai  $6 < f_0 < 9$  terdapat pada Kelurahan Sidoharjo (titik 9), Kelurahan Ploso (titik 23), Desa Tanjungsari (titik 31), Desa Nanggung (titik 29), Desa Widoro, Desa Purworejo (titik 37), dan Sekitar Desa Mentoro (titik 44). Namun pada Kecamatan Pacitan tidak ditemukan nilai faktor amplifikasi yang termasuk kategori sangat tinggi dengan nilai  $A_g > 9$ .

## 5.6 Analisis Nilai Ketebalan Lapisan Sedimen ( $h$ )

Ketebalan lapisan sedimen merupakan salah satu parameter yang dapat menyebabkan terjadinya kerusakan akibat gempa bumi yang terjadi. Ketebalan lapisan sedimen memiliki hubungan berbanding terbalik yang signifikan terhadap frekuensi dominan. Pada wilayah yang memiliki nilai frekuensi dominan kecil maka ketebalan lapisan sedimennya akan semakin tebal dan sebaliknya. Ketebalan lapisan sedimen juga memiliki pengaruh pada puncak kurva HVSR meskipun relatif kecil, hal ini menjelaskan bahwa frekuensi dominan dan faktor amplifikasi memiliki pengaruh pada ketebalan lapisan sedimen (Sungkowo, 2016). Selain itu, ketebalan lapisan sedimen memiliki hubungan dengan kecepatan geser tanah. Pada

perhitungan ketebalan lapisan sedimen digunakan nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) yang terdapat pada Tabel 5.5 dan kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) terdapat pada 5.4. Adapun perhitungan ketebalan lapisan sedimen dapat dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.8 pada titik 2.

$$h = \frac{Vs30}{4f_0}$$

$$h = \frac{703,4248933}{4(6,97013)}$$

$$h = 25,23 \text{ meter}$$

Berdasarkan persamaan tersebut kemudian dilakukan perhitungan untuk semua titik penelitian. Nilai ketebalan lapisan sedimen pada Kecamatan Pacitan berkisar antara 6,17 meter pada titik 24 hingga 324,10 meter pada titik 23. Berikut merupakan rekapitulasi perhitungan ketebalan lapisan sedimen yang tercantum pada Tabel 5.7 dibawah ini.

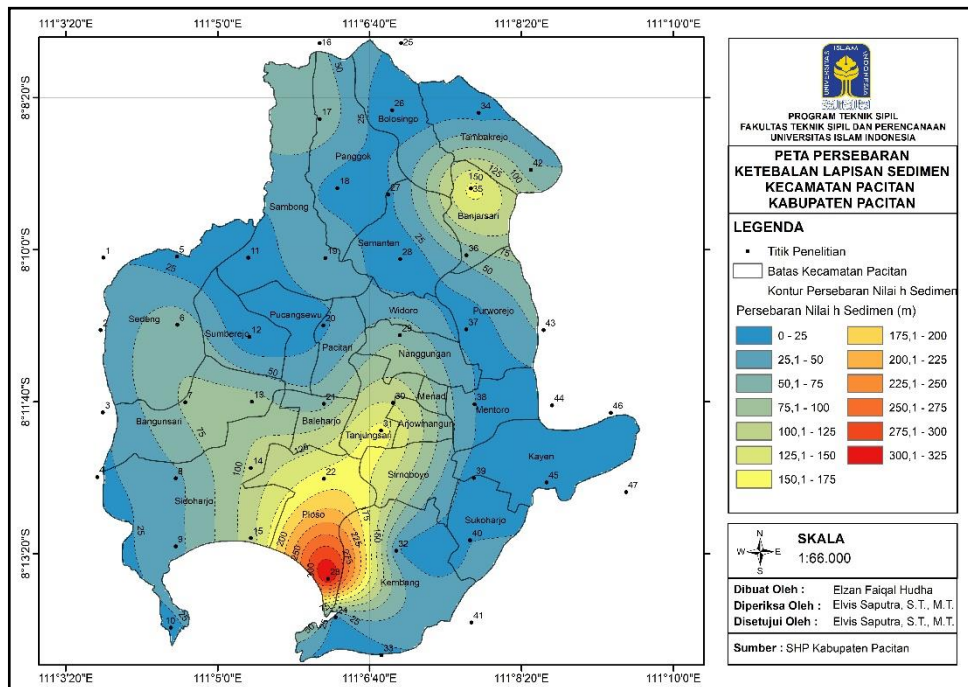
**Tabel 5.7 Rekapitulasi Perhitungan Ketebalan Lapisan Sedimen Pada Kecamatan Pacitan**

Titik	Longitude	Latitude	Ketebalan Lapisan Sedimen (m)
1	111,062469	-8,168135	22,38
2	111,061956	-8,181401	25,23
3	111,062385	-8,196437	21,83
4	111,061343	-8,208249	18,59
5	111,075928	-8,167934	12,98
6	111,076003	-8,180428	64,14
7	111,077451	-8,194545	78,45
8	111,075695	-8,20845	45,29
9	111,075694	-8,220909	44,25
10	111,074832	-8,235765	20,91
11	111,088966	-8,16816	9,02
12	111,089161	-8,182613	6,21
13	111,089615	-8,194465	87,70
14	111,089416	-8,206573	103,77
15	111,089436	-8,219406	115,49
16	111,101995	-8,12896	51,98
17	111,102022	-8,142796	68,75

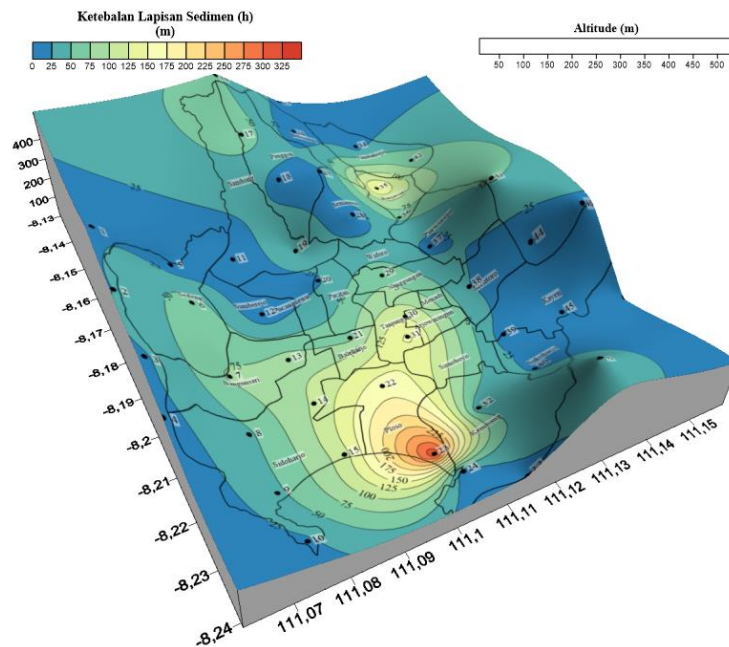
**Lanjutan Tabel 5.7 Rekapitulasi Perhitungan Ketebalan Lapisan Sedimen  
Pada Kecamatan Pacitan**

<b>Titik</b>	<b>Longitude</b>	<b>Latitude</b>	<b>Ketebalan Lapisan Sedimen (m)</b>
18	111,105276	-8,155425	17,18
19	111,103052	-8,168211	48,69
20	111,102693	-8,180528	21,70
21	111,102805	-8,194862	68,15
22	111,1028	-8,208537	162,68
23	111,103556	-8,226832	324,10
24	111,104965	-8,233871	6,17
25	111,116916	-8,128905	20,89
26	111,115282	-8,141218	8,19
27	111,114577	-8,156616	20,91
28	111,116746	-8,168392	9,14
29	111,116683	-8,182316	67,97
30	111,115465	-8,194678	123,35
31	111,113237	-8,199749	155,15
32	111,116018	-8,221704	30,89
33	111,113315	-8,240803	18,49
34	111,131091	-8,141683	14,55
35	111,129662	-8,15549	155,47
36	111,128863	-8,167696	57,62
37	111,12884	-8,181248	16,70
38	111,130337	-8,194934	25,92
39	111,13022	-8,208392	13,66
40	111,129517	-8,219772	24,47
41	111,129779	-8,234832	44,76
42	111,140649	-8,152109	59,83
43	111,142955	-8,181389	53,56
44	111,144504	-8,195119	9,67
45	111,14351	-8,209203	23,93
46	111,15528	-8,196487	22,53
47	111,158055	-8,210983	6,69

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut kemudian dikategorikan sesuai dengan Tabel 3.1 dan disusun peta persebaran nilai ketebalan lapisan sedimen pada Kecamatan Pacitan. Adapun peta persebaran nilai ketebalan lapisan sedimen pada Kecamatan Pacitan dapat dilihat pada Gambar 5.19 dan Gambar 5.20 berikut ini.



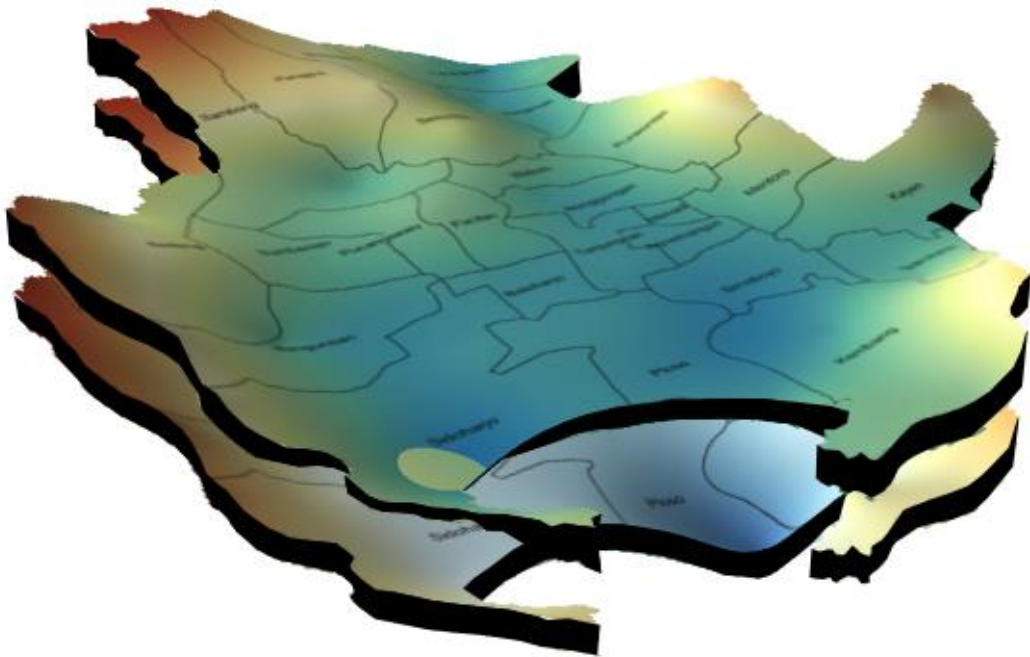
**Gambar 5.19 Peta Persebaran Ketebalan Lapisan Sedimen Pada Kecamatan Pacitan**



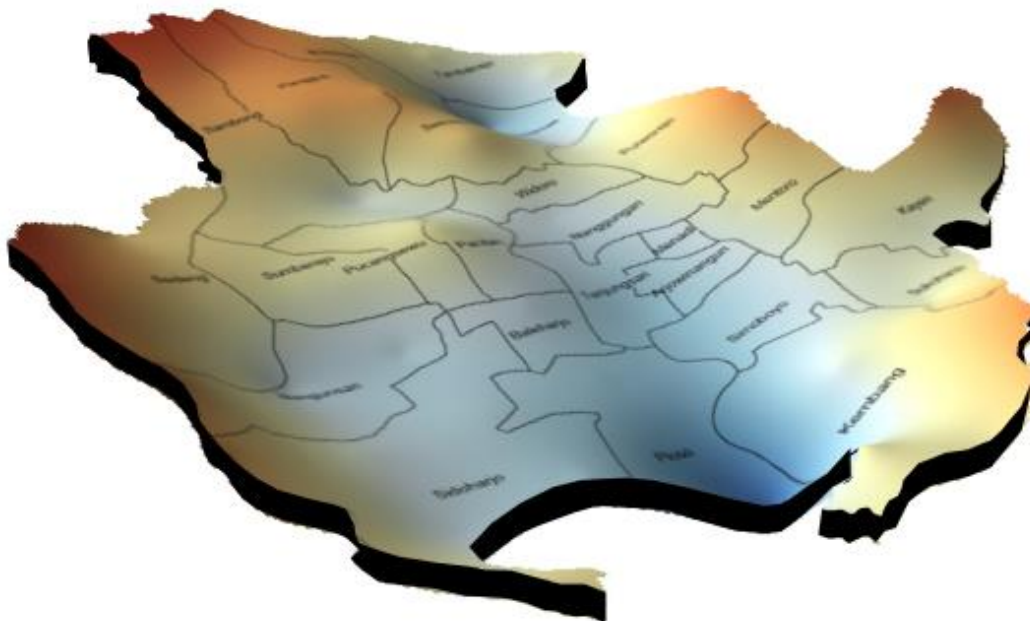
**Gambar 5. 20 Peta 3D Persebaran Ketebalan Lapisan Sedimen Pada Kecamatan Pacitan**

Berdasarkan klasifikasi ketebalan lapisan sedimen pada Tabel 3.1 didapatkan bahwa pada wilayah penelitian tidak ditemukan ketebalan sedimen dengan nilai  $h < 5 m$ . Wilayah yang termasuk kedalam tipe II dengan  $5m < h < 10m$  mencakup Desa Sambong (titik 11), Desa Sumberejo (titik 12), Desa Kembang (titik 24), Desa Bolosingo (titik 26), Desa Semanten (titik 28), sekitar Desa Mentoro (titik 44), dan sekitar Desa Kayen (titik 47). Wilayah yang termasuk kedalam tipe III dengan  $10m < h < 30m$  mencakup Desa Sedeng (titik 1, 2, dan 5), Desa Bangunsari (titik 3), Kelurahan Sidoharjo (titik 4 dan 10), Desa Ponggok (titik 18), Kelurahan Pacitan (titik 20), Sekitar Desa Bolosingo (titik 25), Desa Semanten (titik 27), Desa Kembang (titik 33), Desa Tambakrejo (titik 34), Desa Purworejo (titik 37), Desa Mentoro (titik 38), Desa Sukoharjo (titik 39 dan 40), Desa Kayen (45 dan 46). Sedangkan wilayah yang termasuk kedalam tipe IV dengan  $h > 30 m$  mencakup wilayah Desa Sadeng (titik 6), Desa Bangunsari (titik 7 dan 13), Kelurahan Sidoharjo (titik 8, 9, 14, dan 15), Desa Ponggok (titik 16 dan 17), Desa Sambong (titik 19), Kelurahan Baleharjo (titik 21), Kelurahan Ploso (titik 22 dan 23), Desa Widoro, Desa Nanggung (titik 29), Desa Menadi, Desa Arjowinangun, Desa Tanjungsari (titik 30 dan 31), Desa Sinorboyo, Desa Kembang (titik 32 dan 41), Desa Banjarsari (titik 35 dan 36), Desa Tambakrejo (titik 42), dan Sekitar Desa Purworejo (titik 43).

Permodelan 3D merupakan peta persebaran nilai ketebalan lapisan sedimen berdasarkan hasil pengukuran di Kecamatan Pacitan. Pada permodelan 3D ditampilkan bentuk dari lapisan sedimen dan bedrock yang ada di wilayah tersebut. Hal ini dapat menjadi acuan dalam menentukan wilayah yang rawan terhadap kerusakan akibat gempa bumi. Adapun permodelan 3D lapisan sedimen dan bedrock dapat dilihat pada gambar 5.21, gambar 5.22, dan gambar 5.23.

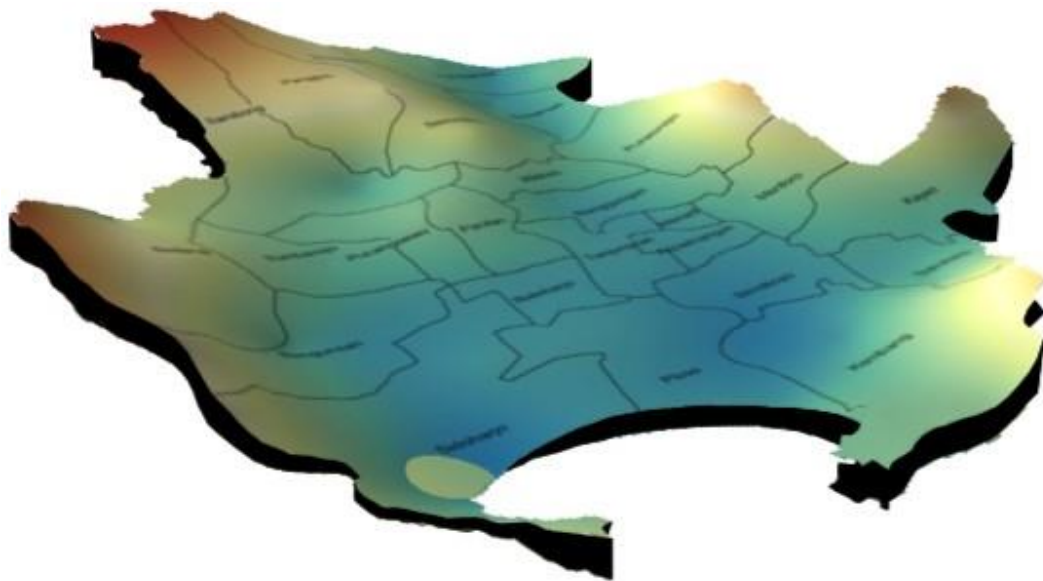


**Gambar 5. 21 Permodelan 3D Lapisan Sedimen dan *Bedrock* Di Kecamatan Pacitan**



**Gambar 5. 22 Permodelan 3D Lapisan *Bedrock* Di Kecamatan Pacitan**





**Gambar 5. 23 Permodelan 3D Lapisan Sedimen Di Kecamatan Pacitan**

### **5.7 Analisis Nilai Indeks Kerentanan Seismik ( $K_g$ )**

Indeks kerentanan seismik merupakan sebuah parameter yang dapat digunakan untuk memberikan informasi terkait tingkat kerentanan suatu wilayah untuk terjadi kerusakan akibat gempa bumi. Menurut Labertta pada tahun 2013 menyatakan bahwa indeks kerentanan seismik memiliki hubungan berbanding lurus dengan kerusakan bangunan yang terjadi akibat gempa bumi. Nilai indeks kerentanan seismik dipengaruhi oleh frekuensi dominan dan faktor amplifikasi. Hubungan antara nilai indeks kerentanan seismik berbanding terbalik dengan nilai frekuensi dominan dan berbanding lurus dengan nilai faktor amplifikasi. Apabila nilai frekuensi dominan tinggi dan faktor amplifikasi rendah maka nilai indeks kerentanan seismik menjadi rendah. Sedangkan, apabila nilai frekuensi dominan rendah dan nilai faktor amplifikasi tinggi maka nilai indeks kerentanan seismik menjadi tinggi. Pada perhitungan indeks kerentanan seismik digunakan nilai faktor amplifikasi yang didapat dilihat pada Tabel 5.6 dan frekuensi dominan yang didapat dilihat pada Tabel 5.5. Adapun perhitungan nilai indeks kerentanan seismik dapat dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.9 pada titik 2 sebagai berikut.



$$Kg = \frac{Ag^2}{F_0}$$

$$Kg = \frac{1,73831^2}{6,97013}$$

$$Kg = 0,433524433$$

Berdasarkan perhitungan menggunakan persamaan tersebut maka didapatkan nilai indeks kerentanan seismik untuk disemua titik penelitian. Nilai indeks kerentanan seismik pada Kecamatan Pacitan berkisar antara 0,119880098 pada titik 24 hingga 89,09713176 pada titik 29. Berikut merupakan rekapitulasi perhitungan indeks kerentanan seismik yang tercantum pada Tabel 5.8 dibawah ini.

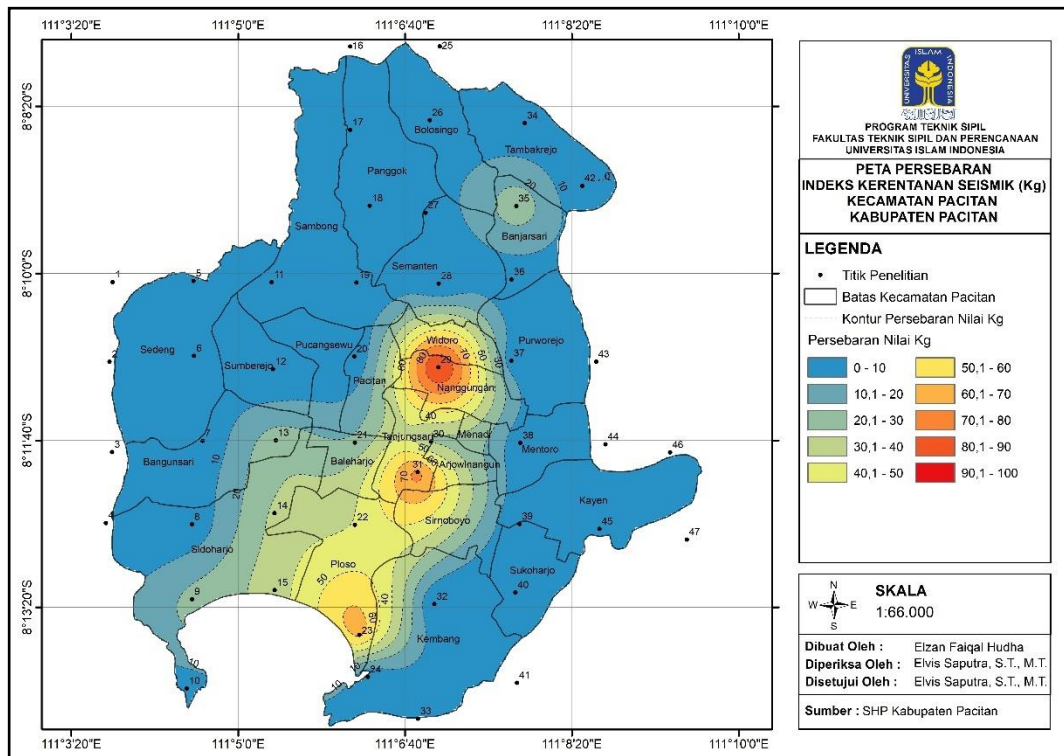
**Tabel 5.8 Rekapitulasi Perhitungan Indeks Kerentanan Seismik Pada Kecamatan Pacitan**

<b>Titik</b>	<b>Longitude</b>	<b>Latitude</b>	<b>Indeks Kerentanan Seismik</b>
1	111,062469	-8,168135	1,190649837
2	111,061956	-8,181401	0,433524433
3	111,062385	-8,196437	1,009339277
4	111,061343	-8,208249	1,96555158
5	111,075928	-8,167934	0,48658135
6	111,076003	-8,180428	4,119779007
7	111,077451	-8,194545	3,137769348
8	111,075695	-8,20845	3,702914816
9	111,075694	-8,220909	22,87598715
10	111,074832	-8,235765	5,510317243
11	111,088966	-8,16816	1,134898862
12	111,089161	-8,182613	0,476102478
13	111,089615	-8,194465	24,68707927
14	111,089416	-8,206573	31,39858701
15	111,089436	-8,219406	35,65774506
16	111,101995	-8,12896	1,485446781
17	111,102022	-8,142796	3,308505159
18	111,105276	-8,155425	0,324939876
19	111,103052	-8,168211	1,195999877
20	111,102693	-8,180528	1,547720085
21	111,102805	-8,194862	22,50402421
22	111,1028	-8,208537	40,72788674
23	111,103556	-8,226832	62,7500436
24	111,104965	-8,233871	0,119880098
25	111,116916	-8,128905	1,378818428

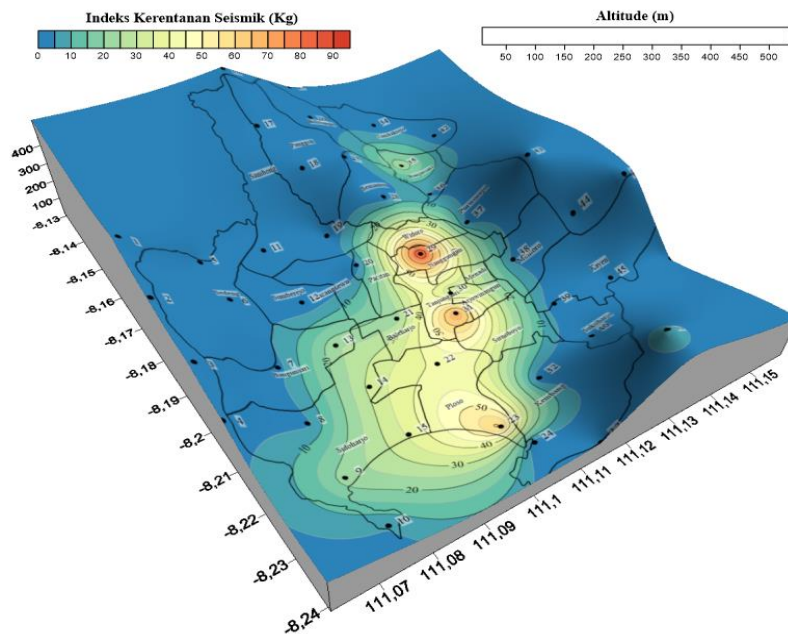
**Lanjutan Tabel 5.8 Rekapitulasi Perhitungan Indeks Kerentanan Seismik  
Pada Kecamatan Pacitan**

<b>Titik</b>	<b>Longitude</b>	<b>Latitude</b>	<b>Indeks Kerentanan Seismik</b>
26	111,115282	-8,141218	0,278194173
27	111,114577	-8,156616	2,917157754
28	111,116746	-8,168392	0,221629594
29	111,116683	-8,182316	89,09713176
30	111,115465	-8,194678	29,06950388
31	111,113237	-8,199749	71,90583969
32	111,116018	-8,221704	0,909645607
33	111,113315	-8,240803	1,911490398
34	111,131091	-8,141683	1,16499027
35	111,129662	-8,15549	24,41797646
36	111,128863	-8,167696	4,563237141
37	111,12884	-8,181248	3,422654442
38	111,130337	-8,194934	3,938239131
39	111,13022	-8,208392	1,300202076
40	111,129517	-8,219772	0,405524358
41	111,129779	-8,234832	6,682499253
42	111,140649	-8,152109	0,857036671
43	111,142955	-8,181389	1,41635456
44	111,144504	-8,195119	1,664983337
45	111,14351	-8,209203	3,779534852
46	111,15528	-8,196487	2,089169687
47	111,158055	-8,210983	0,418623094

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut kemudian dikategorikan sesuai dengan Tabel 3.4. Setelah itu, dilakukan pembuatan peta untuk mengetahui persebaran nilai indeks kerentanan seismik pada Kecamatan Pacitan. Adapun peta persebaran nilai indeks kerentanan seismik pada Kecamatan Pacitan dapat dilihat pada Gambar 5.24 dan Gambar 5.25 berikut ini.



**Gambar 5.24 Peta Persebaran Indeks Kerentanan Seismik Pada Kecamatan Pacitan**



**Gambar 5. 25 Peta 3D Persebaran Indeks Kerentanan Seismik Pada Kecamatan Pacitan**

Berdasarkan klasifikasi nilai indeks kerentanan seismik pada Tabel 3.4 didapatkan bahwa persebaran pada wilayah penelitian didominasi oleh indeks kerentanan seismik kategori rendah atau  $K_g < 10$ . Adapun kategori tersebut mencakup Desa Sedeng (titik 1, 2, 5, dan 6), Desa Bangunsari (titik 3 dan 7), Kelurahan Sidoharjo (titik 4, 8, dan 10), Desa Sambong (titik 11 dan 19), Desa Sumberejo (titik 12), Kelurahan Pucangswu, Kelurahan Pacitan (titik 20), Desa Ponggok (titik 16, 17, dan 18), Desa Bolosingo (titik 25 dan 26), Desa Semanten (titik 27 dan 28), Desa Tambakrejo (titik 34 dan 42), Desa Banjarsari (titik 36), Desa Purworejo (titik 37 dan 43), Desa Mentoro (titik 38 dan 44), Desa Kayen (titik 45, 46, dan 47), Desa Sidoharjo (titik 39 dan 40), Desa Kembang (titik 24, 32, 33 dan 41). Sedangkan, pada penelitian ini tidak terdapat nilai indeks kerentanan seismik yang termasuk dalam kategori sedang atau nilai  $10 < K_g < 20$ . Adapun nilai indeks kerentanan seismik yang termasuk kedalam kategori tinggi atau nilai  $K_g > 20$  tersebar pada Kelurahan Sidoharjo (titik 9, 14, dan 15), Desa Bangunsari (titik 13), Desa Sumberejo, Kelurahan Pucangsewu, Kelurahan Pacitan, Kelurahan Baleharjo (titik 21), Kelurahan Ploso (titik 22 dan 23), Desa Widoro, Desa Banjarsari (titik 35), Desa Nanggungun (titik 29), Desa Menadi, Desa Tanjungsari (titik 30 dan 31), Desa Arjowinangun, dan Desa Sirnobojo.

### **5.8 Hubungan antara Nilai Indeks Kerentanan Seismik dengan Nilai Ketebalan Lapisan Sedimen**

Kerusakan bangunan yang terjadi akibat adanya gempa bumi disebabkan oleh kondisi geologi di wilayah tersebut. Salah satu faktor yang mempengaruhinya adalah ketebalan lapisan sedimen. Selain itu, parameter lain yang dapat digunakan untuk menilai suatu wilayah rentan terjadi kerusakan akibat gempa bumi adalah indeks kerentanan seismik. Menurut Satria pada tahun 2020 menyatakan bahwa terdapat hubungan yang berbanding lurus antara ketebalan lapisan sedimen dengan indeks kerentanan seismik, dimana semakin tebal lapisan sedimen yang berada pada wilayah tersebut maka nilai indeks kerentanan seismiknya semakin tinggi dan sebaliknya. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis untuk mengetahui hubungan

antara ketebalan lapisan sedimen dengan indeks kerentanan seismik di Kecamatan Pacitan.

Pada penelitian ini analisis dilakukan dengan menggunakan korelasi dengan melihat koefisien korelasi pada variabel. Semakin tinggi koefisien korelasi yang terbentuk maka hubungan antara variabel semakin kuat. Perhitungan koefisien korelasi antara indeks kerentanan seismik ( $x$ ) yang didapatkan dari Tabel 5.8 dengan nilai ketebalan lapisan sedimen ( $y$ ) yang didapatkan dari Tabel 5.7 dapat dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.10. Adapun hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5.9.

**Tabel 5.9 Perhitungan Koefisien Korelasi Indeks Kerentanan Seismik Dengan Ketebalan Lapisan Sedimen**

Titik	$K_g (x)$	h Sedimen ( $y$ )	$x \times y$	$x^2$	$y^2$
1	1,19	22,38	26,64	1,42	500,77
2	0,43	25,23	10,94	0,19	636,55
3	1,01	21,83	22,04	1,02	476,77
4	1,97	18,59	36,54	3,86	345,59
5	0,49	12,98	6,32	0,24	168,47
6	4,12	64,14	264,23	16,97	4113,44
7	3,14	78,45	246,15	9,85	6153,91
8	3,70	45,29	167,71	13,71	2051,34
9	22,88	44,25	1012,29	523,31	1958,19
10	5,51	20,91	115,22	30,36	437,19
11	1,13	9,02	10,24	1,29	81,35
12	0,48	6,21	2,96	0,23	38,62
13	24,69	87,70	2164,94	609,45	7690,44
14	31,40	103,77	3258,20	985,87	10768,03
15	35,66	115,49	4117,95	1271,47	13336,91
16	1,49	51,98	77,22	2,21	2702,30
17	3,31	68,75	227,47	10,95	4726,89
18	0,32	17,18	5,58	0,11	295,29
19	1,20	48,69	58,23	1,43	2370,24
20	1,55	21,70	33,58	2,40	470,81
21	22,50	68,15	1533,74	506,43	4644,96
22	40,73	162,68	6625,52	1658,76	26464,03
23	62,75	324,10	20337,25	3937,57	105040,43
24	0,12	6,17	0,74	0,01	38,02
25	1,38	20,89	28,80	1,90	436,25
26	0,28	8,19	2,28	0,08	67,04

**Lanjutan 5.9 Perhitungan Koefisien Korelasi Indeks Kerentanan Seismik  
Dengan Ketebalan Lapisan Sedimen**

Titik	$K_g (x)$	h Sedimen (y)	$x \times y$	$x^2$	$y^2$
27	2,92	20,91	61,00	8,51	437,32
28	0,22	9,14	2,03	0,05	83,52
29	89,10	67,97	6056,07	7938,30	4620,13
30	29,07	123,35	3585,83	845,04	15216,13
31	71,91	155,15	11156,39	5170,45	24072,39
32	0,91	30,89	28,10	0,83	954,28
33	1,91	18,49	35,35	3,65	342,03
34	1,16	14,55	16,95	1,36	211,67
35	24,42	155,47	3796,20	596,24	24170,14
36	4,56	57,62	262,93	20,82	3319,94
37	3,42	16,70	57,16	11,71	278,88
38	3,94	25,92	102,07	15,51	671,72
39	1,30	13,66	17,76	1,69	186,50
40	0,41	24,47	9,92	0,16	598,98
41	6,68	44,76	299,14	44,66	2003,88
42	0,86	59,83	51,28	0,73	3579,57
43	1,42	53,56	75,86	2,01	2868,62
44	1,66	9,67	16,11	2,77	93,57
45	3,78	23,93	90,45	14,28	572,76
46	2,09	22,53	47,07	4,36	507,58
47	0,42	6,69	2,80	0,18	44,74
<b>Jumlah</b>	<b>525,56</b>	<b>2429,98</b>	<b>66163,23</b>	<b>24274,39</b>	<b>280848,18</b>

Berdasarkan Tabel 5.9 selanjutnya dapat dihitung nilai koefisien korelasi seperti berikut.

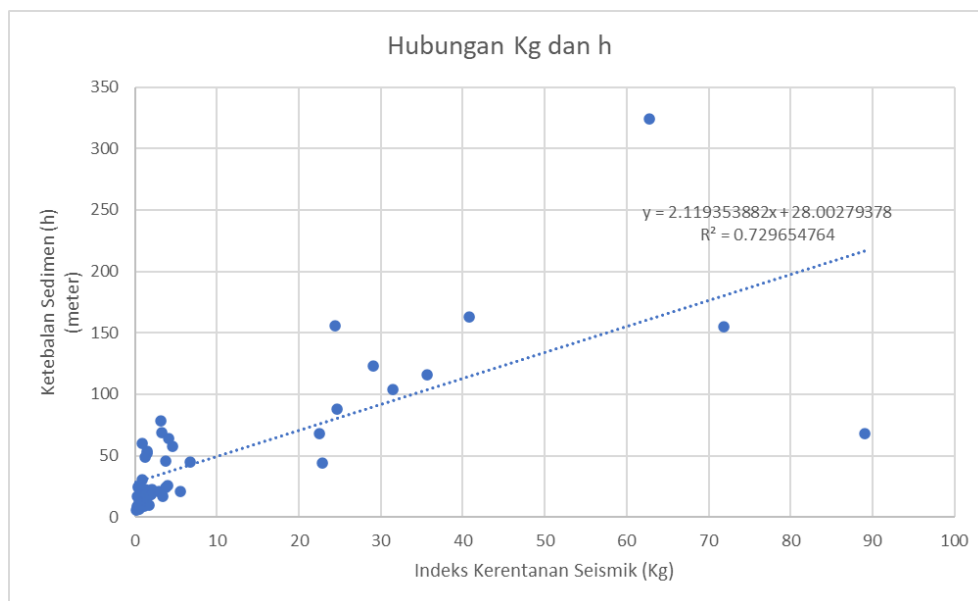
$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{(n(\sum x^2) - (\sum x)^2)(n(\sum y^2) - (\sum y)^2)}}$$

$$r = \frac{47(66163,23) - (525,56)(2429,98)}{\sqrt{(47(24274,39) - (525,56)^2)(47(280848,18) - (2429,98)^2)}}$$

$$r = + 0,729654764$$

Berdasarkan perhitungan diatas maka didapatkan bahwa koefisien korelasi adalah +0,729654764. Hal ini menjelaskan bahwa terdapat hubungan yang kuat antara ketebalan lapisan sedimen dengan indeks kerentanan seismik. Tanda (+) pada koefisien korelasi menunjukkan arah hubungan linier antara ketebalan lapisan sedimen dengan indeks kerentanan seismik. Dengan demikian, semakin tebal

lapisan sedimen maka nilai indeks kerentanan seismik akan semakin tinggi. Berdasarkan nilai koefisien korelasi cukup tinggi maka dapat dilanjutkan dengan analisis regresi untuk mengetahui besar pengaruh antara indeks kerentanan dan ketebalan lapisan sedimen. Namun, sebelum dilakukan analisis regresi perlu diketahui pola hubungan antar variabel dengan menggunakan *scatter plot*.



**Gambar 5.26 Scatter Plot Hubungan Indeks Kerentanan Seismik Dengan Ketebalan Lapisan Sedimen**

Berdasarkan Gambar 5.26 menunjukkan bahwa *plot* membentuk garis linier sehingga mengindikasikan bahwa model linier. Kemudian dilakukan analisis regresi untuk mengetahui pengaruh nilai ketebalan lapisan sedimen terhadap nilai indeks kerentanan seismik dengan regresi linier sederhana. Adapun perhitungan regresi linier sederhana dapat dilakukan dengan merujuk pada Tabel 5.9 dengan menggunakan Persamaan 3.12.

$$a = \frac{(\sum y)(\sum x^2) - (\sum x)(\sum xy)}{n \times \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

$$a = \frac{(2429,98)(24274,39) - (525,56)(66163,23)}{47 \times 24274,39 - (525,56)^2}$$

$$a = 28,00279378$$

Setelah itu, dilakukan perhitungan dengan menggunakan Persamaan 3.13 sehingga didapatkan hasil sebagai berikut.

$$b = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{n\sum x^2 - (\sum x)^2}$$

$$b = \frac{47(66163,23) - (525,56)(2429,98)}{47 \times 24274,39 - (525,56)^2}$$

$$b = 2,119353882$$

Berdasarkan perhitungan diatas maka dapat dibuat sebuah fungsi regresi menggunakan Persamaan 3.11 seperti berikut.

$$y = a + bx$$

$$y = 28,00279378 + 2,119353882x$$

Dimana :

$x =$  Indeks Kerentanan Seismik

$y =$  Ketebalan Lapisan Sedimen (m)

Jika nilai indeks kerentanan seismik pada suatu daerah dianggap 0 maka ketebalan lapisan sedimen sebesar 28,00279378 meter. Namun jika terdapat kenaikan indeks kerentanan seismik sebesar 1 satuan maka nilai ketebalan sedimen akan naik sebesar 2,119353882 meter. Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan didapatkan bahwa apabila terjadi kenaikan pada nilai ketebalan lapisan sedimen maka nilai indeks kerentanan seismik juga mengalami kenaikan dimana semakin tebal lapisan sedimen pada suatu wilayah maka nilai indeks kerentanan seismik akan semakin meningkat dan sebaliknya. Hubungan dari 2 variabel tersebut mempunyai pengaruh pada risiko bencana yang terjadi akibat gempa bumi. Pada wilayah yang mempunyai nilai ketebalan lapisan sedimen yang tebal dan indeks kerentanan seismik yang tinggi maka risiko yang terjadi akibat gempa bumi akan meningkat dikarenakan pada wilayah tersebut akan terjadi amplifikasi atau perbesaran gelombang gempa bumi sehingga getaran yang dirasakan pada



permukaan akan semakin besar. Akibat dari semakin besarnya gelombang gempa bumi maka bangunan atau infrastruktur akan semakin rawan terjadinya kerusakan.

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai analisis ketebalan lapisan sedimen dan indeks kerentanan seismik di Kecamatan Pacitan menggunakan metode HVSR dilapangan. maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Berdasarkan perhitungan berdasarkan nilai faktor amplifikasi ( $A_g$ ) dan nilai frekuensi dominan ( $F_0$ ) yang didapatkan dari hasil pengolahan dengan metode HVSR maka didapatkan nilai indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) di Kecamatan Pacitan dengan berkisar antara 0,119880098 hingga 89,09713 dimana sebagian besar wilayahnya berada pada kategori rendah. Daerah yang memiliki nilai indeks kerentanan seismik terendah berada pada Desa Kembang (titik 24) serta daerah yang memiliki nilai tertinggi berada pada Desa Tanjungsari (titik 29).
2. Berdasarkan perhitungan menggunakan nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) dan kecepatan geser tanah hingga kedalam 30 meter ( $V_s30$ ) yang didapatkan dengan menginversi kurva HVSR dengan metode *Ellipticity Curve* maka didapatkan nilai ketebalan lapisan sedimen. Persebaran ketebalan lapisan sedimen ( $h$ ) di Kecamatan Pacitan berkisar antara 6,17 meter hingga 324,10 meter. Daerah yang memiliki lapisan sedimen paling tipis berada pada Desa Kembang (titik 24). sedangkan lapisan sedimen paling tebal berada pada Desa Ploso (titik 23).
3. Berdasarkan hasil persebaran nilai indeks kerentanan seismik dengan nilai ketebalan lapisan sedimen memiliki hubungan yang kuat. Hal itu dibuktikan dengan melakukan uji korelasi didapatkan bahwa koefisien korelasi antara parameter tersebut sebesar +0,729654764. Hasil tersebut menggambarkan bahwa korelasi indeks kerentanan seismik dengan ketebalan lapisan sedimen

kuat dan berbanding lurus. Selain itu, berdasarkan uji regresi linier didapatkan fungsi regresi yaitu  $y = 28,00279378 + 2,119353882x$ . Fungsi tersebut menjelaskan bahwa apabila nilai indeks kerentanan seismik adalah 0 maka nilai ketebalan lapisan sedimen adalah 28,43585356 meter. Sedangkan, apabila indeks kerentanan seismik mengalami kenaikan 1 satuan maka nilai ketebalan lapisan sedimen mengalami kenaikan sebesar 2,119353882 meter. Hasil perhitungan menjelaskan bahwa semakin tebal lapisan sedimen pada suatu wilayah maka akan meningkatkan nilai indeks kerentanan seismik. Hubungan kedua variabel tersebut memiliki pengaruh terhadap risiko gempa bumi yang terjadi karena terjadinya amplifikasi atau perbesaran gelombang sehingga bangunan yang berada di wilayah tersebut akan mengalami keruntuhan.

## 6.2 Saran

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

1. Perlu untuk dilakukan penelitian dengan interval yang lebih kecil sehingga pada saat pembuatan peta persebaran dapat lebih akurat.
2. Perlu untuk dilakukan pengambilan data bor yang lebih banyak untuk mengetahui lapisan penyusun permukaan sehingga pada saat proses inversi kurva HVSR dengan metode *ellipticity curve* dapat lebih menggambarkan wilayah.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrohman, A. (2020) Analisis Tingkat Risiko Bencana Gempa Bumi di Kabupaten Pacitan. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Arifin, S.S. et al. (2014) “Penentuan Zona Rawan Guncangan Bencana Gempa Bumi Berdasarkan Analisis Nilai Amplifikasi HVSR Mikrotremor dan Analisis Periode Dominan Daerah Liwa dan Sekitarnya,” *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, 2(1), hal. 30–46.
- Arifudin, A.M. (2018) Karakteristik Situs dan Kerentanan Seismik Di Kabupaten Klaten Dengan Metode Horizontal To Vertical Spectral Ratio (HVSR) Dari Data Mikrotremor. Universitas Islam Indonesia.
- Asnawi, Y. et al. (2020) “A Microtremor Survey To Identify Seismic Vulnerability Around Banda Aceh Using HVSR Analysis,” *Elkawnie: Journal of Islamic Science and Technology*, 6(2), hal. 342–358.
- Bonnefoy, S., Cotton, F. dan Bard, P. (2006) “The nature of noise wavefield and its applications for site effects studies,” *Earth-Science Reviews*, 79(3–4), hal. 205–227.
- Braile, P.L.W. (2006) “*Seismic Waves and the Slinky.*”
- Duarte, J.C. dan Schellart, W.P. (2016) “*Introduction to Plate Boundaries and Natural Hazards,*” *Plate Boundaries and Natural Hazards, Geophysical Monograph*
- Fadhilah, U. (2021) “Mikrozonasi Indeks Kerentanan Seismik di Kawasan Jalur Sesar Grindulu, Kabupaten Pacitan Berdasarkan Data Mikrotremor,” *Jurnal Ilmu Fisika dan Terapannya*, 8(2).
- Haerudin, N., Alami, F. dan Rustasi (2019) *Mikroseismik, Mikrotremor, dan Microearthquake Dalam Ilmu Kebumihan*. Bandarlampung: Pusaka Media.

- Labertta, S., Wibowo, N.B. dan Darmawan, D. (2013) “Mikrozonasi Indeks Kerentanan Seismik Berdasarkan Analisis Mikrotremor Di Kecamatan Jetis, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta,” in Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta, hal. F169–F174.
- Lachet, C. dan Bard, P.Y. (1995) *Theoretical Investigations on the Nakamura 's Technique*. 10.06.
- Lubis, A.M. *et al.* (2021) “Penentuan Ketebalan Sedimen pada Segmen Kumering, Sesar Sumatra di Daerah Liwa Lampung Barat dengan Menggunakan Metode Seismik Aktif MASW,” *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, 12(3), hal. 137–147.
- Mirzaoglu, M. dan Dýkmen, Ü. (2003) “*Application of microtremors to seismic microzoning procedure*,” *Balkan Geophysical Society*, 6(3), hal. 143–156.
- Nakamura, Y. (1989) “*A Method for Dynamic Characteristics Estimastion of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface*,” *Railway Technical Research Instituteway Technical Research Institute*, 30(1), hal. 25–33.
- Nakamura, Y. (1997) “*Seismic Vulnerability Indices For Ground And Structures Yutaka Nakamura*,” in *World Congress on Railway Research*. Florence, hal. 1–7.
- Nakamura, Y. (2000) “*Clear Identification of Fundamental Idea of Nakamura's Technique and Its Applications*.”
- Badan Standarisasi Nasional, (2019). SNI 1726:2019, Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Nongedung. Badan Standarisasi Nasional : Jakarta.
- Patimah, S. (2017) Analisis Litologi Bawah Permukaan Berdasarkan Ground Profiles Kecepatan Gelombang Geser Dengan Metode Ellipticity Curve Di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno Kabupaten Klaten. Universitas Negeri Yogyakarta.
- Tim Pusat Studi Gempa Nasional. (2017) Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017. Kabupaten Bandung : Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

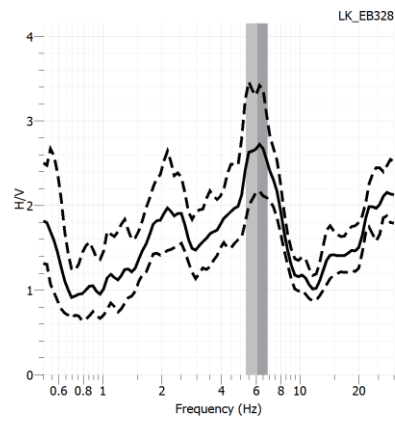
- Ristanti, N.A. (2018) Identifikasi dan Permodelan Struktur Bawah Permukaan Berdasarkan Metode Gravitasi di Daerah Sesar Grindulu Pacitan Jawa Timur. Universitas Brawijaya.
- Rusdin, A.A. *et al.* (2018) “Analisis Pengaruh Karakteristik Sedimen dan Kedalaman Muka Air Tanah Terhadap Indeks Kerentanan Seismik Kota Makassar,” in *Optimalisasi Geosains Dalam Era MEA*.
- Samodra, H. (1992) “Peta Geologi Lembar Pacitan.” Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Satria, A. *et al.* (2020) “Analisis ketebalan lapisan sedimen dan indeks kerentanan seismik kota jambi bagian timur,” *Geofisika Eksplorasi*, 6(1), hal. 18–30.
- Schober, P. dan Boer, C. (2018) “*Correlation Coefficients: Appropriate Use and Interpretation*,” *anesthesia-analgesia*, 126(5), hal. 1763–1768.
- SESAME (2004) *Guidelines For The Implementation Of The H/V Spectral Ratio Technique On Ambient Vibrations, Europe: SESAME European Research Project*.
- Setiawan, J.H. (2009) Mikrozonasi Seismitas Daerah Yogyakarta dan Sekitarnya. Institut Teknologi Bandung.
- Sulistiyani (2012) Kajian Terhadap Indeks Bahaya Seismik Regional Menggunakan Data Seismik Di Pulau Jawa Dari Tahun 1900 - 2006. Universitas Sebelas Maret.
- Sungkono *et al.* (2011) “*Evaluation of Buildings Strength from Microtremor Analyses*,” *International Journal of Civil & Environmental Engineering IJCEE-IJENS*, 11(5), hal. 108–114.
- Sungkowo, A. (2016) *Studi Kerentanan Seismik dan Karakteristik Dinamik Tanah Di Kota Yogyakarta Dari Data Mikrotremor*. Universitas Islam Indonesia.
- Syaifuddin, F. *et al.* (2016) “*Microtremor Study of Gunung Anyar Mud Volcano , Surabaya , East Java*.”
- Wibowo, N.B., Sembri, J.N. dan Darmawan, D. (2018) “Intepretasi Lapisan Sedimen berdasarkan Ground Profile Vs dengan Pengukuran Mikrotremor di Kecamatan Pacitan,” *Indonesian Journal of Applied Physics*, 8(1), hal. 32–42.

- Wibowo, S.T. (2016) *Penentuan Metode Permodelan Deformasi Komponen Sekelat Wilayah Indonesia Berdasarkan Data Pengamatan Geodetik*. Institut Teknologi Bandung.
- Zuliyanti, R. (2018) *Analisis Parameter Mikrotremor di Kawasan Jalur Sesar Grindulu Pacitan*. Universitas Negeri Yogyakarta.

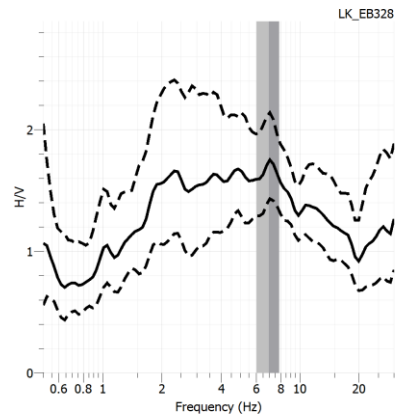
# LAMPIRAN



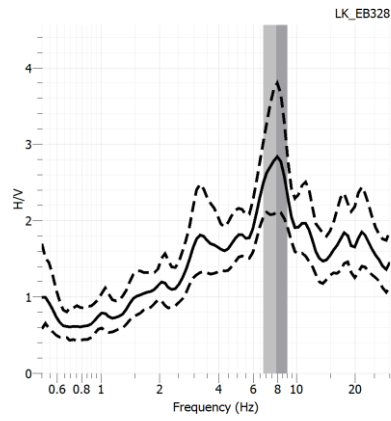
### Lampiran 1 Gambar Kurva HVSR



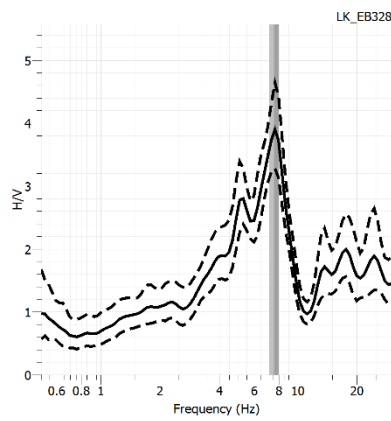
**Gambar L – 1.1 Kurva HVSR Titik 1**



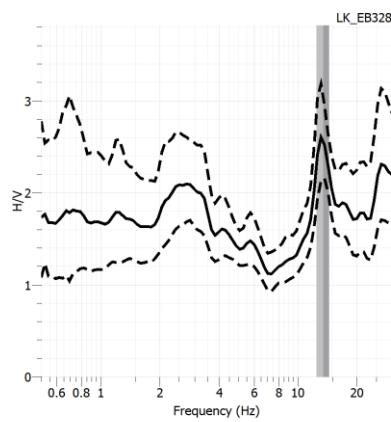
**Gambar L – 1.2 Kurva HVSR Titik 2**



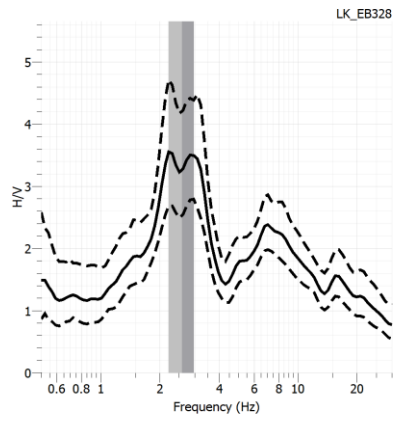
**Gambar L – 1.3 Kurva HVSR Titik 3**



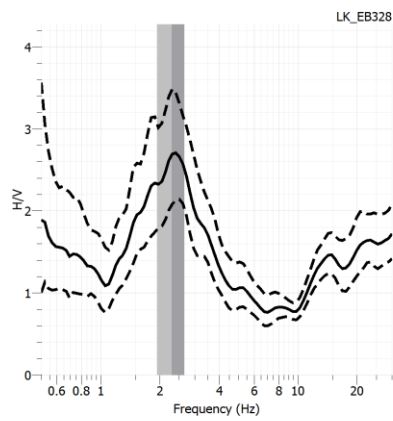
**Gambar L – 1.4 Kurva HVSR Titik 4**



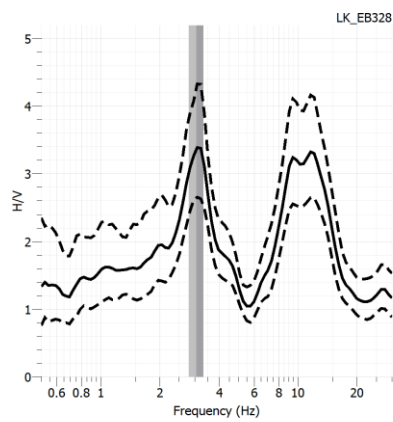
**Gambar L – 1.5 Kurva HVSR Titik 5**



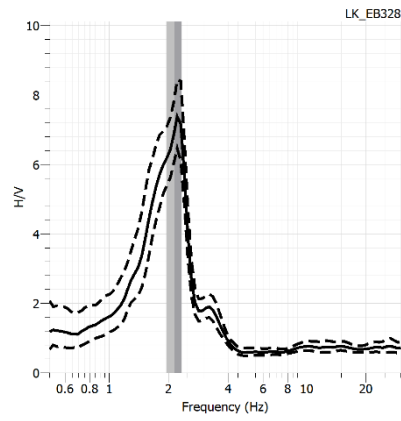
**Gambar L – 1.6 Kurva HVSR Titik 6**



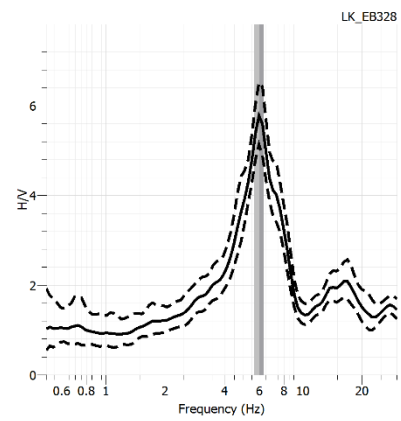
**Gambar L – 1.7 Kurva HVSR Titik 7**



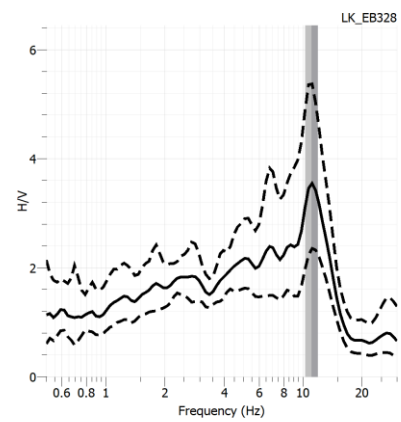
**Gambar L – 1.8 Kurva HVSR Titik 8**



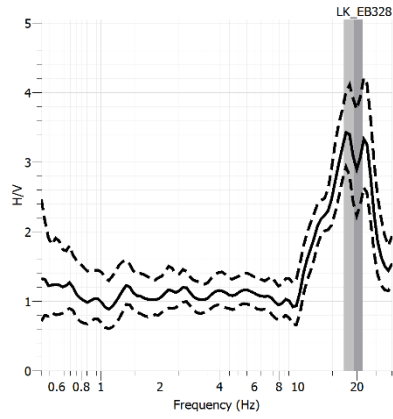
**Gambar L – 1.9 Kurva HVSR Titik 9**



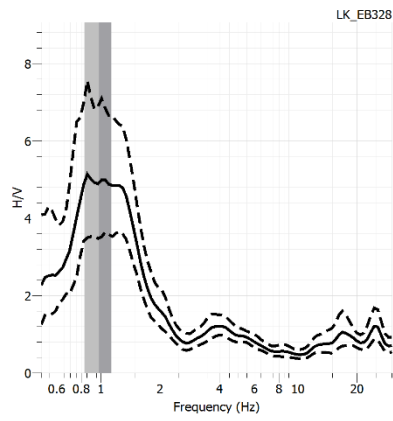
**Gambar L – 1.10 Kurva HVSR Titik 10**



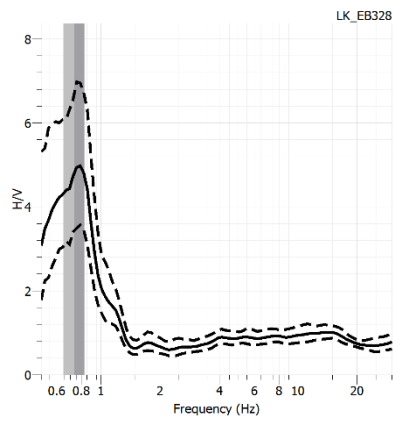
**Gambar L – 1.11 Kurva HVSR Titik 11**



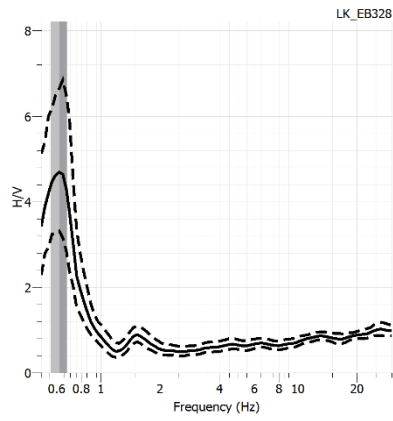
**Gambar L – 1.12 Kurva HVSR Titik 12**



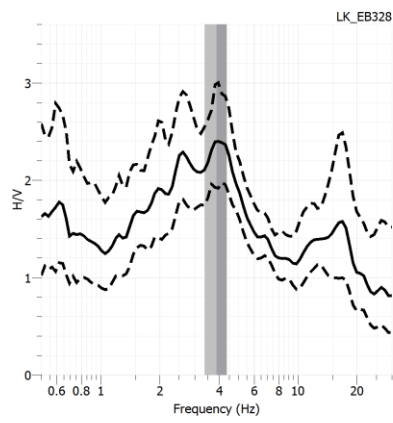
**Gambar L – 1.13 Kurva HVSR Titik 13**



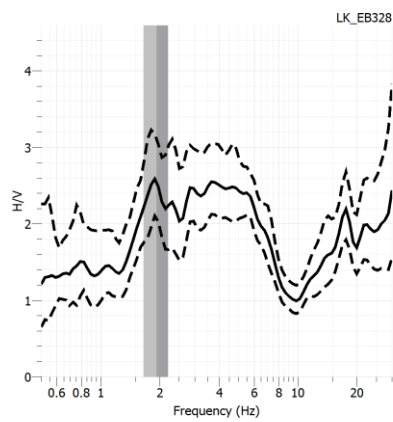
**Gambar L – 1.14 Kurva HVSR Titik 14**



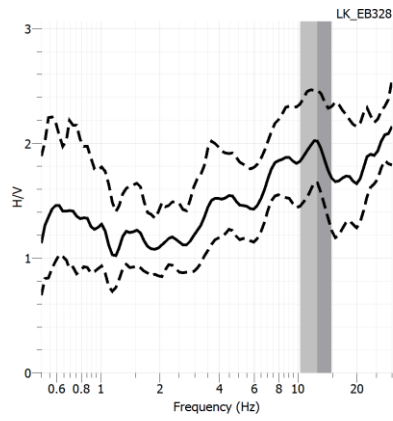
**Gambar L – 1.15 Kurva HVSR Titik 15**



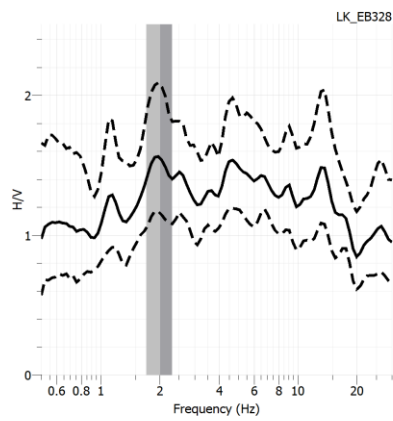
**Gambar L – 1.16 Kurva HVSR Titik 16**



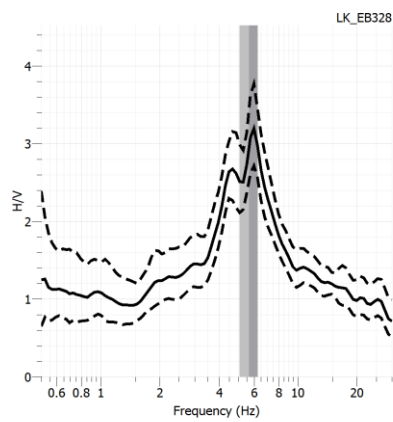
**Gambar L – 1.17 Kurva HVSR Titik 17**



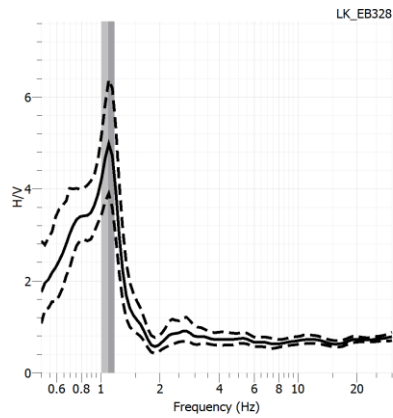
**Gambar L – 1.18 Kurva HVSR Titik 18**



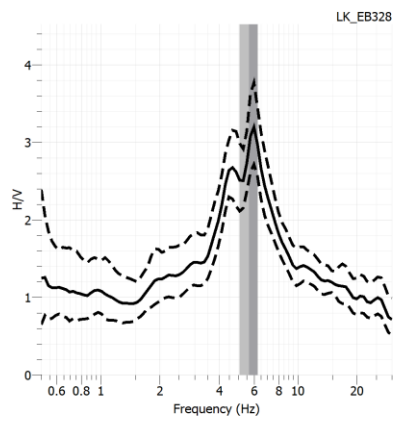
**Gambar L – 1.19 Kurva HVSR Titik 19**



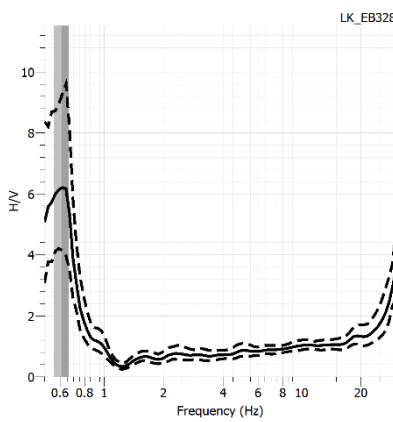
**Gambar L – 1.20 Kurva HVSR Titik 20**



**Gambar L – 1.21 Kurva HVSR Titik 21**

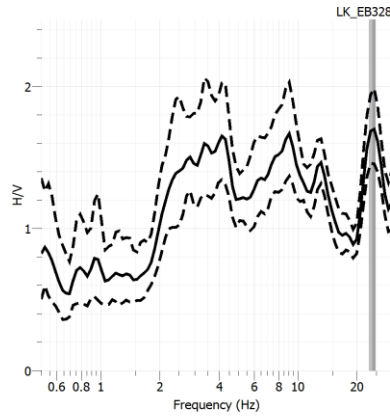


**Gambar L – 1.22 Kurva HVSR Titik 22**

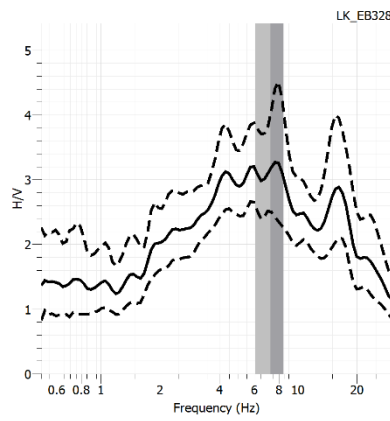


**Gambar L – 1.23 Kurva HVSR Titik 23**

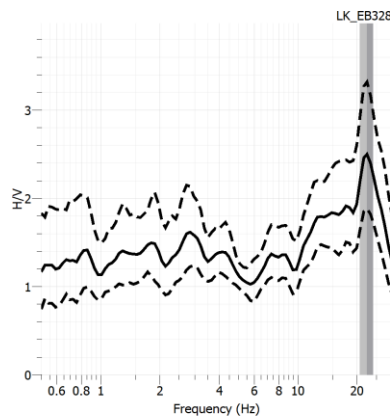




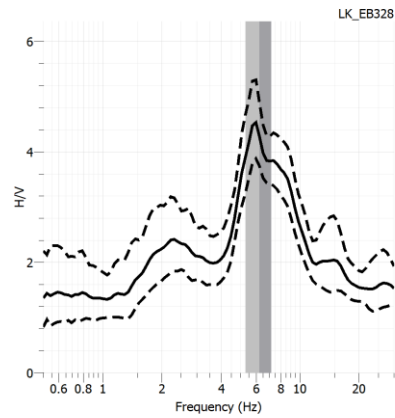
**Gambar L – 1.24 Kurva HVSR Titik 24**



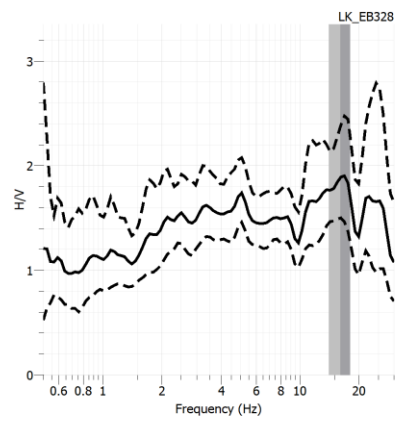
**Gambar L – 1.25 Kurva HVSR Titik 25**



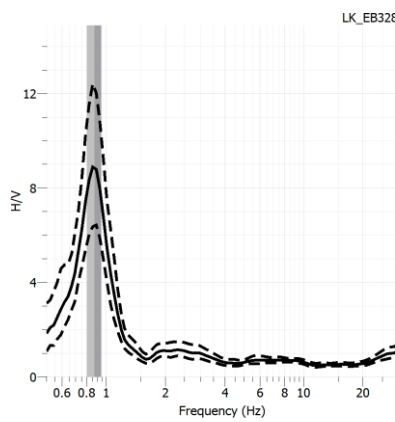
**Gambar L – 1.26 Kurva HVSR Titik 26**



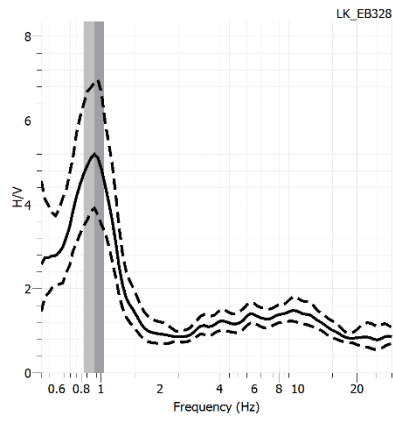
**Gambar L – 1.27 Kurva HVSR Titik 27**



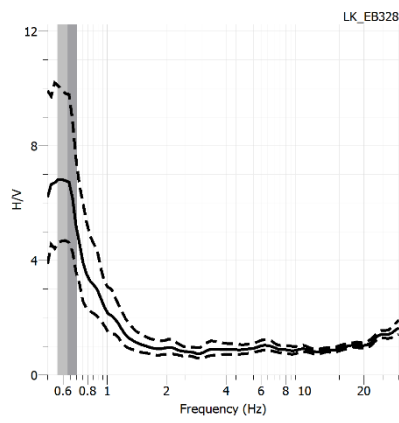
**Gambar L – 1.28 Kurva HVSR Titik 28**



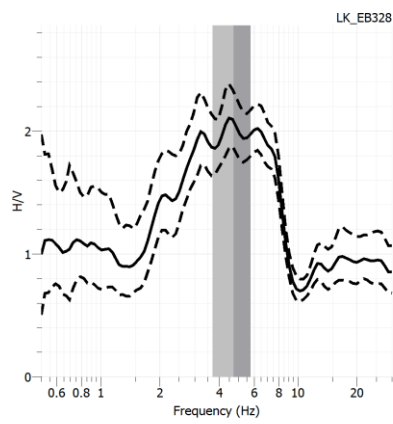
**Gambar L – 1.29 Kurva HVSR Titik 29**



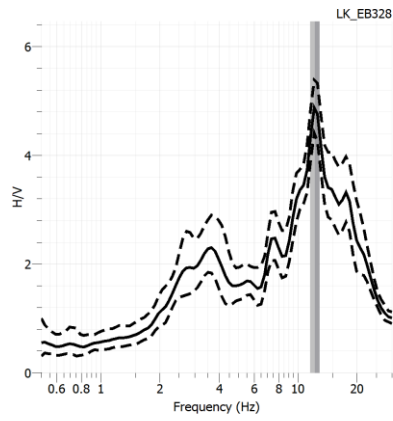
**Gambar L – 1.30 Kurva HVSR Titik 30**



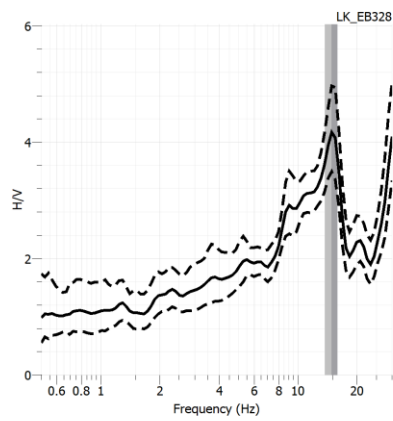
**Gambar L – 1.31 Kurva HVSR Titik 31**



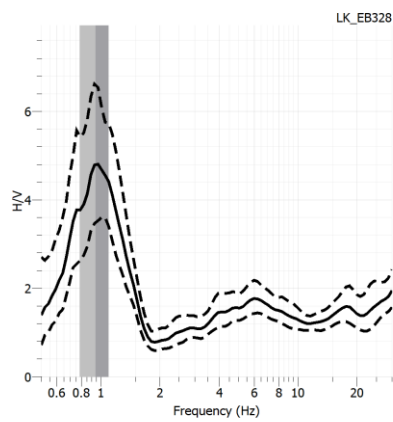
**Gambar L – 1.32 Kurva HVSR Titik 32**



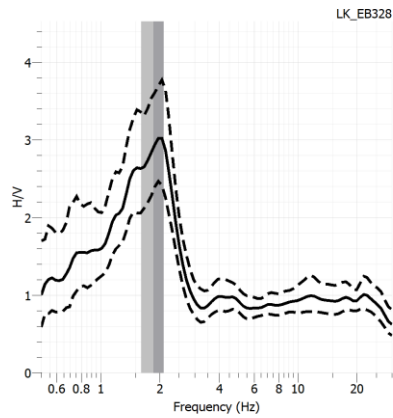
**Gambar L – 1.33 Kurva HVSR Titik 33**



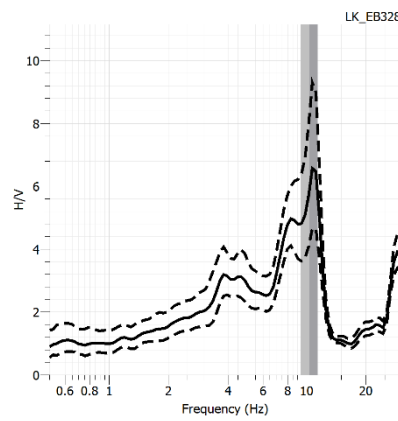
**Gambar L – 1.34 Kurva HVSR Titik 34**



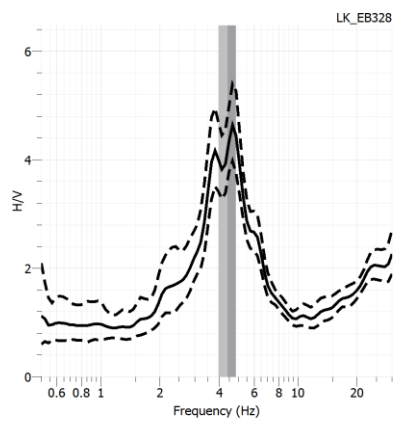
**Gambar L – 1.35 Kurva HVSR Titik 35**



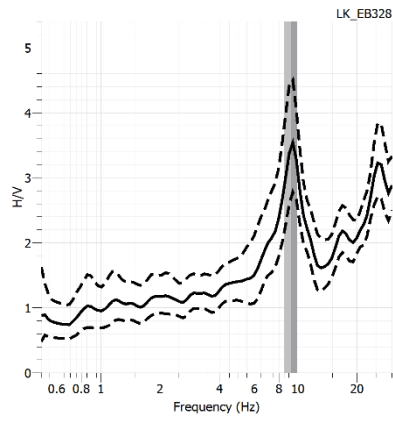
**Gambar L – 1.36 Kurva HVSR Titik 36**



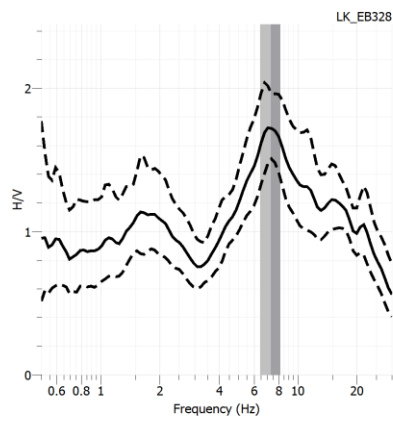
**Gambar L – 1.37 Kurva HVSR Titik 37**



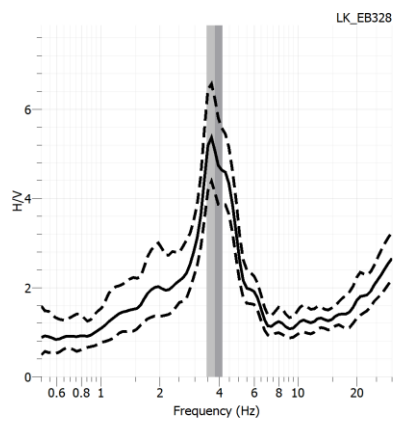
**Gambar L – 1.38 Kurva HVSR Titik 38**



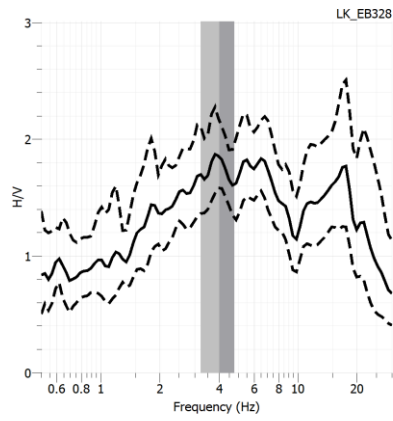
**Gambar L – 1.39 Kurva HVSR Titik 39**



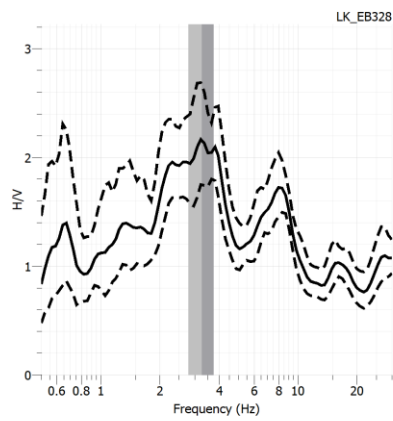
**Gambar L – 1.40 Kurva HVSR Titik 40**



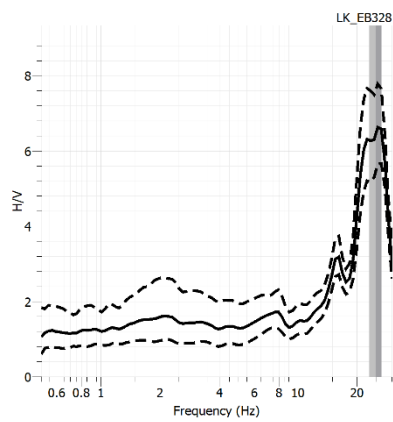
**Gambar L – 1.41 Kurva HVSR Titik 41**



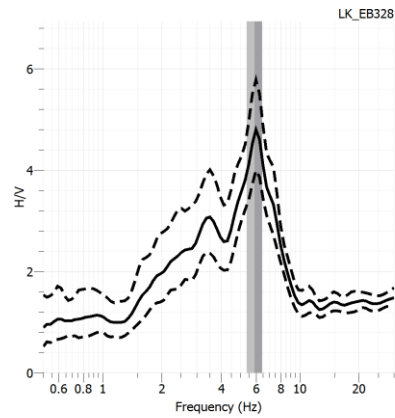
**Gambar L – 1.42 Kurva HVSR Titik 42**



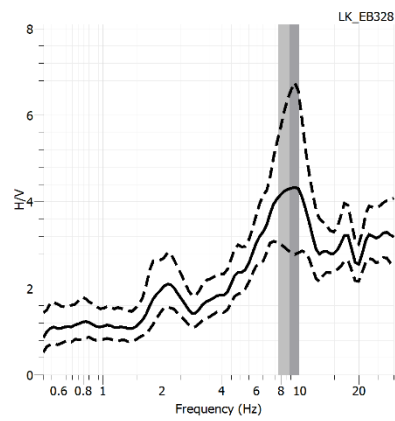
**Gambar L – 1.43 Kurva HVSR Titik 43**



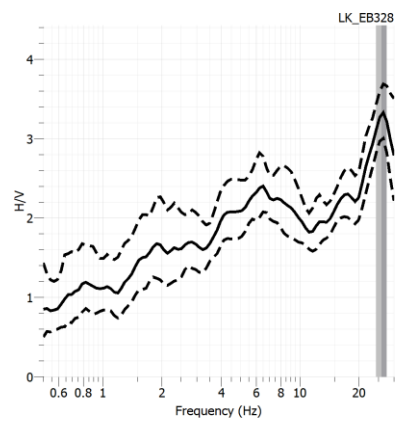
**Gambar L – 1.44 Kurva HVSR Titik 44**



**Gambar L – 1.45 Kurva HVSR Titik 45**



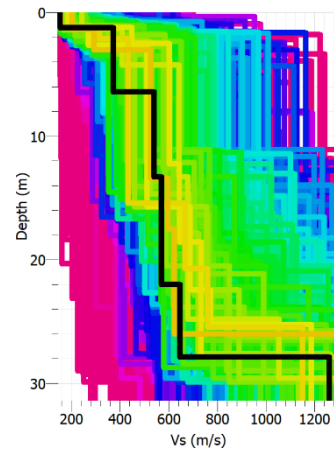
**Gambar L – 1.46 Kurva HVSR Titik 46**



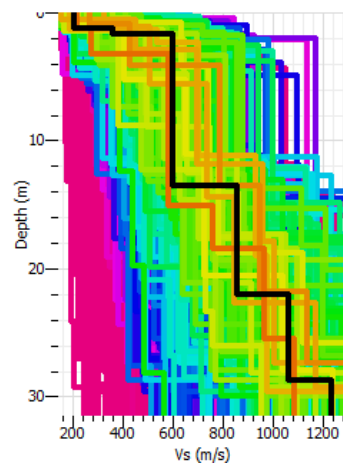
**Gambar L – 1.47 Kurva HVSR Titik 47**



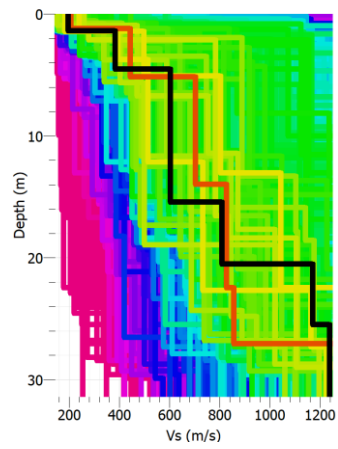
## Lampiran 2 Grafik Inversi Kurva HVSR



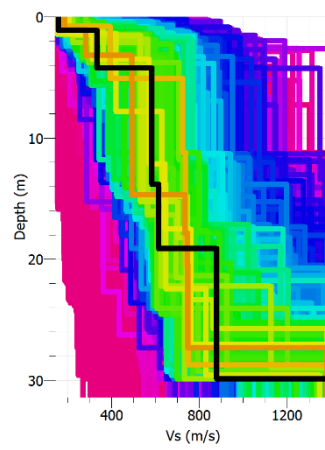
**Gambar L – 2.1 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 1**



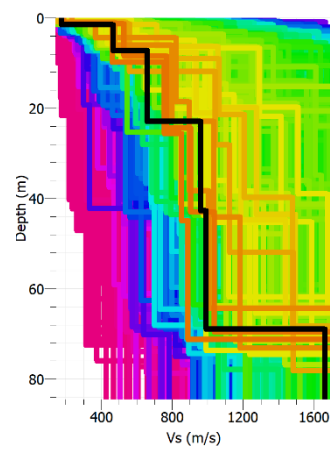
**Gambar L – 2.2 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 2**



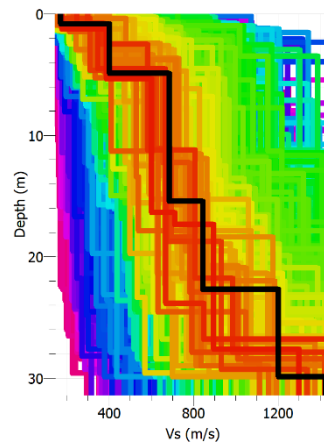
**Gambar L – 2.3 Grafik Inversi Kurva HVSr Titik 3**



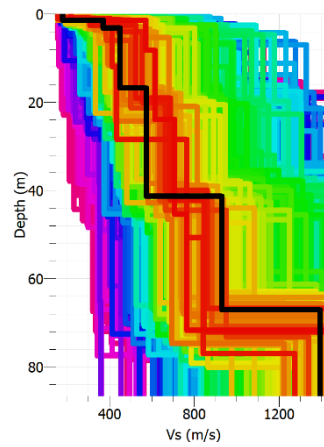
**Gambar L – 2.4 Grafik Inversi Kurva HVSr Titik 4**



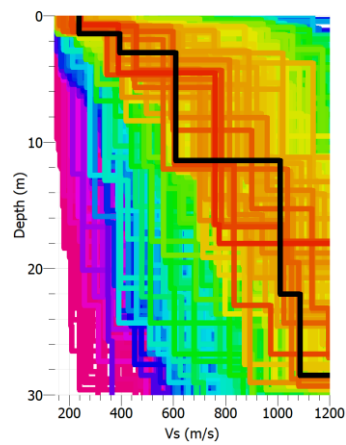
**Gambar L – 2.5 Grafik Inversi Kurva HVSr Titik 5**



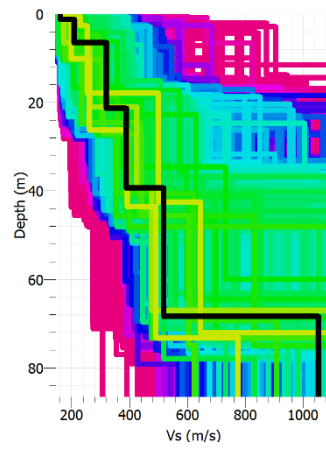
**Gambar L – 2.6 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 6**



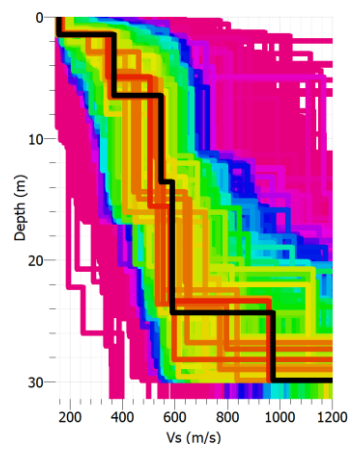
**Gambar L – 2.7 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 7**



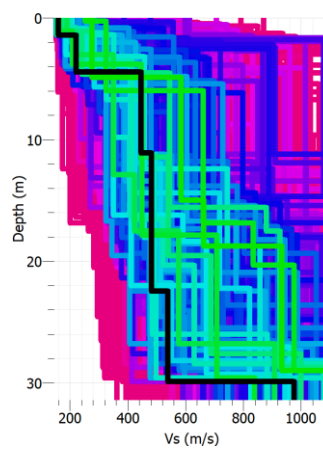
**Gambar L – 2.8 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 8**



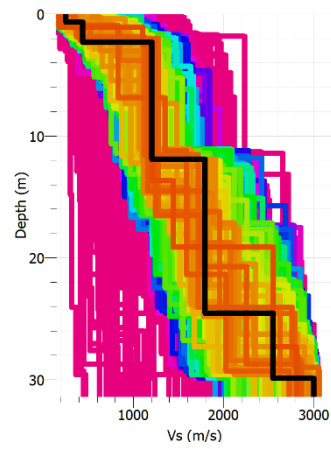
**Gambar L – 2.9 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 9**



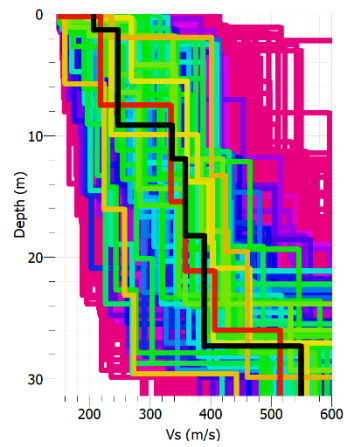
**Gambar L – 2.10 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 10**



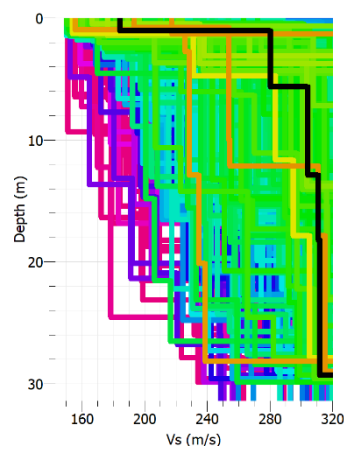
**Gambar L – 2.11 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 11**



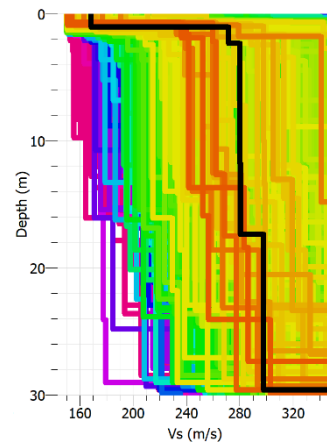
**Gambar L – 2.12 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 12**



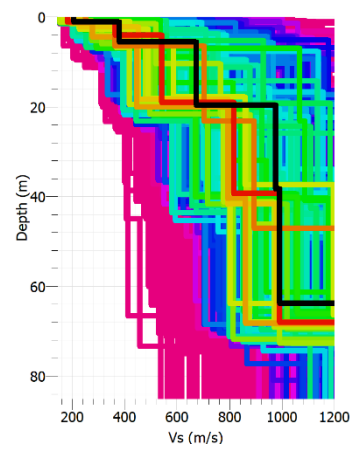
**Gambar L – 2.13 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 13**



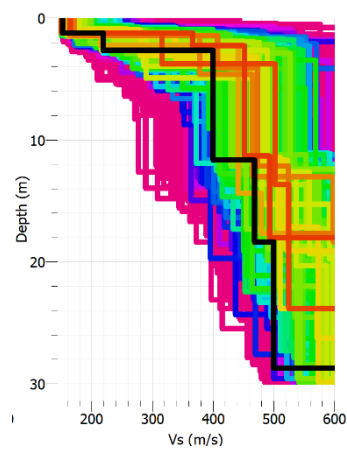
**Gambar L – 2.14 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 14**



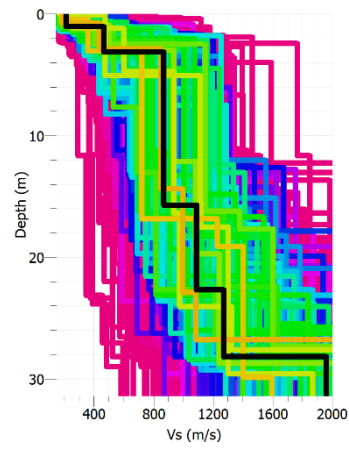
**Gambar L – 2.15 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 15**



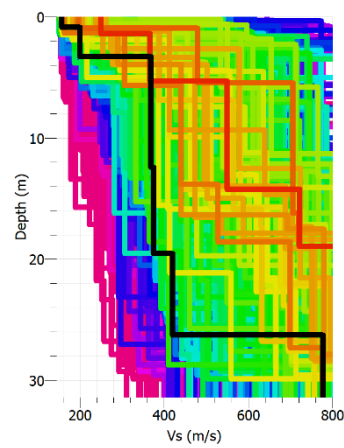
**Gambar L – 2.16 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 16**



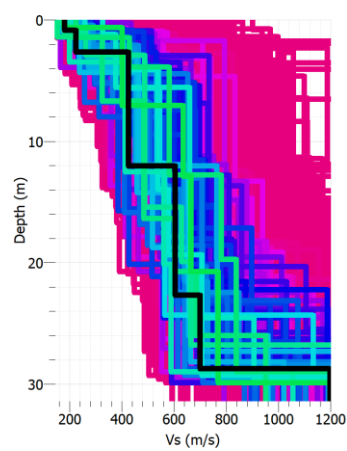
**Gambar L – 2.17 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 17**



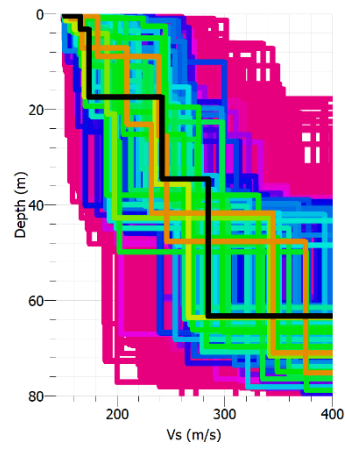
**Gambar L – 2.18 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 18**



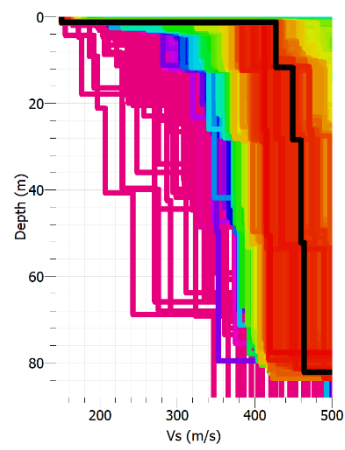
**Gambar L – 2.19 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 19**



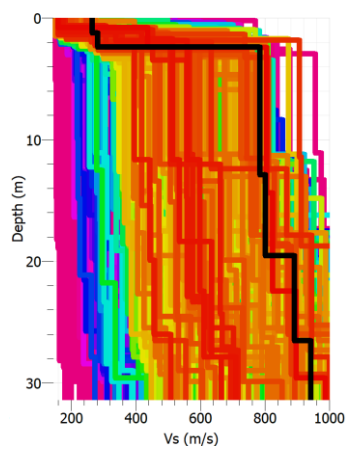
**Gambar L – 2.20 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 20**



**Gambar L – 2.21 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 21**

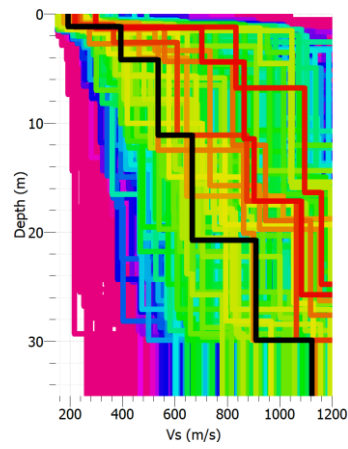


**Gambar L – 2.22 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 22**

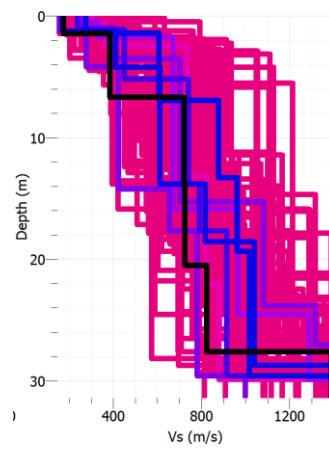


**Gambar L – 2.23 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 23**

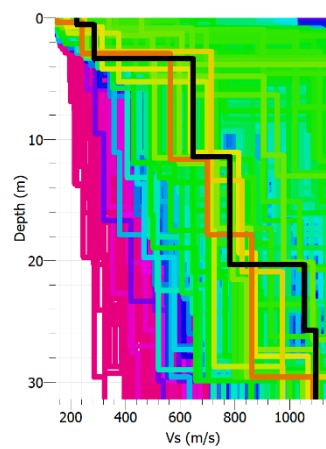




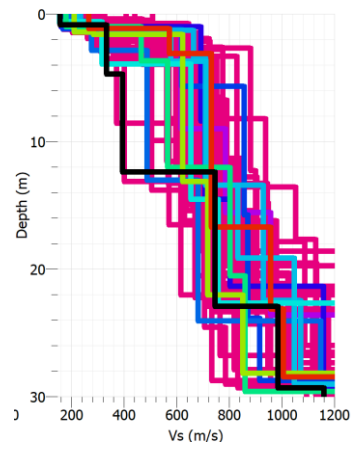
**Gambar L – 2.24 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 24**



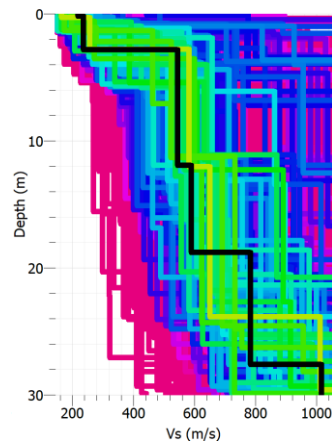
**Gambar L – 2.25 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 25**



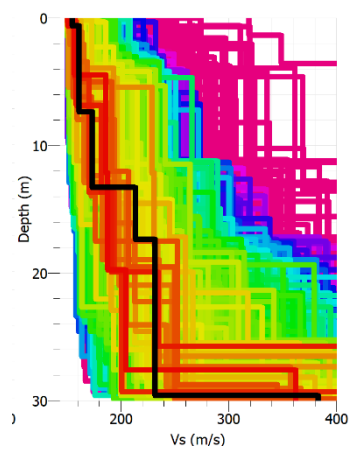
**Gambar L – 2.26 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 26**



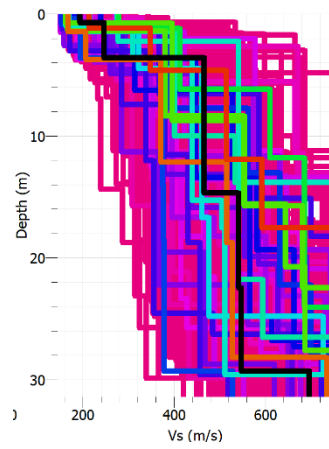
**Gambar L – 2.27 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 27**



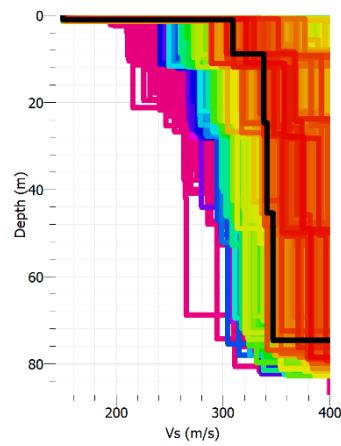
**Gambar L – 2.28 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 28**



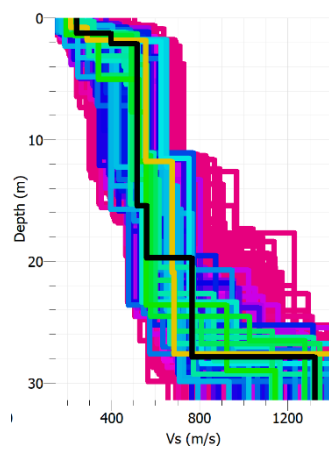
**Gambar L – 2.29 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 29**



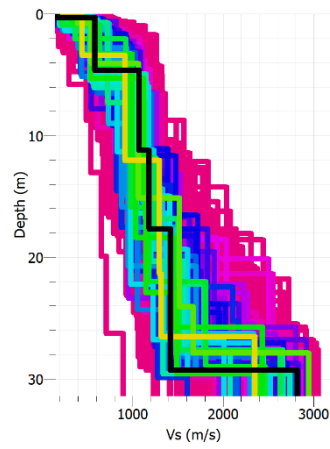
**Gambar L – 2.30 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 30**



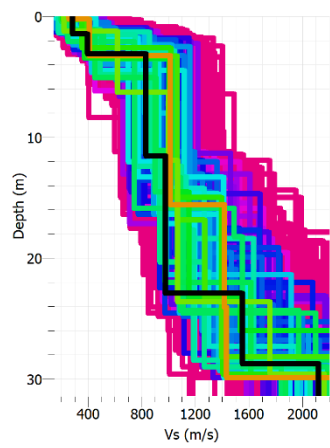
**Gambar L – 2.31 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 31**



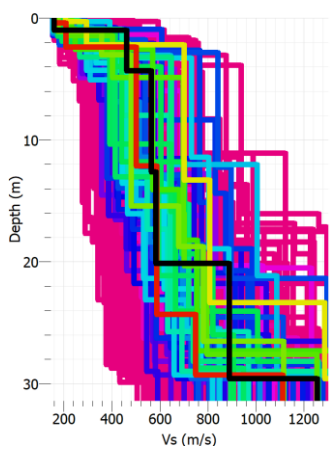
**Gambar L – 2.32 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 32**



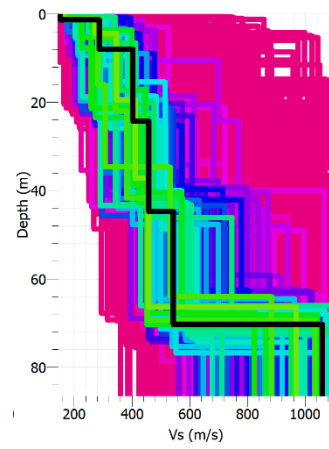
**Gambar L – 2.33 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 33**



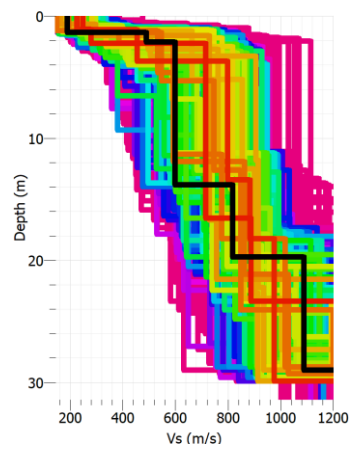
**Gambar L – 2.34 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 34**



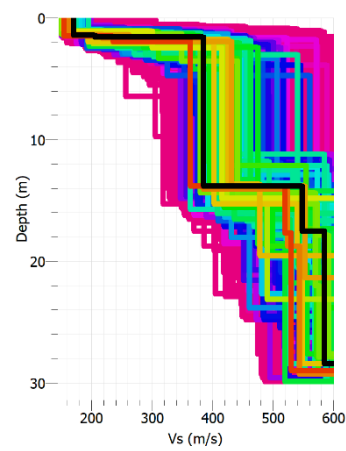
**Gambar L – 2.35 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 35**



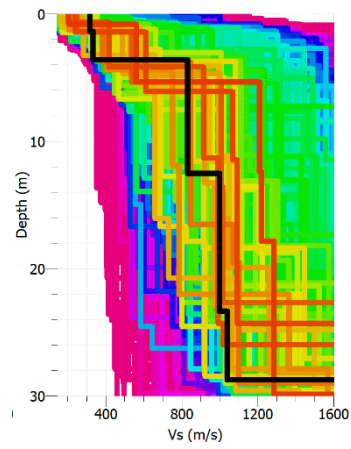
**Gambar L – 2.36 Grafik Inversi Kurva HVSr Titik 36**



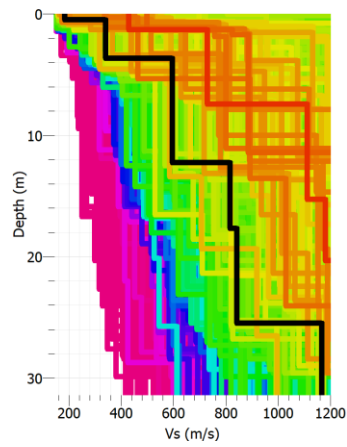
**Gambar L – 2.37 Grafik Inversi Kurva HVSr Titik 37**



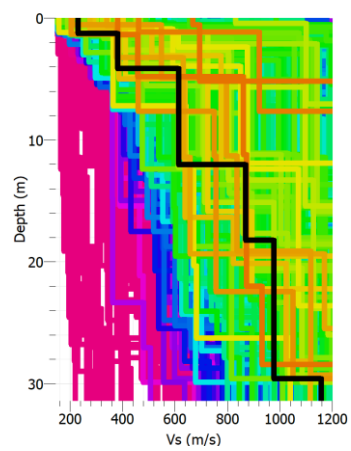
**Gambar L – 2.38 Grafik Inversi Kurva HVSr Titik 38**



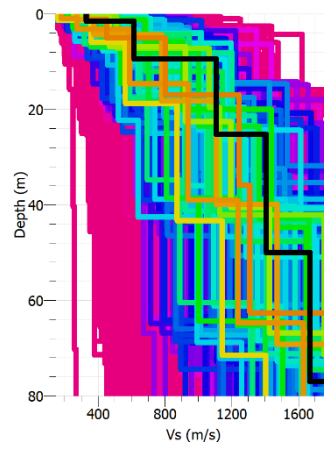
**Gambar L – 2.39 Grafik Inversi Kurva HVSr Titik 39**



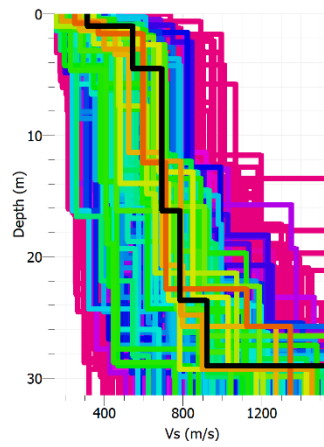
**Gambar L – 2.40 Grafik Inversi Kurva HVSr Titik 40**



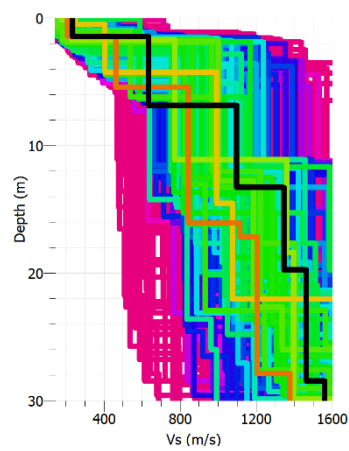
**Gambar L – 2.41 Grafik Inversi Kurva HVSr Titik 41**



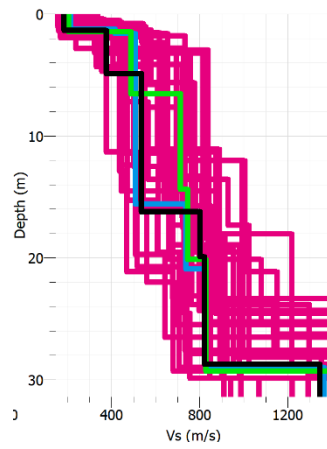
**Gambar L – 2.42 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 42**



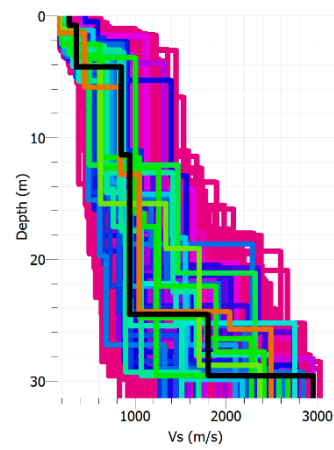
**Gambar L – 2.43 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 43**



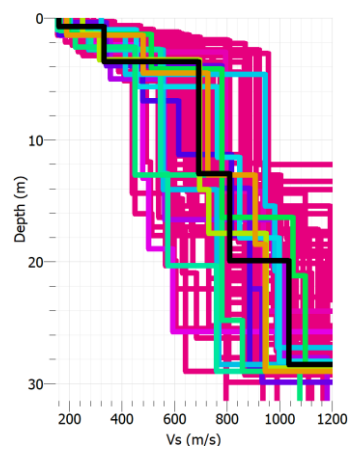
**Gambar L – 2.44 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 44**



**Gambar L – 2.45 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 45**



**Gambar L – 2.46 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 46**



**Gambar L – 2.47 Grafik Inversi Kurva HVSR Titik 47**



### Lampiran 3 Dokumentasi Pada Saat Penelitian



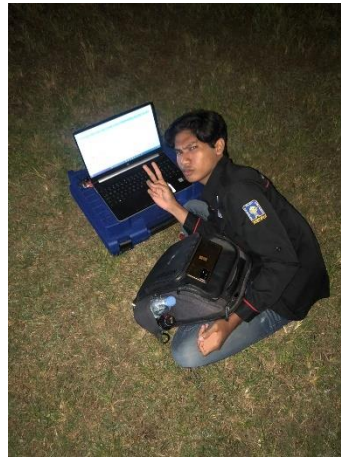
**Gambar L – 3.1 Dokumentasi Penelitian Titik 1**



**Gambar L – 3.2 Dokumentasi Penelitian Titik 2**



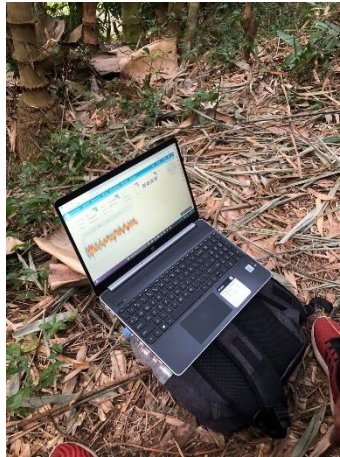
**Gambar L – 3.3 Dokumentasi Penelitian Titik 17**



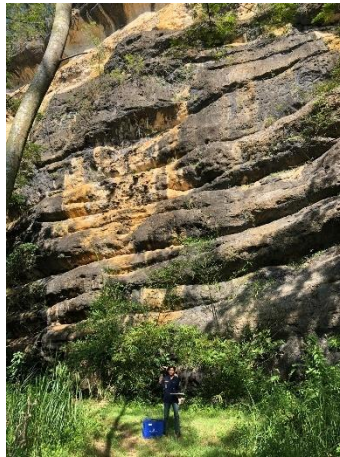
**Gambar L – 3.4 Dokumentasi Penelitian Titik 21**



**Gambar L – 3.5 Dokumentasi Penelitian 28**



**Gambar L – 3.6 Dokumentasi Penelitian Titik 34**



**Gambar L – 3.7 Dokumentasi Penelitian Titik 40**



**Gambar L – 3.8 Dokumentasi Penelitian Titik 42**

## Lampiran 4 Surat Perizinan Penelitian di Kecamatan Pacitan



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN | PROGRAM STUDI  
TEKNIK SIPIL

Nomor : Yogyakarta, 08 May 2023  
Lampiran :  
Hal : **Permohonan Izin Penelitian TA & Pengambilan Data untuk TA.**

Kepada Yth:  
Bpk/Ibu Kepala Badan Kesatuan Bangsa dan Politik  
Kabupaten Pacitan, Jawa Timur

di Tempat

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

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

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

NAMA : **ELZAN FAIQAL HUDHA**  
NO. MAHASISWA : **19511237**  
JUDUL TUGAS AKHIR : **ANALISIS KETEBALAN LAPISAN SEDIMEN DAN INDEKS KERENTANAN SEISMIK DI KECAMATAN PACITAN KABUPATEN PACITAN MENGGUNAKAN METODE MIKROTREMOR HVSR**

NAMA : **MUHAMMAD KANZ AIMAN**  
NO. MAHASISWA : **19511258**  
JUDUL TUGAS AKHIR : **PEMETAAN KERENTANAN GEMPA DI KECAMATAN PACITAN MENGGUNAKAN PENGUKURAN MIKROTREMOR DENGAN METODE HVSR**

Demikian Permohonan ini kami sampaikan, atas bantuannya dan kerjasamanya kami ucapkan banyak terima kasih.  
Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 08 May 2023  
Sekretaris Prodi Teknik Sipil

Dinia Anggraheni S.T., M.Eng.

Gedung KH. Moch. Natsir Lt.1 Sayap Timur  
Jl. Kalurang Km 14,5 Yogyakarta  
T. (0274) 898444 ext. 3235  
F. (0274) 895330

**Gambar L – 4.1 Surat Perizinan Penelitian di Kecamatan Pacitan**



## Lampiran 5 Surat Balasan Perizinan Penelitian di Kecamatan Pacitan



### PEMERINTAH KABUPATEN PACITAN BADAN KESATUAN BANGSA DAN POLITIK

JL. Ronggowarsito No. 07 Telp. ( 0357 ) 881066  
email : bakesbangpol@pacitankab.go.id

#### REKOMENDASI PENELITIAN

NOMOR : 072 /373 / 408.58 / 2023

- Dasar :
1. Undang-undang Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2002 tentang Sistem Nasional Penelitian , Pengembangan, dan Penerapan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi;
  2. Undang-undang Republik Indonesia Nomor 23 Tahun 2014 Tentang Pemerintah Daerah;
  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;
  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
- Memperhatikan :
- Surat Sekretaris Prodi Sarjana Teknik Sipil tanggal 09 Mei 2023, Nomor : 81/Sek.Prodi/20/FTSP/V/2023, Perihal: Permohonan Ijin Penelitian

Kepala Badan Kesatuan Bangsa dan Politik Kab. Pacitan, memberikan rekomendasi kepada :

- a. Nama : **ELZAN FAIQAL HUDHA**
- b. Alamat : Sandirejo, Sardonoharjo, Kec. Ngaklik, Kab. Sleman, DIY
- c. Telp/NIM : 085801231511
- d. Lembaga/Instansi : Universitas Islam Indonesia
- e. Pekerjaan/Jabatan : Mahasiswa

Untuk melakukan penelitian/survey/kegiatan dengan :

- a. Nama Kegiatan : **"Analisis Ketebalan Lapisan Sedimen dan Indeks Kerentanan Seismik di Kecamatan Pacitan Menggunakan Metode Mikrotremor HSVR "**
- b. Tujuan : Izin Penelitian
- c. Bidang Kegiatan : Teknik Sipil
- d. Penanggungjawab : Elvis Saputra, 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 – 5.1 Surat Balasan Perizinan Penelitian di Kecamatan Pacitan

- 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**



**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 – 5.2 Surat Balasan Perizinan Penelitian di Kecamatan Pacitan**