

**KARAKTERISASI *SUBSURFACE* BERDASARKAN ANALISIS  
METODE *HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO*  
UNTUK MITIGASI POTENSI BENCANA GEOLOGI DI  
DAERAH SUOH, LAMPUNG BARAT**

**(Skripsi)**

**Oleh**

**NOFITA FATMAWATI  
NPM 2215051022**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2026**

**KARAKTERISASI *SUBSURFACE* BERDASARKAN ANALISIS  
METODE *HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO* UNTUK  
MITIGASI POTENSI BENCANA GEOLOGI DI DAERAH SUOH,  
LAMPUNG BARAT**

**Oleh**

**NOFITA FATMAWATI**

**Skripsi**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
SARJANA TEKNIK**

**Pada**

**Jurusan Teknik Geofisika  
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2026**

## ABSTRAK

### KARAKTERISASI *SUBSURFACE* BERDASARKAN ANALISIS METODE *HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO* UNTUK MITIGASI POTENSI BENCANA GEOLOGI DI DAERAH SUOH, LAMPUNG BARAT

Oleh

**NOFITA FATMAWATI**

Daerah Suoh merupakan salah satu kawasan vulkanik–tektonik aktif dengan kondisi geologi kompleks yang terbentuk akibat interaksi aktivitas vulkanik dan dinamika tektonik regional, sehingga berpotensi terhadap bahaya gempabumi dan likuifaksi. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi potensi bahaya gempabumi, potensi likuifaksi, serta mengkarakterisasi struktur bawah permukaan sebagai dasar mitigasi potensi bencana geologi menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr) berbasis analisis mikrotremor. Metode penelitian meliputi pengukuran mikrotremor pada 14 titik pengukuran di daerah penelitian, pengolahan kurva HVSr untuk memperoleh parameter frekuensi dominan, faktor amplifikasi, dan indeks kerentanan seismik, serta inversi kurva HVSr untuk menentukan nilai  $V_{S30}$ , nilai *poisson ratio*, dan ketebalan lapisan sedimen. Parameter-parameter tersebut selanjutnya dianalisis dan dipetakan secara spasial untuk menggambarkan distribusi kondisi bawah permukaan dan tingkat kerentanan wilayah. Hasil penelitian menunjukkan nilai frekuensi dominan berkisar 1,64–6,58 Hz yang mengindikasikan keberadaan sedimen tebal dan relatif lunak dengan potensi resonansi tanah–bangunan. Nilai indeks kerentanan seismik berkisar antara 0,28–9,43 yang menunjukkan kondisi wilayah umumnya stabil hingga cukup rentan pada zona tertentu. Nilai  $V_{S30}$  sebesar 166–320 m/s serta nilai *poisson ratio* yang relatif tinggi mengindikasikan dominasi sedimen lunak jenuh air yang berpotensi mengalami likuifaksi. Penelitian ini menunjukkan bahwa kondisi bawah permukaan di daerah Suoh dicirikan oleh variasi litologi, ketebalan sedimen, serta keberadaan zona lemah yang berkaitan dengan aktivitas geologi aktif, sehingga berpotensi mengalami deformasi akibat aktivitas seismik dan menjadi dasar penting dalam upaya mitigasi potensi bencana geologi.

Kata kunci: Mitigasi Bencana Geologi, Struktur Bawah Permukaan, Metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio*

## ABSTRACT

### **SUBSURFACE CHARACTERIZATION BASED ON HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RASIO ANALYSIS FOR GEOLOGICAL HAZARD MITIGATION IN THE SUOH AREA, WEST LAMPUNG**

By

**NOFITA FATMAWATI**

The Suoh area is an active volcanic–tectonic region with complex geological conditions formed by the interaction of volcanic activity and regional tectonic dynamics, making it potentially susceptible to earthquake and liquefaction hazards. This study aims to identify earthquake hazard potential, liquefaction potential, and characterize subsurface structures as a basis for geological disaster mitigation using the Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR) method based on microtremor analysis. The research method includes microtremor measurements at 14 observation points in the study area, HVSR curve processing to obtain dominant frequency, amplification factor, and seismic vulnerability index parameters, as well as HVSR curve inversion to determine  $V_{S30}$  values, Poisson’s ratio, and sediment layer thickness. These parameters were subsequently analyzed and spatially mapped to describe the distribution of subsurface conditions and regional vulnerability levels. The results show dominant frequency values ranging from 1.64 to 6.58 Hz, indicating the presence of thick and relatively soft sediments with potential soil–structure resonance. The seismic vulnerability index ranges from 0.28 to 9.43, indicating generally stable to moderately vulnerable conditions in certain zones.  $V_{S30}$  values of 166–320 m/s and relatively high Poisson’s ratio indicate the dominance of water-saturated soft sediments with potential liquefaction susceptibility. The study reveals that subsurface conditions in the study area are characterized by lithological variations, sediment thickness, and the presence of weak zones associated with active geological processes, which may lead to deformation due to seismic activity and provide an important basis for geological disaster mitigation.

Keywords: Geological Disaster Mitigation, Subsurface Structure, Horizontal to Vertical Spectral Ratio Method

Judul Skripsi : Karakterisasi *Subsurface* Berdasarkan Analisis Metode *Horizontal To Vertical Spectral Ratio* Untuk Mitigasi Potensi Bencana Geologi Di Daerah Suoh, Lampung Barat

Nama Mahasiswa : **Nofita Fatmawati**

Nomor Pokok Mahasiswa : 2215051022

Program Studi : Teknik Geofisika

Fakultas : Teknik



Pembimbing 1

Pembimbing 2

Prof. Dr. Ir. Muh Sarkowi, S.Si, M.Si., IPU.  
NIP 197112101997021001

Rahmi Mulyasari, S.Pd., M.T.  
NIP 199102072018032001

2. Ketua Jurusan Teknik Geofisika

Dr. Ir. Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si., C.EIA, IPM.  
NIP 197307162000121002

**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

**Ketua** : Prof. Dr. Ir. Muh Sarkowi, S.Si, M.Si., IPU.

**Sekretaris** : Rahmi Mulyasari, S.Pd., M.T.

**Anggota** : Prof. Dr. Ir. Nandi Haerudin, S.Si., M., IPM.

.....  
.....  
.....

**2. Dekan Fakultas Teknik**



**Dr. Ahmad Herison, S.T., M.T.**

**NIP. 196910302000031001**

**Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 10 Maret 2026**

## PERNYATAAN

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi berjudul “Karakterisasi *Subsurface* Berdasarkan Analisis Metode *Horizontal To Vertical Spectral Ratio* Untuk Mitigasi Potensi Bencana Geologi Di Daerah Suoh, Lampung Barat” adalah hasil pemikiran dan karya saya sendiri yang diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar sarjana. Seluruh sumber yang digunakan, baik berupa kutipan langsung maupun tidak langsung, telah disebutkan dan dicantumkan dalam daftar pustaka sesuai dengan prinsip, kaidah, dan etika penulisan ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian terhadap pernyataan ini, saya bersedia mempertanggungjawabkannya sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Bandar Lampung, 10 Maret 2026



Nofita Fatmawati

NPM 2215051022

## RIWAYAT HIDUP

Nofita Fatmawati lahir di Sleman, Yogyakarta pada tanggal 4 Juli 2004. Penulis memulai pendidikan formal di PAUD Darul ‘Ulum, Yogyakarta pada tahun 2008–2009, kemudian melanjutkan pendidikan taman kanak-kanak di TK Satya Bhakti, Yogyakarta pada tahun 2009–2010. Pendidikan sekolah dasar ditempuh di SD Jumeneng, Yogyakarta pada tahun 2010–2011 dan setelah itu berpindah tempat tinggal di Provinsi Lampung, sehingga melanjutkan pendidikan di SD Negeri 2 Branti Raya, Lampung Selatan hingga lulus pada tahun 2016. Selanjutnya, penulis melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 3 Natar, Lampung Selatan dan menyelesaikannya pada tahun 2019. Pendidikan menengah atas ditempuh di SMAS Swadhipa Natar, Lampung Selatan dengan peminatan Ilmu Pengetahuan Alam dan lulus pada tahun 2022. Pada tahun 2022, penulis diterima sebagai mahasiswa Program Studi Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Selama menempuh pendidikan di perguruan tinggi, penulis aktif mengikuti berbagai kegiatan akademik dan non-akademik maupun kegiatan organisasi.

Selama masa perkuliahan, dalam bidang prestasi penulis pernah meraih berbagai penghargaan, antara lain Juara 1 *Scrabble Competition English Proficiency Awards* yang diselenggarakan oleh *State Polytechnic of Lampung* tahun 2024, Juara 1 *Scrabble Tiles Battle* yang diselenggarakan oleh *Indonesia Australia Scrabble Academy (INASA)* tahun 2026, serta Juara Harapan 2 Lomba Esai *Mechanical Engineering Expo* Universitas Lampung tahun 2024, dan beberapa prestasi lainnya. Selain itu, selama masa perkuliahan penulis juga aktif dalam berbagai kegiatan ilmiah, antara lain sebagai *presenter* pada *International Conference of Geoscience & Remote Sensing Technology (IC-GEOREST)* tahun 2024 dan juga *International*

*Conference on Science & Emerging Technology (IC-SIGER)* tahun 2025. Penulis juga merupakan penerima insentif Program Kreativitas Mahasiswa (PKM) bidang Artikel Ilmiah tingkat Fakultas Teknik pada tahun 2024 dan 2025. Pada tahun 2026 penulis kembali mendapatkan penghargaan pada kegiatan Program Kreativitas Mahasiswa (PKM) bidang Artikel Ilmiah tingkat Fakultas dan Universitas. Dalam bidang organisasi dan pengembangan diri, penulis aktif dalam berbagai organisasi kemahasiswaan, di antaranya UKM-U *English Society* Universitas Lampung sebagai *Person in Charge Branch Scrabble* tahun 2024, Sekretaris Departemen Masjid dan Kesekretariatan UKM-F FOSSI Fakultas Teknik Universitas Lampung tahun 2024, anggota bidang Sosial Budaya Masyarakat Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika Bhuwana Universitas Lampung periode 2023–2025, serta anggota Divisi Keilmuan Himpunan Mahasiswa Geofisika Indonesia (HMGI) Pusat. Selain itu, penulis pernah mewakili Universitas Lampung sebagai *Student Volunteer* pada *Indonesian Petroleum Association (IPA) Convex* tahun 2025.

Selama masa perkuliahan, penulis juga aktif terlibat dalam berbagai kegiatan kepanitiaan, pengabdian kepada masyarakat, serta pengembangan kompetensi melalui pelatihan, perlombaan, dan *volunteer*. Penulis juga berperan dalam kegiatan keilmuan di bidang geofisika, seperti penulisan karya ilmiah/jurnal serta pernah mengikuti program Merdeka Belajar Kampus Merdeka (MBKM) skema riset/penelitian. Penulis juga memiliki pengalaman menjadi asisten praktikum, serta tutor pada kegiatan akademik dan non-akademik yang mendukung kemampuan komunikasi, kepemimpinan, dan kerja sama tim. Penulis melaksanakan kegiatan magang atau Kerja Praktik di Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Stasiun Geofisika Lampung Utara pada bulan Juli hingga Agustus 2025 sebagai bentuk pengembangan kompetensi profesional di bidang geofisika. Penulis melaksanakan penelitian tugas akhir dengan melakukan pengukuran mikrotremor di daerah Suoh sebagai objek penelitian untuk memperoleh data karakteristik kondisi bawah permukaan. Selanjutnya, proses pengolahan dan analisis data dilakukan di lingkungan akademik Program Studi Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung sebagai bagian dari upaya penyelesaian studi sarjana serta pengembangan kompetensi keilmuan penulis di bidang geofisika.

## **PERSEMBAHAN**

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia, serta kekuatan yang senantiasa diberikan hingga karya ini dapat terselesaikan. Tiada daya dan upaya tanpa pertolongan-Nya.

Karya sederhana ini penulis persembahkan dengan penuh cinta dan hormat kepada:

### **Ayah dan Ibu tercinta**

Terima kasih atas setiap do'a yang senantiasa dipanjatkan, atas dukungan yang tak pernah surut, dan atas kasih sayang yang selalu menguatkan di setiap langkah. Pengorbanan, kesabaran, serta keikhlasan Ayah dan Ibu menjadi peran paling penting dan berharga dalam perjalanan ini. Setiap pencapaian yang telah diraih hari ini adalah buah dari do'a dan ridha kalian.

### **Adik-adikku tersayang**

Terima kasih telah menjadi sumber semangat, tempat berbagi cerita, canda dan tawa di setiap langkah kehidupan. Kebersamaan, kehadiran, dan dukungan kalian memberikan semangat dan motivasi dalam setiap proses yang telah dilewati. Semoga kalian senantiasa diberikan kesehatan, kemudahan dalam setiap urusan, dan keberhasilan dalam setiap cita-cita yang diperjuangkan.

### **Untuk diri penulis sendiri**

Dalam perjalanan ini, penulis belajar untuk menjadi lebih berani dalam melangkah dan lebih banyak bersyukur atas setiap proses yang Allah izinkan terjadi. Terima kasih karena telah memilih untuk tetap bertahan meski keadaan terasa berat dan tidak menyerah meski langkah sering kali diuji. Terima kasih karena terus belajar dari setiap jatuh dan bangun, serta tetap menyimpan harapan di tengah lelah. Suatu hari nanti akan ada waktu dirimu bersemi dan bermekaran, jangan lelah untuk terus tumbuh menjadi lebih baik. Semua usaha, do'a, dan air mata hari ini adalah bagian dari perjalanan menuju versi terbaik dirimu.

## MOTTO HIDUP

فَإِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا

“Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan.”

**Q.S. Al-Insyirah: 5**

*~Allah's plan is always more beautiful than our plan~*

“Bahkan di hari-hari paling beratpun, Allah selipkan hal-hal kecil yang menguatkanmu, baik itu melalui seseorang, do'a, atau rasa tenang yang datang tiba-tiba dan ketahuilah perjalanan hidup yang hari ini kita jalani adalah takdir terbaik yang telah Allah tetapkan untuk kita. Alhamdulillah *for everything*”

*~Nofita Fatmawati~*

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga skripsi yang berjudul **“Karakterisasi *Subsurface* Berdasarkan Analisis Metode *Horizontal To Vertical Spectral Ratio* Untuk Mitigasi Potensi Bencana Geologi Di Daerah Suoh, Lampung Barat”** dapat diselesaikan dengan baik sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Geofisika, Universitas Lampung. Penelitian ini dilaksanakan untuk mengidentifikasi karakteristik bawah permukaan berdasarkan analisis mikrotremor guna mendukung upaya mitigasi bencana geologi di wilayah penelitian. Penulis menyadari bahwa karya ini masih memiliki keterbatasan, sehingga kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi penyempurnaan di masa mendatang. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu geofisika dan kontribusi dalam upaya mitigasi bencana geologi.

Bandar Lampung, 10 Maret 2026



Nofita Fatmawati

NPM 2215051022

## SANWACANA

Dengan penuh rasa syukur atas segala ketetapan serta pertolongan dari Allah SWT, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Karakterisasi *Subsurface* Berdasarkan Analisis Metode *Horizontal To Vertical Spectral Ratio* untuk Mitigasi Potensi Bencana Geologi di Daerah Suoh, Lampung Barat.”** Penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari rahmat dan karunia-Nya, serta dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan rasa hormat dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Ahmad Herison, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung, atas fasilitas dan dukungan selama masa studi penulis.
2. Bapak Dr. Ir. Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si., C.EIA., IPM., selaku Ketua Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. Alimuddin Muchtar, S.Si, M.Si., C.EIA., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung.
4. Prof. Dr. Ir. Muh Sarkowi, S.Si., M.Si., IPU., selaku Dosen Pembimbing I, atas arahan, bimbingan serta masukan yang berharga selama penyusunan skripsi.
5. Ibu Rahmi Mulyasari, S.Pd., M.T., selaku Dosen Pembimbing II, atas setiap saran, motivasi dan pendampingan hingga skripsi ini dapat terselesaikan.
6. Prof. Dr. Ir. Nandi Haerudin, S.Si., M.Si, IPM., selaku Dosen Penguji, atas setiap kritik, saran, dan evaluasi yang membangun demi penyempurnaan skripsi ini.
7. Ibu Isti Nur Kumalasari, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan motivasi selama masa perkuliahan.

8. Seluruh dosen Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung yang telah membekali penulis dengan ilmu pengetahuan, wawasan, dan pengalaman berharga selama menempuh pendidikan.
9. Kedua orang tua tercinta, atas doa yang tiada henti, dukungan yang tulus, serta pengorbanan yang tak ternilai dalam setiap langkah perjuangan penulis.
10. Adik-adikku tersayang, yang selalu menjadi sumber semangat, penguat, dan pengingat untuk terus berusaha memberikan yang terbaik.
11. M. Alfian Jamal, yang senantiasa hadir sebagai teman terbaik sekaligus seseorang yang istimewa, yang dengan tulus kebersamai setiap langkah penulis dalam suka maupun duka. Terima kasih atas do'a, dukungan, dan ketulusan yang selalu menguatkan, serta atas setiap cerita, perjuangan, dan harapan yang kita lalui bersama menuju masa depan.
12. Firda Amalia dan Serli Marlina, yang senantiasa kebersamai penulis sejak awal perkuliahan hingga menyelesaikan studi, dalam suka maupun duka, serta menjadi tempat berbagi cerita, saling membantu, dan saling menguatkan.
13. Keluarga Besar Granit 22 (Teknik Geofisika Angkatan 2022), yang telah menjadi bagian penting dalam proses bertumbuh, berbagi pengalaman, dan membangun kebersamaan selama masa studi.
14. Terima kasih kepada seluruh teman-teman terdekat, rekan-rekan organisasi, *volunteer*, dan tim penelitian yang telah memberikan dukungan, kerja sama, serta pengalaman berharga selama proses pengembangan diri penulis.
15. Seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, yang telah memberikan bantuan, dukungan, dan kontribusi dalam penyelesaian skripsi ini.

Bandar Lampung, 10 Maret 2026



Nofita Fatmawati

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>iv</b>
<b>MENGESAHKAN .....</b>	<b>vi</b>
<b>PERNYATAAN.....</b>	<b>vii</b>
<b>RIWAYAT HIDUP .....</b>	<b>viii</b>
<b>PERSEMBAHAN.....</b>	<b>x</b>
<b>MOTTO HIDUP .....</b>	<b>xi</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>xii</b>
<b>SANWACANA .....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xviii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	4
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Lokasi Daerah Penelitian.....	5
2.2 Tataan Tektonik Regional .....	6
2.3 Fisiografi Regional .....	7
2.4 Morfologi Daerah Penelitian .....	8
2.5 Stratigrafi Regional .....	9
2.6 Penelitian Terdahulu.....	10
<b>BAB III TEORI DASAR .....</b>	<b>13</b>
3.1 Gelombang Seismik.....	13
3.1.1 Gelombang badan ( <i>body wave</i> ) .....	13
3.1.2 Gelombang permukaan ( <i>surface wave</i> ).....	15

3.2 Mikrotremor .....	17
3.3 Metode <i>Horizontal to Vertical Spectral Ratio</i> (HVSr) .....	18
3.4 Transformasi Fourier .....	19
3.6 Faktor Amplifikasi.....	22
3.7 Indeks Kerentanan Seismik .....	24
3.8 Ketebalan Lapisan Sedimen .....	25
3.9 Inversi HVSr .....	25
3.10 Kecepatan Gelombang Geser ( $V_s$ ).....	26
3.11 <i>Poisson Ratio</i> .....	27
<b>BAB IV METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>29</b>
4.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	29
4.2 Alat dan Bahan .....	30
4.3 Prosedur Penelitian .....	31
4.3.1 Studi literatur.....	31
4.3.2 Desain survei.....	32
4.3.3 Pengukuran data .....	32
4.3.4 Pengolahan data .....	35
4.3.5 Interpretasi data.....	38
4.4 Diagram Alir.....	39
<b>BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>40</b>
5.1 Analisis Nilai Frekuensi Dominan ( $f_0$ ).....	40
5.2 Analisis Ketebalan Lapisan Sedimen .....	43
5.3 Analisis Nilai Faktor Amplifikasi ( $A_0$ ).....	45
5.4 Analisis Nilai Indeks Kerentanan Seismik ( $K_g$ ) .....	48
5.5 Analisis Inversi Kurva HVSr .....	50
5.6 Pemodelan Kecepatan Gelombang Geser ( $V_s$ ).....	52
5.7 Pemodelan <i>Poisson Ratio</i> .....	57
<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>64</b>
6.1 Kesimpulan.....	64
6.2 Saran .....	65
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>66</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>71</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Peta daerah penelitian .....	5
2. Tatanan tektonik daerah Lampung (Barber dkk., 2005) .....	6
3. Peta fisiografi Lampung (Mangga dkk., 1994) .....	7
4. Peta topografi daerah penelitian .....	8
5. Peta geologi regional daerah penelitian .....	10
6. Gelombang Primer (P) (Braile, 2004) .....	14
7. Gelombang Sekunder (S) (Braile, 2004) .....	15
8. Gelombang <i>Love</i> (Braile, 2004) .....	16
9. Gelombang <i>Rayleigh</i> (Braile, 2004) .....	16
10. Desain survei pengukuran .....	32
11. Pengukuran data mikrotremor .....	33
12. Diagram alir penelitian .....	39
13. Peta sebaran frekuensi dominan ( $f_0$ ) daerah Suoh .....	42
14. Peta ketebalan lapisan sedimen daerah Suoh .....	44
15. Peta sebaran faktor amplifikasi ( $A_0$ ) daerah Suoh .....	46
16. Peta sebaran indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) daerah Suoh .....	49
17. Hasil inversi model 1 dimensi kecepatan gelombang geser (Titik SWH13) ..	50
18. Kurva <i>ellipticity</i> untuk Titik SWH13 .....	51
19. Peta $V_{S30}$ daerah Suoh .....	54
20. Model 3D kecepatan gelombang geser ( $V_{S30}$ ) daerah Suoh .....	55
21. Penampang 2D kecepatan gelombang geser ( $V_{S30}$ ) daerah Suoh .....	56
22. Peta sebaran nilai <i>poisson ratio</i> daerah Suoh .....	57
23. Model 3D <i>poisson ratio</i> daerah Suoh .....	58
24. Penampang 2D <i>poisson ratio</i> daerah Suoh .....	59

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Penelitian terdahulu.....	11
2. Klasifikasi tanah menurut nilai frekuensi dominan (Kanai, 1983) .....	22
3. Klasifikasi nilai faktor amplifikasi (Setiawan, 2009) .....	23
4. Klasifikasi indeks kerentanan seismik (Refrizon dkk., 2013).....	25
5. Klasifikasi <i>site</i> berdasarkan nilai $V_s$ (Badan Standarisasi Nasional, 2012).....	27
6. Nilai <i>poisson ratio</i> dari berbagai jenis batuan (Minardi dkk., 2025).....	28
7. Jadwal pelaksanaan penelitian .....	29
8. Data yang digunakan dalam penelitian .....	30
9. Peralatan yang digunakan dalam penelitian.....	30
10. Prasyarat akuisisi data mikrotremor (SESAME, 2004) .....	34
11. Klasifikasi nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) daerah Suoh .....	40
12. Klasifikasi nilai faktor amplifikasi ( $A_0$ ) daerah Suoh.....	45
13. Klasifikasi nilai indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) daerah Suoh .....	48
14. Klasifikasi nilai $V_{S30}$ daerah Suoh.....	53

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Suoh merupakan salah satu kawasan vulkanik–tektonik aktif yang memperlihatkan perkembangan morfologi dan proses geologi yang kompleks sebagai hasil interaksi antara aktivitas vulkanik dan dinamika tektonik regional. Secara morfologi, daerah Suoh berada dalam kawasan Bukit Barisan Sumatera, yakni rangkaian gunungapi berumur Tersier hingga Kuartar (*volcanic arc*) yang terbentuk akibat proses subduksi Lempeng Indo-Australia di bawah Lempeng Eurasia. Zona ini dilintasi oleh Sesar Besar Sumatera (*Great Sumatran Fault*) yang berarah barat laut–tenggara (Iqbal & Juliarka, 2019). Berdasarkan litologinya, Suoh merupakan bagian dari cekungan *pull-apart* yang terbentuk akibat deformasi tektonik dan aktivitas vulkanik yang intens, sehingga menghasilkan susunan batuan yang beragam dan kompleks. Variasi litologi di wilayah ini mencakup satuan tuf, breksi piroklastik, lava andesitik, hingga endapan sedimen Kuartar yang mengisi zona depresi struktural (Muslim dkk., 2022).

Keberadaan material vulkanik tua dan endapan piroklastik hasil aktivitas Kaldera Ranau membentuk kondisi litologi yang heterogen serta memengaruhi respons dinamik tanah di daerah Suoh. Selain itu, perkembangan cekungan Suoh melalui mekanisme *overstep* dan pergerakan segmen sesar bertumpuk menyebabkan variasi ketebalan sedimen dan kontras sifat fisik lapisan batuan dangkal, yang berpotensi memperkuat dampak guncangan gempa bumi. Berdasarkan Peta Indeks Risiko Bencana Provinsi Lampung Tahun 2024 yang dirilis oleh BNPB, wilayah Lampung Barat, termasuk daerah Suoh dikategorikan memiliki risiko bencana geologi tinggi.

Kondisi tersebut berimplikasi terhadap potensi bencana geologi berupa gempabumi akibat aktivitas sesar aktif, deformasi dan rekahan permukaan tanah, serta ketidakstabilan lereng yang dapat memicu longsor. Karakteristik litologi yang bervariasi di daerah Suoh ini menjadikan kajian geofisika sebagai pendekatan yang relevan untuk memahami respons tanah terhadap potensi bencana geologi di daerah tersebut sebagai landasan analisis kebencanaan.

Identifikasi kondisi struktur bawah permukaan memiliki peranan penting sebagai landasan ilmiah dalam mendukung mitigasi bencana geologi, perencanaan tata ruang wilayah, serta upaya pengurangan risiko bencana secara berkelanjutan di daerah Suoh. Salah satu teknik yang banyak diterapkan dan dinilai efektif untuk tujuan tersebut adalah analisis mikrotremor menggunakan pendekatan *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr) (Nakamura, 1989). Metode HVSr dimanfaatkan untuk memperkirakan frekuensi dominan ( $f_0$ ) yang berkaitan dengan ketebalan lapisan sedimen, serta menentukan nilai faktor amplifikasi ( $A_0$ ) yang merepresentasikan kontras impedansi, yaitu peningkatan energi gelombang akibat pengaruh kondisi litologi pada daerah penelitian (Nakamura, 2000). Konsep dasar metode HVSr didasarkan pada pemanfaatan getaran alami tanah yang bersifat harmonik. Dalam penerapannya, metode ini menghitung perbandingan antara spektrum sinyal komponen horizontal terhadap komponen vertikal dari data mikroseismik yang direkam di lapangan (Yuniarto, 2023).

Metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr) merupakan metode non-destruktif untuk studi tentang respons seismik lokal dan melakukan analisis respon kerentanan tanah terhadap bencana geologi. Keuntungan metode ini dibandingkan dengan metode geofisika lainnya adalah pengukurannya non-invasif, sederhana dan cepat dan dapat mengestimasi langsung efek seismik lokasi, misalnya; fundamental frekuensi alami ( $f_0$ ) dan amplitudo puncak HVSr, yang mengidentifikasi zona seismik yang berpotensi berbahaya dengan biaya yang wajar (Zaenudin dkk., 2024). Kurva hasil keluaran metode HVSr diolah lebih lanjut untuk memperoleh struktur kecepatan gelombang seismik pada kedalaman dangkal melalui proses inversi. Tingkat keakuratan dari hasil proses inversi kemudian dievaluasi berdasarkan *error*

(*misfit*) antara kurva observasi dan model (Hutasoit dkk., 2025). Kombinasi HVSR dan inversi menjadikan metode ini lebih unggul dibandingkan analisis HVSR konvensional tanpa inversi karena kemampuan kuantifikasinya lebih baik.

Penerapan metode HVSR dalam karakterisasi struktur bawah permukaan telah banyak dilakukan dan terbukti relevan untuk mendukung mitigasi potensi bencana geologi. Syafitri dkk. (2025) menunjukkan bahwa analisis HVSR efektif dalam mengidentifikasi frekuensi dominan dan karakteristik tanah pada wilayah dengan pengaruh aktivitas subduksi. Ariyanto dkk. (2024) menerapkan HVSR di Bandar Lampung dan memperoleh parameter frekuensi natural, amplifikasi, serta  $V_{S30}$  yang digunakan sebagai dasar pemetaan kerentanan seismik. Pemodelan struktur bawah permukaan menggunakan HVSR dan inversi juga dilakukan oleh Hutasoit dkk. (2025), yang berhasil menentukan ketebalan sedimen dan variasi kecepatan gelombang geser untuk keperluan mitigasi gempa. Nurwidyanto dkk. (2023) memanfaatkan HVSR untuk mengungkap variasi lateral struktur bawah permukaan di kawasan pesisir yang berpengaruh terhadap respons seismik lokal. Selain itu, Farduwin dkk. (2025) membuktikan bahwa HVSR mampu mengidentifikasi efek situs pada wilayah dengan kondisi geologi kompleks, sehingga mendukung analisis bahaya geologi berbasis karakteristik *subsurface*.

Metode HVSR telah digunakan secara luas dalam karakterisasi struktur bawah permukaan pada wilayah dengan kondisi geologi yang kompleks. Namun, penerapan metode HVSR untuk mengkaji struktur bawah permukaan di wilayah Suoh, Lampung Barat masih sangat terbatas, khususnya informasi distribusi kecepatan gelombang geser di wilayah ini yang masih belum terdefinisi dengan baik. Daerah Suoh tersusun oleh batuan vulkanik, piroklastik, dan sedimen Kuartar yang bersifat heterogen, sehingga interpretasi respon HVSR yang dihasilkan memerlukan analisis dan inversi yang teliti agar mampu merepresentasikan variasi litologi dan ketebalan lapisan secara akurat. Penelitian ini dilakukan untuk mengkarakterisasi kondisi *subsurface* di Suoh melalui analisis dan inversi HVSR, sehingga hasil yang diperoleh dapat digunakan sebagai dasar pendukung dalam mitigasi potensi bencana geologi di wilayah Suoh, Lampung Barat.

## 1.2 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dijabarkan sebelumnya, maka dapat dirumuskan tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi potensi bahaya gempabumi di daerah Suoh berdasarkan analisis parameter mikrotremor yang meliputi frekuensi dominan, faktor amplifikasi, indeks kerentanan seismik sebagai dasar karakterisasi *subsurface*
2. Mengidentifikasi potensi bencana likuifaksi melalui penentuan nilai kecepatan gelombang geser ( $V_{S30}$ ), nilai *poisson ratio* dan ketebalan lapisan bawah permukaan berdasarkan hasil inversi kurva HVSR
3. Menganalisis karakteristik struktur bawah permukaan melalui pemodelan sebagai dasar dalam mendukung upaya mitigasi potensi bencana geologi di daerah Suoh, Lampung Barat

## 1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* dalam akuisisi serta analisis untuk memetakan kondisi struktur bawah permukaan
2. Lokasi penelitian ini dibatasi pada wilayah Suoh, Lampung Barat, sesuai dengan titik pengukuran mikrotremor yang telah ditentukan

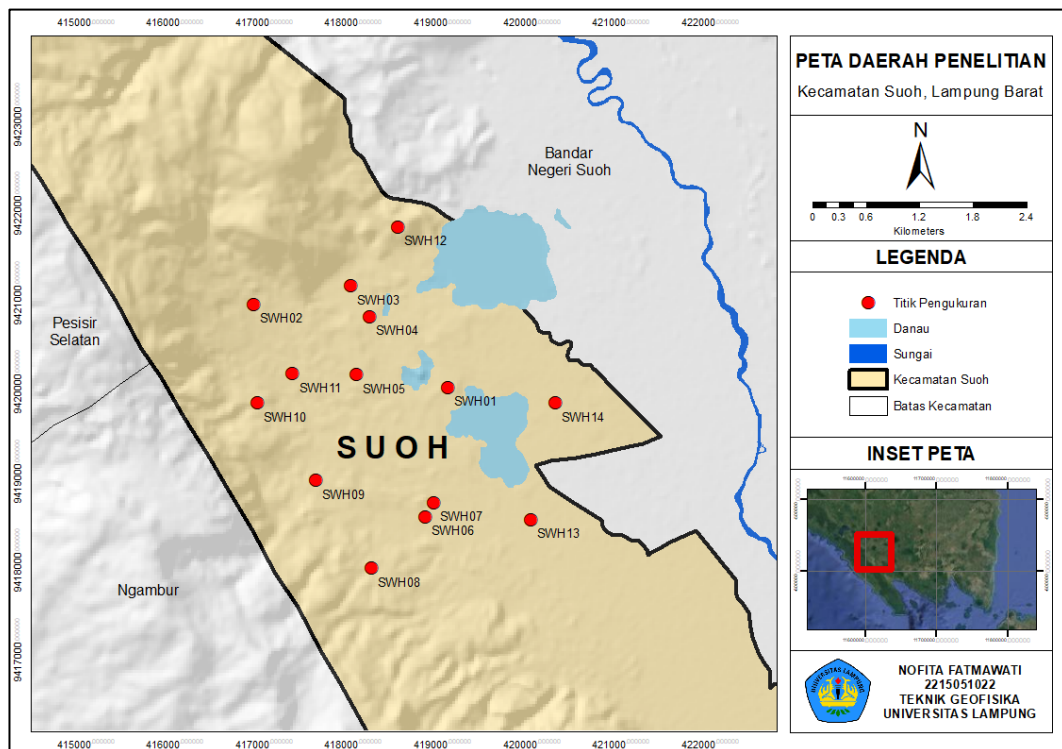
## 1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai karakterisasi *subsurface* di wilayah Suoh, Lampung Barat melalui analisis mikrotremor menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio*. Informasi terkait frekuensi dominan, faktor amplifikasi, dan indeks kerentanan tanah serta struktur dan ketebalan lapisan bawah permukaan yang dihasilkan dapat membantu mengidentifikasi zona lemah dan potensi amplifikasi. Penelitian ini diharapkan menjadi dasar penting bagi upaya mitigasi bencana geologi di kawasan Suoh serta menjadi rujukan ilmiah bagi penelitian lanjutan di wilayah sekitarnya.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Lokasi Daerah Penelitian

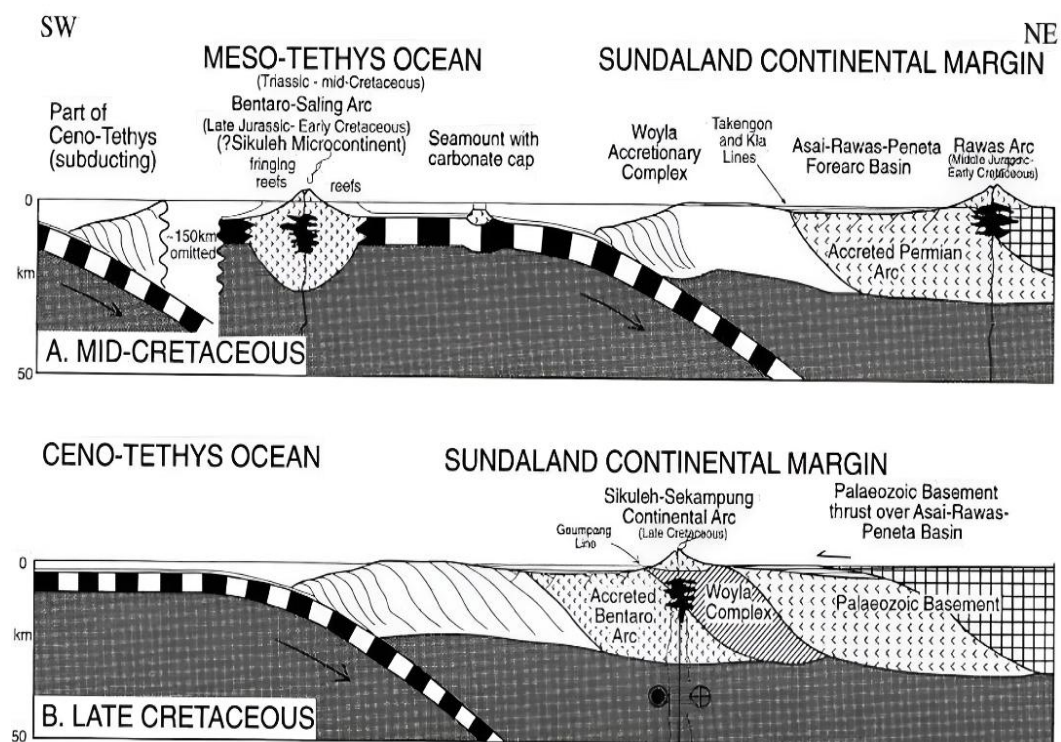
Penelitian ini dilaksanakan di daerah Suoh, Kabupaten Lampung Barat, Provinsi Lampung, yang secara geografis berada pada koordinat sekitar  $5^{\circ}11'16''$  LS dan  $104^{\circ}18'40''$  BT dengan menggunakan sistem proyeksi UTM Zona 48S serta datum WGS 1984. Pengambilan data dilakukan pada 14 titik pengamatan yang tersebar di sekitar Danau Asam, Danau Minyak, dan Danau Lebar. Daerah penelitian ini juga berbatasan langsung dengan Kecamatan Bandar Negeri Suoh, Ngambur, dan Pesisir Selatan. Lokasi penelitian beserta titik pengukuran ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta daerah penelitian

## 2.2 Tatanan Tektonik Regional

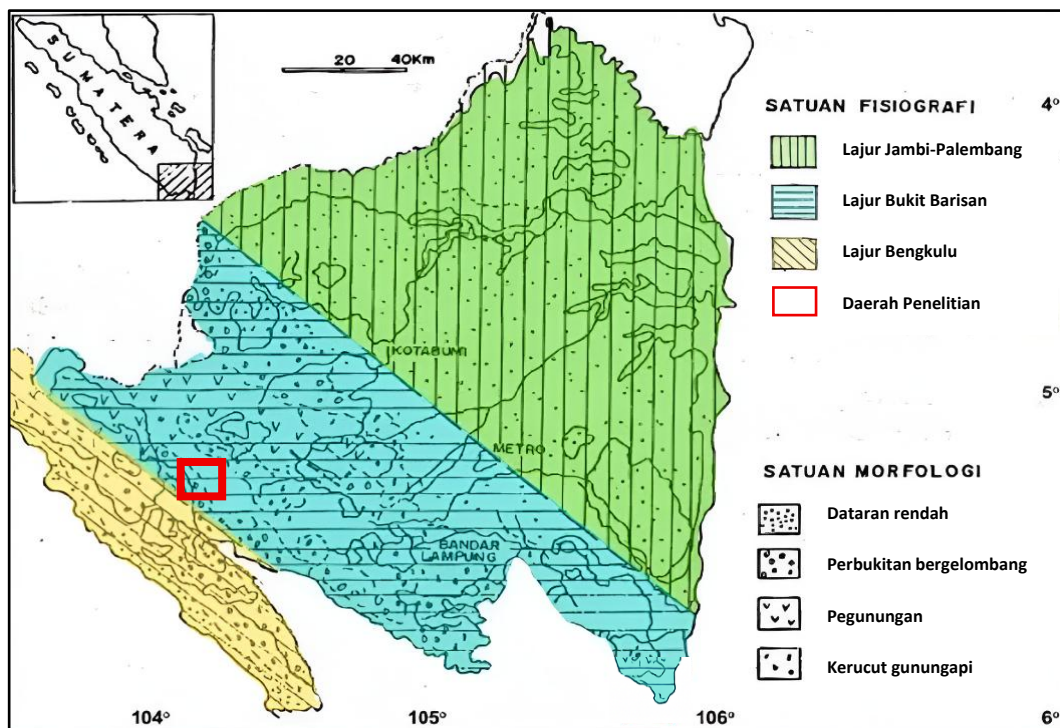
Pulau Sumatera berada pada sisi barat daya Paparan Sunda yang merupakan ekstensi daratan Asia Tenggara dari Lempeng Eurasia dan menjadi bagian dari sistem Busur Sunda. Di sepanjang perairan barat Sumatera, Lempeng Samudera Hindia bersama segmen Lempeng Hindia–Australia mengalami penunjaman yang miring ke bawah Lempeng *Sundaland*. (Amin dkk., 1993). Subduksi sejak Tersier Bawah hingga Resen membentuk busur magmatik luas di Pegunungan Barisan. Litologi sepanjang jalur ini menunjukkan produk subduksi awal berumur Permian Awal hingga Permian Tengah–Akhir (Amin dkk., 1993). Barber dan Crow (2009) menjelaskan bahwa proses penunjaman antara Indochina dan Sibumasu berlangsung pada Permian Akhir dan memicu perkembangan zona akresi yang luas. Pada Kapur Awal–Akhir berlangsung subduksi Lempeng Ngalau dengan Blok Sumatera Barat, disusul kolisi Woyla–Sumatera Barat (Putra & Husein, 2016). Aktivitas penunjaman kembali pada Eosen–Oligosen turut memicu terbentuknya Sesar Besar Sumatera menganan (Barber dkk., 2005). Rangkaian evolusi tektonik di wilayah Lampung tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Tatanan tektonik daerah Lampung (Barber dkk., 2005)

### 2.3 Fisiografi Regional

Secara fisiografi, wilayah Provinsi Lampung terbagi ke dalam tiga jalur tektonik utama, yaitu Lajur Bukit Barisan, Lajur Bengkulu, dan Lajur Jambi–Palembang (Mangga dkk., 1994). Lajur Bengkulu berada pada zona *fore arc*, Lajur Bukit Barisan termasuk zona *magmatic arc*, sedangkan Lajur Jambi–Palembang berada pada zona *back arc*. Daerah penelitian terletak di Lajur Bukit Barisan. Berdasarkan Peta Geologi Lembar Kotaagung, morfologi wilayah ini terdiri atas dataran rendah di bagian barat, pegunungan dan perbukitan di barat, tengah, dan timur laut, dataran tinggi di utara, kerucut gunungapi di tenggara, serta perbukitan bergelombang yang mendominasi (Amin dkk., 1993) yang ditunjukkan pada Gambar 3. Satuan Perbukitan Bergelombang mencakup sekitar 70% luas lembar ini dan tersusun oleh batuan intrusi, produk gunungapi Kuartar, sedimen Tersier, serta batuan metamorf, dengan elevasi berkisar dari puluhan meter hingga sekitar 750 mdpl.



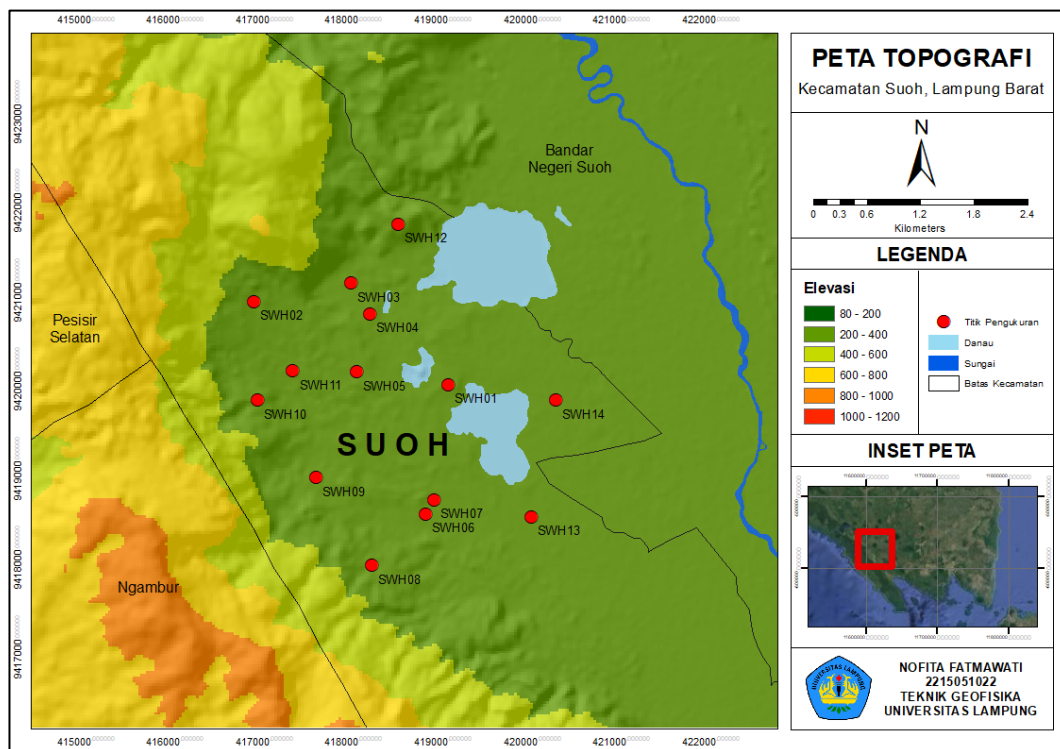
Gambar 3. Peta fisiografi Lampung (Mangga dkk., 1994)

Satuan Pegunungan mencakup sekitar 20% wilayah pada Geologi Lembar Kotaagung dan tersusun atas batuan vulkanik muda, batuan metamorf, serta batuan beku, dengan ketinggian berkisar antara 700–1.500 mdpl. Sementara itu, Satuan

Dataran Rendah berkembang di kawasan pesisir dan merupakan bagian dari zona depresi yang berkaitan dengan Sesar Semangko, didominasi oleh endapan aluvial dengan elevasi hingga  $\pm 50$  mdpl. Satuan Dataran Tinggi dijumpai di sekitar Suoh dan Gedong Surian, yang litologinya didominasi oleh endapan tuf. Adapun Satuan Kerucut Gunungapi terbentuk oleh aktivitas vulkanik Gunung Tanggamus, Gunung Sekincau, dan Gunung Rindingan (Amin dkk., 1993).

## 2.4 Morfologi Daerah Penelitian

Suoh terletak pada rangkaian Pegunungan Bukit Barisan di Sumatera yang merupakan bagian dari sistem busur vulkanik akibat proses penunjaman lempeng Indo-Australia di bawah lempeng Eurasia. Zona Depresi Suoh–Gunung Sekincau berada pada jalur magmatik Barisan yang terbentuk dan berkembang berkaitan erat dengan proses subduksi tersebut. Di bagian barat daya terdapat cekungan busur muka Bengkulu, sementara itu di sisi timur laut terdapat cekungan busur belakang Sumatera Selatan. Daerah ini merupakan bagian dari Pegunungan Bukit Barisan, tempat terbentuknya aktivitas gunung api busur kepulauan sebagai respons terhadap dinamika penunjaman lempeng (Hidayatika dkk., 2015).



Gambar 4. Peta topografi daerah penelitian

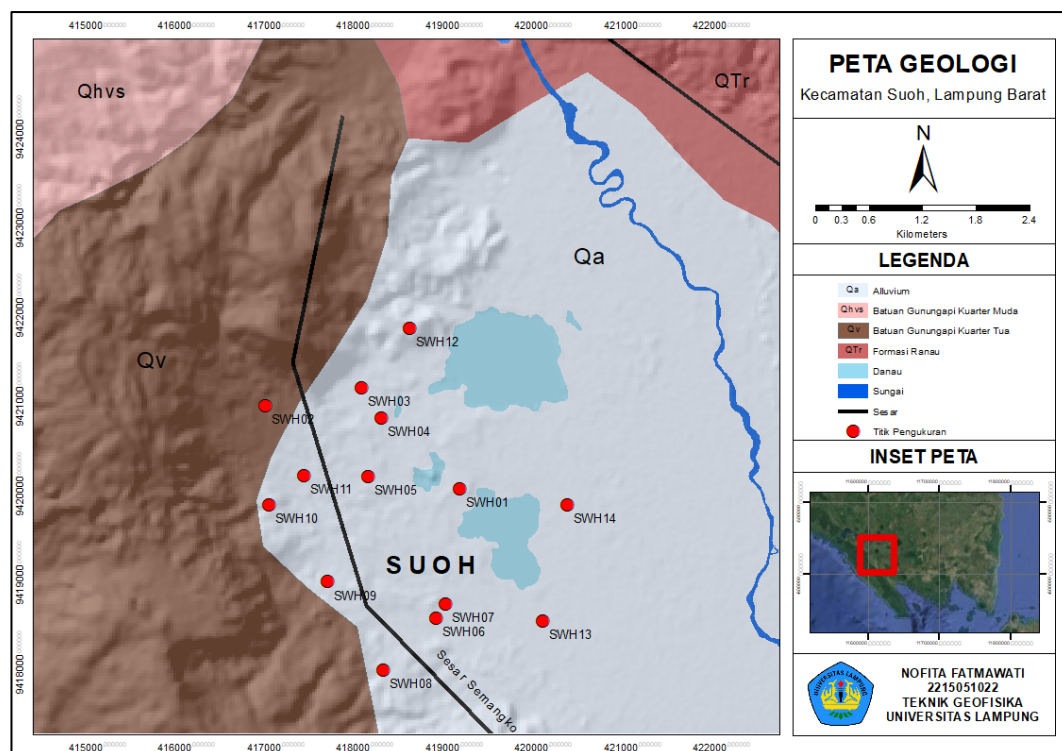
Berdasarkan interpretasi peta topografi pada Gambar 4, daerah penelitian dan sekitarnya secara keseluruhan dicirikan oleh topografi yang terjal dan curam, sementara bagian tengah didominasi oleh zona cekungan dengan topografi relatif rendah yang menjadi lokasi Danau Suoh (Barber dkk., 2005; Iqbal & Juliarka, 2019). Secara umum, kondisi morfologi daerah penelitian tersusun atas lembah berair, area rawa, serta lembah kering. Selain itu, dijumpai lereng-lereng lembah dengan variasi kemiringan dari landai hingga terjal yang membentuk pola memanjang searah dengan Sesar Semangko ( $U 330^{\circ} T$  atau barat laut–tenggara).

## 2.5 Stratigrafi Regional

Daerah Suoh berada dalam area Peta Geologi Lembar Kotaagung yang dipetakan oleh Amin dkk. (1993). Berdasarkan pada Gambar 5, daerah penelitian beserta sekitarnya tersusun oleh empat satuan batuan yang terbentuk sejak Tersier hingga Kuartar. Secara stratigrafi, susunan litologi dari satuan termuda hingga tertua meliputi endapan aluvium (Qa) yang terdiri atas bongkah, kerakal, kerikil, pasir, lanau, lempung, dan lumpur. Selanjutnya terdapat satuan gunungapi Kuartar muda (Qhv) yang tersusun atas breksi, lava, dan tuf berkomposisi andesit–basalt yang berkaitan dengan aktivitas vulkanik Gunung Sekincau. Di bawahnya dijumpai satuan gunungapi Kuartar tua (Qv) yang tersusun atas lava andesit–basalt, tuf, serta breksi vulkanik. Satuan paling tua adalah Formasi Ranau (QTr) yang terdiri atas breksi batuapung, tuf mikaan, tuf batuapung, serta fragmen kayu yang telah mengalami proses silisikasi atau pengkirsikan (Amin dkk., 1993).

Secara regional, tatanan geologi Pulau Sumatera sangat dipengaruhi oleh proses penunjaman lempeng, yang memicu berkembangnya sistem sesar memanjang berarah barat laut–tenggara di sepanjang pulau ini. Di wilayah Lampung, khususnya Suoh, struktur utama yang berkembang adalah Sesar Besar Sumatera. Struktur ini merupakan sesar terpanjang di kawasan tersebut, mencapai sekitar 55 km, dan berada pada Lajur Bukit Barisan (Amin dkk., 1993). Perkembangannya berlangsung dalam rentang waktu yang berbeda-beda dan berkaitan dengan penunjaman miring Lempeng Hindia–Australia di tepi barat Sumatera. Zona sesar ini terbagi menjadi 19 segmen yang umumnya berpola mendatar menganan (*right-*

*lateral strike-slip*) dan tersusun berderet memanjang, dengan Sesar Semangko sebagai struktur utama di daerah penelitian. Di Lajur Bukit Barisan terdapat tiga sesar geser mendatar menganan yang memanjang barat laut–tenggara. Pergerakan sesar-sesar tersebut turut memicu terbentuknya sesar normal di sekitarnya sehingga berkembang cekungan di kawasan Lembah Suoh (Putra & Husein, 2016). Cekungan Suoh, termasuk Danau Suoh, merupakan contoh *pull-apart basin* yang berkembang akibat interaksi segmen sesar mendatar dalam kondisi transtensional. Pada kondisi ini, pergerakan relatif antarblok batuan menciptakan gaya saling menjauh (*extensional regime*) sehingga terbentuk ruang akomodasi yang kemudian terisi oleh sedimen dan air, membentuk cekungan danau.



Gambar 5. Peta geologi regional daerah penelitian

## 2.6 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu yang relevan dengan penelitian ini dirangkum dalam Tabel 1. Berbagai penelitian tersebut menjadi dasar konseptual dan metodologis dalam penerapan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr) pada wilayah dengan kondisi geologi yang kompleks, sekaligus memperkuat relevansi pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 1. Penelitian terdahulu

No	Penulis, Tahun & Judul	Hasil Penelitian
1.	Amirudin dkk. (2023) <i>Seismic Vulnerability Analysis Using the Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR) Method on the West Palu Bay Coastline</i>	Penelitian ini menerapkan analisis HVSR pada data mikrotremor untuk memperoleh nilai frekuensi dominan, faktor amplifikasi, ketebalan sedimen, serta $V_{S30}$ . Hasilnya menunjukkan variasi signifikan karakter respons dinamik tanah yang berkorelasi dengan kondisi litologi dan ketebalan sedimen, sehingga wilayah pesisir Teluk Palu dapat diklasifikasikan ke dalam tingkat kerentanan seismik yang berbeda.
2.	Nurwidyanto dkk. (2023) Struktur Bawah Permukaan Pantai Semarang Berdasarkan Metode HVSR	Metode <i>Horizontal to Vertical Spectral Ratio</i> pada penelitian ini digunakan untuk menentukan frekuensi dominan dan faktor amplifikasi tanah sebagai dasar perhitungan indeks kerentanan seismik. Distribusi spasial parameter tersebut menghasilkan peta mikrozonasi gempa yang merepresentasikan variasi kondisi bawah permukaan akibat perbedaan litologi dan ketebalan lapisan sedimen di wilayah pesisir Semarang.
3.	Arisona dkk. (2023) Pemetaan Lapisan Tanah Menggunakan Metode Mikrotremor HVSR di Kota Kendari	Penelitian ini memanfaatkan kurva HVSR untuk mengidentifikasi frekuensi resonansi tanah dan menginterpretasikan struktur lapisan bawah permukaan. Hasil analisis menunjukkan perbedaan karakteristik lapisan tanah dangkal yang dihubungkan dengan variasi kecepatan gelombang geser dan ketebalan sedimen, sehingga memberikan gambaran kondisi <i>subsurface</i> secara lebih rinci.
4.	Putra dkk. (2023) <i>An Application of HVSR Method on Microtremor Data for Analysis of Earthquake Potential in Candipuro District, Lumajang, Indonesia</i>	Penelitian ini memanfaatkan parameter dari metode HVSR seperti frekuensi dominan, faktor amplifikasi, dan indeks kerentanan tanah untuk mengidentifikasi potensi bahaya gempa. Hasil analisis menunjukkan bahwa variasi respon HVSR mencerminkan perbedaan kondisi litologi dan ketebalan sedimen, yang selanjutnya digunakan untuk penilaian tingkat potensi kerusakan akibat guncangan seismik.

5. Gemilang dkk. (2024) *Identification of Site Class Using Microtremor HVSR Measurements in Tanah Kampung District*

Metode HVSR diaplikasikan untuk mengestimasi  $V_{S30}$  dan mengklasifikasikan jenis situs berdasarkan standar keempaan. Hasilnya menunjukkan hubungan yang jelas antara respon spektral mikrotremor dengan karakteristik lapisan bawah permukaan, sehingga klasifikasi situs yang dihasilkan dapat digunakan sebagai dasar evaluasi risiko gempa.
  6. Handayani & Sekarsari (2024) Analisis Kerentanan Tanah di Selatan Zona Longsor Desa Kalongan, Kabupaten Semarang Menggunakan Metode HVSR

Penelitian ini menerapkan metode HVSR untuk menentukan frekuensi dominan, faktor amplifikasi, dan indeks kerentanan seismik di Desa Kalongan. Hasil penelitian menunjukkan dominasi frekuensi rendah yang mengindikasikan lapisan tanah lunak dengan ketebalan sedimen yang relatif besar. Nilai amplifikasi umumnya rendah hingga sedang, namun beberapa titik memiliki indeks kerentanan seismik tinggi yang mengindikasikan potensi kerentanan terhadap guncangan gempa di area permukiman.
  7. Zaenudin dkk. (2024) Analisis Kerentanan Seismik dan Ketebalan Sedimen di Zona Sesar dan Kaldera Bakauheni, Lampung Selatan

Penelitian ini mengombinasikan analisis HVSR dan inversi kurva H/V untuk mendapatkan model kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) Hasil penelitian menunjukkan terdapat lapisan sedimen lunak dengan  $V_s$  rendah di bagian permukaan yang berpotensi memperbesar guncangan seismik. Integrasi HVSR dan inversi dinilai efektif dalam meningkatkan ketelitian interpretasi struktur *subsurface*, khususnya pada wilayah dengan kondisi geologi vulkanik–tektonik yang kompleks.
  8. Farduwin dkk. (2025) Identifikasi Efek Tapak Menggunakan Metode HVSR di Kawasan Pemandian Air Panas Cisarua, Natar, Lampung Selatan

Studi ini menganalisis data mikrotremor menggunakan metode HVSR untuk mengevaluasi efek situs lokal melalui parameter frekuensi dominan, amplifikasi, dan  $V_{S30}$ . Hasil penelitian mengindikasikan bahwa variasi nilai HVSR dipengaruhi oleh kondisi sedimen dan struktur geologi setempat, yang berperan penting dalam peningkatan respon guncangan gempa.
-

## **BAB III**

### **TEORI DASAR**

#### **3.1 Gelombang Seismik**

Gelombang seismik adalah gelombang elastik berfrekuensi rendah yang dihasilkan oleh peristiwa gempa dan mampu merambat melalui interior maupun permukaan bumi. Gelombang ini timbul akibat pelepasan energi secara tiba-tiba, umumnya karena patahan batuan, meskipun dapat pula dipicu oleh aktivitas suatu ledakan (Sunarjo dkk., 2010). Sebagai medium rambat, bumi tersusun atas lapisan-lapisan batuan yang memiliki karakteristik fisik berbeda pada setiap kedalaman. Perbedaan sifat tersebut menyebabkan energi gelombang yang menjalar akan terbagi ketika melewati batas antar lapisan: sebagian dipantulkan kembali, sementara sebagian lainnya diteruskan ke lapisan di bawahnya. Fenomena ini terjadi karena adanya ketidakterusan (diskontinuitas) sifat fisis medium.

##### **3.1.1 Gelombang badan (*body wave*)**

Gelombang badan merupakan gelombang seismik yang merambat melalui bagian dalam bumi dan menyebar ke segala arah dari pusat gempa. Gelombang ini terbagi menjadi dua, yaitu gelombang P dan gelombang S.

###### **1. Gelombang Primer (P)**

Gelombang P adalah gelombang longitudinal, yaitu gelombang dengan arah getaran partikel medium yang sejajar dengan arah perambatannya (Gambar 6). Gelombang P memiliki kecepatan paling tinggi sehingga menjadi gelombang pertama yang tercatat oleh alat seismograf (Sunarjo dkk., 2010). Kecepatannya berkisar antara 4–7 km/s pada kerak bumi, meningkat hingga lebih dari 8 km/s di mantel dan inti bumi, sekitar 1,5 km/s dalam air, serta kurang lebih 0,3 km/s ketika merambat di udara.

Besarnya laju rambat gelombang P secara matematis dinyatakan dalam Persamaan (1) sebagaimana dikemukakan oleh Kayal (2008):

$$v_p = \sqrt{\frac{k + \frac{4}{3}\mu}{\rho}} \quad (1)$$

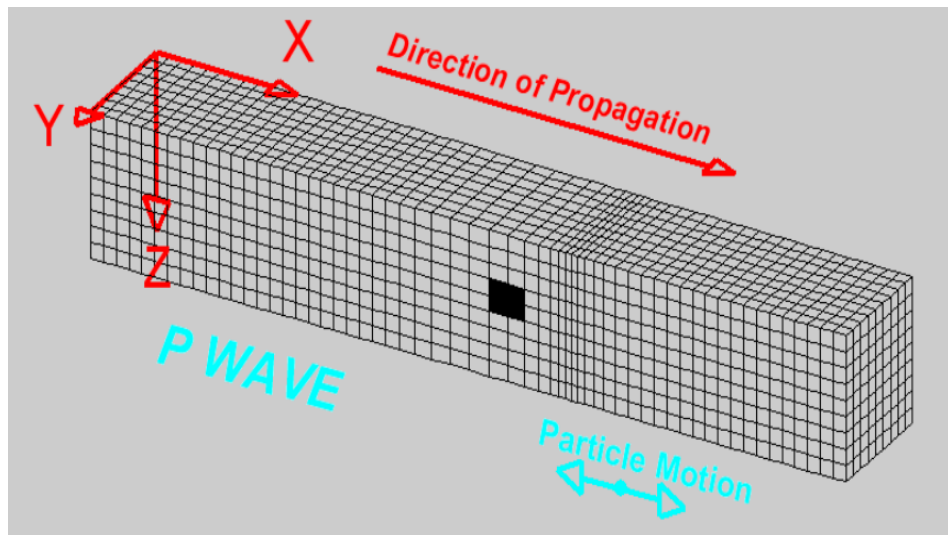
Keterangan:

$v_p$  = Kecepatan gelombang primer (m/s)

$k$  = Modulus *bulk* (N/m<sup>2</sup>)

$\mu$  = Modulus geser (N/m<sup>2</sup>)

$\rho$  = Kerapatan material yang dilalui oleh gelombang (kg/m<sup>3</sup>)



Gambar 6. Gelombang Primer (P) (Braile, 2004)

## 2. Gelombang Sekunder (S)

Gelombang S adalah gelombang transversal, yaitu gelombang dengan arah getaran partikel tegak lurus terhadap arah rambat gelombang (Gambar 7). Gelombang ini hanya dapat merambat melalui medium padat karena zat cair dan gas tidak memiliki kekuatan geser yang diperlukan agar partikel dapat kembali ke posisi semula setelah mengalami deformasi. Berdasarkan arah gerak partikelnya, gelombang S dibedakan menjadi komponen horizontal dan komponen vertikal. Kecepatan rambat gelombang S lebih rendah dibandingkan gelombang P, sehingga gelombang ini tercatat oleh seismograf setelah kedatangan gelombang P. Kecepatannya berkisar

antara 3–4 km/s di kerak bumi, lebih dari 4,5 km/s di mantel, serta sekitar 2,5–3 km/s di inti bumi (Sunarjo dkk., 2010). Besarnya kecepatan rambat gelombang S dinyatakan dalam Persamaan (2) menurut Kayal (2008):

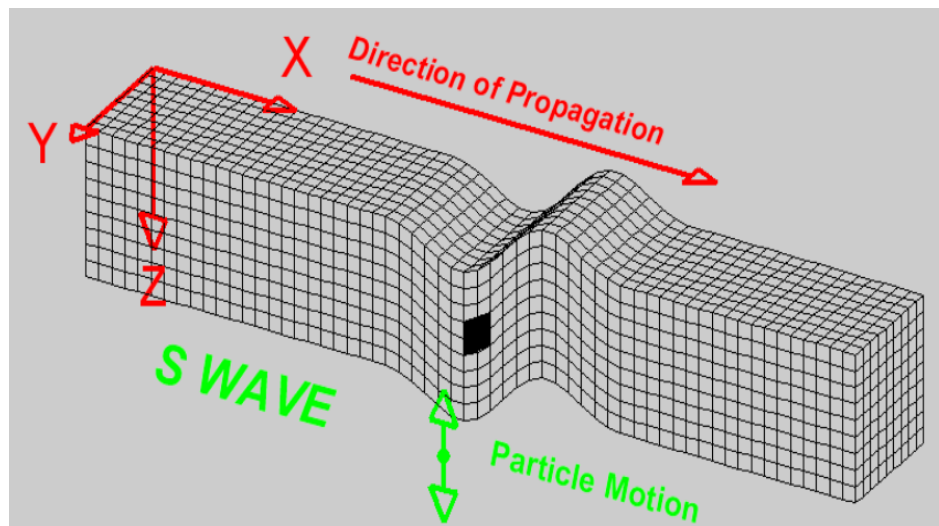
$$v_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (2)$$

Keterangan:

$v_s$  = Kecepatan gelombang sekunder (m/s)

$\mu$  = Modulus geser (N/m<sup>2</sup>)

$\rho$  = Kerapatan material yang dilalui oleh gelombang (kg/m<sup>3</sup>)



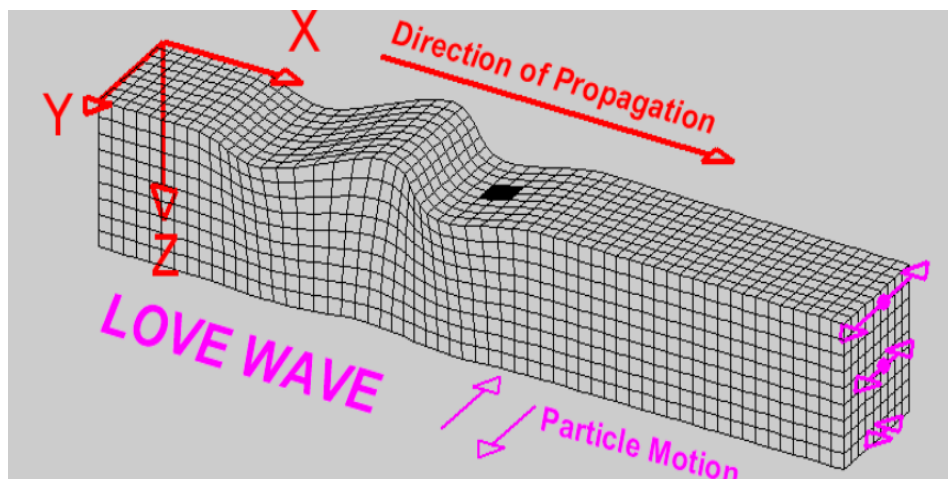
Gambar 7. Gelombang Sekunder (S) (Braile, 2004)

### 3.1.2 Gelombang permukaan (*surface wave*)

Gelombang permukaan adalah gelombang elastik yang merambat di sepanjang permukaan bumi dan sering disebut sebagai *tide waves*. Gelombang ini perambatannya terbatas pada suatu lapisan atau bidang batas tertentu, sehingga tidak menjalar melalui bagian dalam bumi. Gelombang permukaan terdiri dari gelombang *Love* dan *Rayleigh* yang bergerak melalui permukaan bebas dari bumi (Sunarjo dkk., 2010). Secara karakteristik, gelombang permukaan memiliki frekuensi yang relatif rendah tetapi amplitudonya besar ketika merambat. Kecepatan rambat gelombang permukaan lebih lambat dibandingkan gelombang P, namun dampak kerusakan yang ditimbulkannya umumnya lebih besar.

### 1. Gelombang *Love*

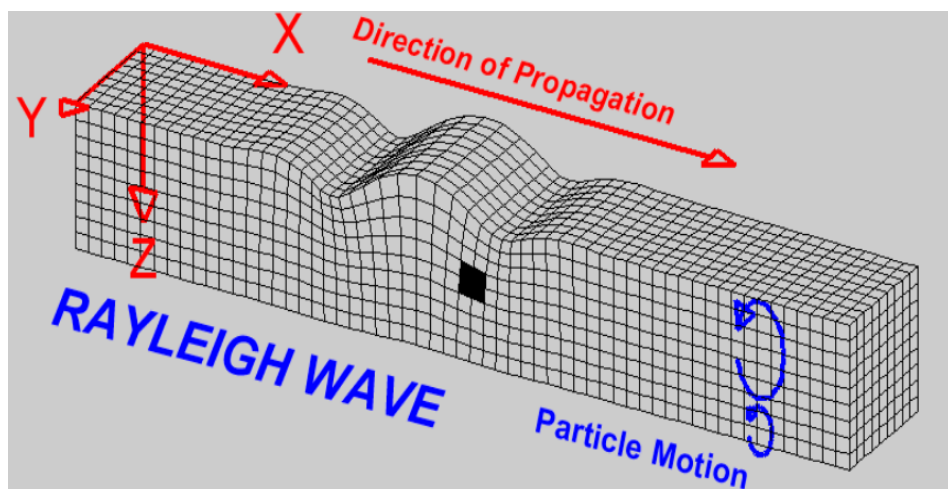
Gelombang *Love* muncul akibat adanya proses interferensi gelombang pantul tipe SH yang terjadi pada lapisan dangkal di dekat permukaan bumi. Arah gerak partikel pada gelombang ini menyerupai gelombang SH, yaitu bergetar secara horizontal. Namun, amplitudo getarannya akan semakin berkurang seiring dengan bertambahnya kedalaman medium. Gambaran mekanisme perambatan gelombang *Love* dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Gelombang *Love* (Braile, 2004)

### 2. Gelombang *Rayleigh*

Gelombang *Rayleigh* muncul akibat adanya interferensi antara gelombang pantul P dan gelombang SV yang datang dengan sudut melebihi sudut kritis. Saat merambat, partikel medium bergerak membentuk pola elips sebagai kombinasi karakter gerak gelombang P dan SV. Gambaran mekanisme perambatan gelombang *Rayleigh* dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Gelombang *Rayleigh* (Braile, 2004)

### 3.2 Mikrotremor

Mikrotremor merupakan metode geofisika yang mengkaji kondisi bawah permukaan dengan memanfaatkan getaran alami berintensitas kecil yang berasal dari aktivitas antropogenik maupun proses alam, seperti aliran sungai, hembusan angin, perubahan tekanan atmosfer, dan gelombang laut. Prinsip perekamannya mirip metode seismik, dan sinyal yang diperoleh digunakan untuk menganalisis sumber getaran, atenuasi gelombang, serta kondisi fisik lokasi. (Yuliawati dkk., 2019). Secara fisis, mikrotremor adalah getaran harmonik kontinu akibat pantulan dan interferensi gelombang pada batas antar lapisan bawah permukaan dengan frekuensi relatif konstan, dipicu oleh gangguan alami maupun aktivitas permukaan.

Terdapat berbagai metode untuk menganalisis gelombang seismik yang merambat pada lapisan batuan, dan salah satunya adalah pengukuran mikrotremor. Metode ini termasuk kajian geofisika yang bertujuan untuk mengetahui karakteristik dan respons dinamis tanah melalui analisis kecepatan gelombang dengan memanfaatkan getaran seismik lingkungan yang berasal dari dua sumber utama, yaitu sumber alami dan aktivitas manusia (*ambient vibrations*) yang terekam oleh seismometer. Pendekatan mikrotremor menitikberatkan pada analisis variasi dari amplitudo, periode, dan frekuensi dominan yang dipengaruhi oleh gempa bumi maupun sumber getaran tanah lainnya (Handayani & Sekarsari., 2024).

Akuisisi data mikrotremor dapat dilakukan melalui dua metode. Pertama adalah merekam sinyal secara simultan pada dua titik atau lebih, di mana salah satu titik harus berada di atas batuan keras (*hard rock*) untuk meminimalkan efek penguatan frekuensi akibat kondisi tanah. Spektrum dari titik lainnya kemudian dibandingkan dengan spektrum pada lokasi batuan keras tersebut untuk menentukan respons lokasi (*site response*) terhadap mikrotremor. Metode kedua dikemukakan oleh Nakamura (1989) melalui analisis HVSR, yang menjelaskan bahwa perbandingan komponen horizontal dan vertikal akan meningkat pada frekuensi resonansi sehingga membentuk puncak spektrum pada frekuensi tersebut. Nilai rasio H/V ini dianggap mewakili tingkat amplifikasi gerakan tanah, sehingga penerapan metode Nakamura tidak lagi membutuhkan titik referensi pada batuan keras (*hard rock*).

### 3.3 Metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR)

Metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR) adalah metode yang dimanfaatkan untuk menganalisis pengaruh kondisi lokal tanah serta tingkat kerentanan suatu wilayah terhadap potensi bahaya. Prinsip dasarnya ialah menghitung rasio amplitudo spektrum antara komponen horizontal dan vertikal yang berasal dari getaran *noise* lingkungan dan direkam pada satu sensor atau stasiun pengamatan. Hasil pengolahan HVSR memperlihatkan puncak spektrum pada frekuensi dominan (Nakamura, 1989). Dalam penerapannya, metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR) dilakukan dengan membandingkan spektrum komponen horizontal dengan komponen vertikal dari sinyal mikrotremor. Getaran mikrotremor umumnya didominasi oleh gelombang *Rayleigh*, dan puncak kurva rasio H/V berkaitan dengan periode karakteristik gelombang S (*S-wave*). Nilai rasio H/V diperoleh dari perbandingan dua komponen spektral yang secara teoritis menghasilkan nilai tertentu. Melalui pendekatan ini, dapat ditentukan besarnya faktor amplifikasi serta periode dominan suatu lokasi, yang diinterpretasikan dari puncak kurva rasio H/V mikrotremor (Nakamura, 2000).

Hasil pengukuran mikrotremor dengan metode HVSR berupa rekaman getaran tanah dalam domain waktu. Data yang diperoleh mencakup tiga komponen gerak, yaitu vertikal (*Up-Down*), utara-selatan (*North-South*), dan barat-timur (*East-West*). Pada metode HVSR, analisis dilakukan dengan membandingkan amplitudo spektrum Fourier antara komponen horizontal dan komponen vertikal. Perbandingan spektral horizontal terhadap vertikal pada data mikrotremor tersebut dapat dihitung menggunakan Persamaan (3) berikut (Ariyanto dkk., 2024):

$$HVSR = \sqrt{\frac{[(S_{North-South})^2 + (S_{East-West})^2]}{S_v}} \quad (3)$$

Keterangan:

$S_{North-South}$  = Spektrum amplitudo pada komponen *North-South*

$S_{East-West}$  = Spektrum amplitudo pada komponen *East-West*

$S_v$  = Spektrum amplitudo pada komponen vertikal

### 3.4 Transformasi Fourier

Transformasi Fourier adalah transformasi integral yang digunakan untuk mengubah suatu fungsi menjadi representasi fungsi berbasis gelombang sinusoidal. Dengan kata lain, metode ini digunakan untuk memecah sinyal seismik menjadi komponen-komponen gelombang harmonik *cosinus* dan *sinus*. Dalam analisis sinyal seismik, Transformasi Fourier berfungsi mengubah data dari domain waktu ke domain frekuensi. Melalui analisis Fourier, gelombang seismik dapat direpresentasikan sebagai superposisi beberapa gelombang harmonik dengan frekuensi berbeda sehingga membentuk deret sinusoidal. Pada pengukuran mikrotremor, tujuan utama Transformasi Fourier adalah mengonversi data deret waktu (*time series*) menjadi spektrum frekuensi (Riyanto dan Purwanto, 2009). Prinsip kerjanya adalah mendekati sinyal dengan fungsi *sinus* dan *cosinus*, di mana setiap komponen menghasilkan amplitudo tertentu. Nilai amplitudo tersebut menunjukkan besarnya kontribusi sinyal pada masing-masing frekuensi. Dalam penerapannya, perhitungan spektrum umumnya menggunakan algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT), hal ini dikarenakan data hasil akuisisi bersifat diskrit..

Secara matematis, Transformasi Fourier dapat dijabarkan dalam Persamaan (4) sebagai berikut:

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-i\omega t} dt \quad (4)$$

Di mana,  $\omega = 2\pi f$  di mana  $\omega$  menyatakan frekuensi sudut dalam satuan radian per detik. Bentuk invers dari Transformasi Fourier dinyatakan pada Persamaan (5):

$$f(t) = \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega) e^{-i\omega t} d\omega \quad (5)$$

Hubungan antara  $F(\omega)$  dan  $f(t)$  sebagai pasangan Transformasi Fourier dapat dituliskan sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (6):

$$f(t) \leftrightarrow F(\omega) \quad (6)$$

Fungsi spektral tersebut bersifat kompleks dan dapat dinyatakan dalam bentuk Persamaan (7), yaitu sebagai penjumlahan bagian riil dan bagian imajiner:

$$e^{-i\omega t} = \cos \omega t + i \sin \omega t \quad (7)$$

Dengan mensubstitusikan  $\omega = 2\pi f$  ke dalam Persamaan (7), maka didapatkan Persamaan (8) sebagai berikut:

$$e^{i2\pi f t} = \cos 2\pi f t + i \sin 2\pi f t \quad (8)$$

Substitusikan Persamaan (4) ke Persamaan (8), maka didapatkan Persamaan (9):

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} F(t) \cos(2\pi f t) dt - i \int_{-\infty}^{\infty} F(t) \sin(2\pi f t) dt \quad (9)$$

Spektrum kompleks atau densitas kompleks dari  $F(t)$  terhadap variabel frekuensi sudut  $\omega$  dapat dituliskan seperti pada Persamaan (10):

$$F(\omega) = \text{Re}[F(\omega)] + i \text{Im}[F(\omega)] \quad (10)$$

Selain itu, bentuk yang sama juga dapat dinyatakan pada Persamaan (11), yaitu:

$$F(\omega) = A(\omega)e^{i\phi(\omega)} \quad (11)$$

di mana  $A(\omega)$  dituliskan dalam Persamaan (12) sebagai berikut:

$$A(\omega) = |F(\omega)| = \sqrt{[\text{Re}F(\omega)]^2 + [\text{Im}F(\omega)]^2} \quad (12)$$

dan  $\Phi(\omega)$  dituliskan dalam Persamaan (13) sebagai berikut:

$$\Phi(\omega) = \tan^{-1} \left( \frac{\text{Im}F(\omega)}{\text{Re}F(\omega)} \right) \quad (13)$$

Selanjutnya dilakukan proses transformasi  $\Phi(\omega)$  untuk mendapatkan kecepatan sebagai fungsi dari pada frekuensi, sehingga didapatkan Persamaan (14):

$$F(\Phi, \omega) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{-1\Phi x} \frac{F(\omega)}{|F(\omega)|} dx \quad (14)$$

Keterangan:

$F(\omega)$	= Spektrum
$Re(\omega)$	= Variabel riil
$Im(\omega)$	= Variabel imajiner
$A(\omega)$	= Spektrum amplitudo
$\Phi(\omega)$	= Spektrum fase
$\omega$	= Kecepatan sudut (rad/s)
$f$	= Frekuensi (Hz)

### 3.5 Frekuensi Dominan

Secara umum, frekuensi merupakan *inverse* dari waktu. Jika waktu dinyatakan dalam satuan detik (*second*), maka frekuensi dinyatakan dalam Hertz (Hz) atau 1/detik, dan direpresentasikan dalam bentuk spektrum frekuensi yang menunjukkan satu nilai karakteristik. Prinsip ini juga berlaku pada gelombang monokromatik yang memiliki satu frekuensi tunggal. Frekuensi dominan adalah nilai frekuensi yang paling menonjol atau paling sering muncul dalam suatu rekaman, sehingga dianggap mewakili karakter lapisan batuan pada suatu daerah (Yuliatwati dkk., 2019). Frekuensi dominan merupakan nilai frekuensi lapisan batuan pada suatu wilayah yang mencerminkan karakteristik bawah permukaan melalui representasi gelombang yang paling sering muncul dalam suatu rentang waktu. Nilai frekuensi dominan dipengaruhi oleh ketebalan lapisan pelapukan dan kecepatan gelombang geser bawah permukaan ( $V_s$ ). Frekuensi dominan berbanding terbalik dengan ketebalan sedimen (*bedrock*) dan berbanding lurus dengan kecepatan rata-rata gelombang (Handayani & Sekarsari., 2024). Karena memiliki hubungan langsung dengan ketebalan sedimen, penentuan frekuensi dominan dalam penelitian ini mengacu pada klasifikasi yang dikemukakan oleh Kanai (1983) pada Tabel 2.

Tabel 2. Klasifikasi tanah menurut nilai frekuensi dominan (Kanai, 1983)

Klasifikasi Tanah		Frekuensi Dominan (Hz)	Klasifikasi Tanah	Deskripsi
Jenis	Tipe			
I	IV	6,667 – 20	Batuan tersier atau lebih tua yang terdiri dari batuan <i>hard sandy, gravel</i> , dan lainnya	Ketebalan sedimen permukaan sangat tipis, didominasi oleh batuan keras
II	III	4 – 6,67	Batuan aluvial dengan ketebalan 5 meter. Terdiri dari <i>sandy-gravel, sandy hard clay, loam</i> , dan lainnya	Ketebalan sedimen permukaan masuk dalam kategori menengah yaitu 5 – 10 meter
III	II	2,5 – 4	Batuan aluvial dengan ketebalan lebih dari 5 meter yang terdiri dari <i>sandy gravel, sandy hard clay, loam</i> , dan lainnya	Ketebalan sedimen permukaan masuk dalam kategori tebal, sekitar 10 – 30 meter
IV	I	< 2,5	Batuan aluvial yang terbentuk dari sedimentasi delta, <i>top soil</i> , lumpur, dan lainnya. Kedalaman lebih dari 30 meter	Ketebalan sedimen permukaan sangat tebal

Frekuensi dominan diukur dari puncak kurva H/V pada sumbu horizontal. Perhitungan nilai frekuensi dominan dapat dilakukan dengan menggunakan Persamaan (15) sebagai berikut (Ariyanto dkk., 2024):

$$f_0 = \frac{V_s}{4H} \quad (15)$$

Keterangan:

$f_0$  = Frekuensi natural (Hz)

$H$  = Ketebalan (m)

$V_s$  = Kecepatan gelombang S di bawah permukaan (m/s)

### 3.6 Faktor Amplifikasi

Amplifikasi merupakan proses penguatan amplitudo gelombang seismik yang terjadi akibat perbedaan sifat fisik antar lapisan bawah permukaan. Gelombang seismik akan mengalami peningkatan amplitudo saat merambat dari medium yang

lebih keras menuju medium yang lebih lunak. Semakin besar perbedaan karakteristik kedua medium tersebut, semakin besar pula penguatan yang terjadi. Besarnya faktor amplifikasi tanah berkaitan dengan kontras impedansi antara lapisan permukaan dan lapisan di bawahnya. Kontras impedansi yang tinggi akan menghasilkan nilai amplifikasi yang besar, sedangkan kontras yang rendah menghasilkan amplifikasi yang lebih kecil (Nakamura, 2000). Amplifikasi gelombang seismik terjadi karena perbedaan sifat dalam lapisan-lapisan bumi. Ketika gelombang seismik berpindah dari medium yang lebih keras ke medium yang lebih lunak, maka gelombang tersebut akan mengalami penguatan. Nilai amplifikasi dapat ditentukan menggunakan Persamaan (16) sebagai berikut (Ariyanto dkk., 2024):

$$A_0 = \frac{\rho_\alpha V_\alpha}{\rho_S V_S} \quad (16)$$

Keterangan:

$A_0$  = Nilai amplifikasi

$V_\alpha$  = Kecepatan gelombang batuan dasar (m/s)

$\rho_\alpha$  = Densitas batuan dasar (kg/m<sup>3</sup>)

$V_S$  = Kecepatan gelombang batuan lunak (m/s)

$\rho_S$  = Densitas batuan lunak (kg/m<sup>3</sup>)

Faktor amplifikasi berbanding lurus dengan nilai perbandingan spektral horizontal dan vertikalnya (H/V). Secara umum, terdapat pembagian zona atau klasifikasi yang menentukan suatu wilayah terukur memiliki nilai amplifikasi yang tinggi. Pengelompokan berbagai nilai faktor amplifikasi di suatu daerah dapat dilakukan dengan menggunakan klasifikasi pada Tabel 3, yang memungkinkan penentuan kelompok berdasarkan tingkat penguatan yang berbeda-beda.

Tabel 3. Klasifikasi nilai faktor amplifikasi (Setiawan, 2009)

Tipe	Nilai Faktor Amplifikasi $A_0$	Keterangan
I	$A_0 < 3$	Rendah
II	$3 \leq A_0 < 6$	Sedang
III	$6 \leq A_0 < 9$	Tinggi
IV	$A_0 \geq 9$	Sangat Tinggi

Nilai amplifikasi dipengaruhi oleh beberapa formasi geologi, ketebalan dan sifat-sifat fisik lapisan tanah dan batuan, yaitu batuan yang mengalami deformasi seperti pelapukan, perlipatan dan juga pergeseran yang dapat mengubah sifat fisik batuan, sehingga patahan atau sesar dianggap dapat mempengaruhi nilai amplifikasi.

### 3.7 Indeks Kerentanan Seismik

Indeks Kerentanan Tanah atau Indeks Kerentanan Seismik ( $K_g$ ) merupakan parameter yang menggambarkan tingkat kerentanan lapisan tanah permukaan terhadap deformasi ketika terjadi getaran seismik. Nilai indeks ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya keberadaan lapisan sedimen dengan tingkat kepadatan rendah yang lebih mudah mengalami amplifikasi, sedangkan lapisan batuan yang lebih padat dan stabil cenderung tidak meningkatkan amplifikasi (Wibowo & Huda, 2020). Nilai indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) dapat ditentukan menggunakan Persamaan (17) sebagai berikut (Ariyanto dkk., 2024):

$$K_g = \frac{A_0^2}{f_0} \quad (17)$$

Keterangan:

$K_g$  = Indeks kerentanan seismik

$A_0$  = Nilai amplifikasi

$f_0$  = Frekuensi natural

Nilai indeks kerentanan seismik dapat memberikan informasi potensi tingkat guncangan akibat gempa bumi pada suatu daerah. Efek lokal yang menyebabkan kerusakan saat gempa dicirikan oleh frekuensi dominan ( $f_0$ ) yang rendah (periode tinggi) dan faktor amplifikasi yang tinggi. Indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) menunjukkan korelasi hubungan antara faktor amplifikasi dengan frekuensi dominan tanah ( $f_0$ ). Nilai indeks kerentanan seismik ini mencerminkan tingkat kerusakan yang dapat timbul pada suatu kawasan atau struktur akibat gempa bumi, hal ini juga sangat terkait dengan kondisi geologi bawah permukaan. Pengelompokan nilai indeks kerentanan seismik terhadap besarnya resiko di suatu area akibat adanya getaran gempa bumi dapat ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Klasifikasi indeks kerentanan seismik (Refrizon dkk., 2013)

Tipe	Nilai Indeks Kerentanan Seismik $K_g$	Keterangan
I	$K_g < 3$	Rendah
II	$3 \leq K_g < 6$	Sedang
III	$K_g > 6$	Tinggi

### 3.8 Ketebalan Lapisan Sedimen

Nilai ketebalan lapisan sedimen dihitung berdasarkan hubungan antara frekuensi dominan dan model kecepatan gelombang geser rata-rata pada titik pengukuran. Hubungan tersebut dinotasikan dalam Persamaan (18) sebagai berikut:

$$h = \frac{V_s}{4f_0} \quad (18)$$

$V_s$  adalah kecepatan gelombang geser rata-rata dan  $f_0$  adalah frekuensi dominan hasil analisis HVSR. Parameter  $f_0$  merepresentasikan frekuensi resonansi tanah, sedangkan  $V_s$  mencerminkan tingkat kekakuan lapisan sedimen. Nilai  $V_s$  yang digunakan pada penelitian ini adalah nilai dari kecepatan gelombang geser rata-rata berdasarkan hasil inversi kurva HVSR di setiap titik pengukuran. Persamaan ini didasarkan pada konsep resonansi seperempat panjang gelombang, sehingga ketebalan sedimen dapat diperkirakan dari respon dinamik tanah. Nilai ini memberikan gambaran kedalaman batuan dasar di setiap titik pengukuran.

### 3.9 Inversi HVSR

Metode inversi kurva HVSR digunakan untuk memperkirakan model struktur bawah permukaan berdasarkan data hasil pengamatan melalui pembuatan berbagai model secara acak dan melakukan pencocokan hingga diperoleh model yang paling sesuai. Hasil akhir inversi dipengaruhi oleh ketepatan penentuan parameter yang mendekati kondisi eksperimen sehingga diperlukan proses iterasi atau pengulangan. Tingkat keakuratan hasil inversi dapat ditentukan melalui nilai *misfit*, apabila nilai *misfit* semakin kecil selama iterasi, maka semakin baik kecocokan model tersebut. Profil kecepatan gelombang geser akan dinilai akurat jika garis kurva hasil perhitungan matematis berhimpit atau mendekati garis kurva data lapangan. Selain itu, semakin kecil nilai *misfit* dari proses iterasi, maka profil kecepatan gelombang geser yang diperoleh semakin baik (Patimah dkk., 2018).

Salah satu pendekatan dalam inversi kurva HVSR adalah metode *Ellipticity Curve*. Pada penelitian ini, pengolahan inversi dilakukan menggunakan perangkat lunak *Dinver* dengan menetapkan parameter awal yang berfungsi untuk menentukan model bawah permukaan. Parameter-parameter tersebut antara lain seperti kecepatan gelombang P ( $V_P$ ), kecepatan gelombang S ( $V_S$ ), densitas, serta *poisson ratio*. Hasil dari proses inversi kurva H/V adalah untuk mendapatkan *ellipticity curve*, *ground profile*, nilai kecepatan gelombang geser, serta kedalaman setiap lapisan tanah pada titik pengukuran (Rahma dkk., 2023).

### 3.10 Kecepatan Gelombang Geser ( $V_S$ )

Kecepatan gelombang geser atau *shear wave velocity* ( $V_S$ ) merupakan parameter utama dalam menentukan sifat dinamis tanah. Gelombang geser sangat penting dalam analisis *site effect*, khususnya pada lapisan sedimen yang berada di atas batuan dasar. Nilai  $V_S$  diperoleh dari perambatan gelombang seismik yang gerak partikelnya tegak lurus terhadap arah rambat gelombang, sehingga mencerminkan kekuatan geser serta kekakuan material tanah (Sungkowo, 2016). Kecepatan gelombang geser ( $V_S$ ) telah lama dikenal sebagai indikator dalam evaluasi respons dinamis tanah. Perhitungannya dapat dilakukan melalui berbagai pendekatan, baik dengan metode geofisika maupun metode geoteknik.

Dalam kajian geofisika, estimasi model kecepatan gelombang  $V_S$  dapat dilakukan melalui inversi kurva *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR) dari data mikrotremor. Proses inversi ini mengacu pada metode Herak (2008), yaitu dengan menyesuaikan kurva HVSR hasil observasi terhadap kurva teoritis hingga diperoleh kecocokan terbaik dengan nilai *misfit* minimum. Setelah nilai kecepatan gelombang geser diperoleh, selanjutnya dilakukan estimasi kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 meter atau  $V_{S30}$ , dengan proses inversi yang difokuskan pada lapisan hingga kedalaman tersebut. Nilai  $V_{S30}$  merupakan rata-rata kecepatan gelombang geser sampai kedalaman 30 meter, yang dihitung berdasarkan waktu rambat gelombang dari permukaan hingga kedalaman tersebut. Besarnya kecepatan rata-rata gelombang geser untuk kedalaman maksimum 30 meter dapat ditentukan menggunakan Persamaan (19) sebagai berikut (Fadhilah dkk., 2022):

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=0}^N \left( \frac{h_i}{V_{si}} \right)} \quad (19)$$

Keterangan:

$V_{S30}$  = Kecepatan gelombang geser pada kedalaman 30 meter

$h_i$  = Ketebalan lapisan (m)

$V_{si}$  = Kecepatan gelombang geser untuk tiap lapisan

Nilai  $V_{S30}$  dapat dimanfaatkan untuk menilai potensi bahaya gempa serta menentukan standar perencanaan fondasi tahan gempa melalui klasifikasi jenis tanah sesuai ketentuan yang berlaku, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Klasifikasi *site* berdasarkan  $V_s$  (Badan Standardisasi Nasional, 2012)

Klasifikasi <i>Site</i>	$V_s$ (m/s)
Batuan Keras (SA)	$V_s \geq 1500$
Batuan (SB)	$750 < V_s \leq 1500$
Tanah Keras, Sangat Padat, dan Batuan Lunak (SC)	$350 < V_s \leq 750$
Tanah Sedang (SD)	$175 < V_s \leq 350$
Tanah Lunak (SE)	$V_s < 175$

### 3.11 Poisson Ratio

*Poisson ratio* merupakan salah satu parameter elastisitas material yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi karakteristik batuan atau tanah di suatu daerah. Saat suatu material dikenai gaya searah, baik berupa tarikan maupun tekanan, material tersebut tidak hanya berubah bentuk searah gaya, tetapi juga mengalami deformasi ke arah tegak lurus nya. Besaran ini merepresentasikan respons elastik material terhadap pembebanan. Dalam kajian kebumihan, *poisson ratio* juga berkaitan dengan tingkat rekahan (*fracturing*) batuan. Batuan yang mengandung fluida umumnya memiliki nilai *poisson ratio* lebih besar dibandingkan batuan padat yang tidak terisi fluida. (Manzella, 1990). Secara matematis, rasio poisson dapat dinyatakan sebagai fungsi dari kecepatan gelombang kompresi (P) dan gelombang geser (S), sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (20) sebagai berikut:

$$\nu = \frac{\left(\frac{V_P}{V_S}\right)^2 - 2}{2\left(\frac{V_P}{V_S}\right)^2 - 1} \quad (20)$$

Keterangan:

$\nu$  = *Poisson ratio*

$V_P$  = Kecepatan gelombang primer (*P-wave*)

$V_S$  = Kecepatan gelombang geser (*S-wave*)

Karakteristik dari setiap struktur lapisan bawah permukaan dapat dianalisis melalui nilai *poisson ratio* untuk material penyusunnya yang berbeda. *Poisson ratio* juga dapat berfungsi sebagai indikator kandungan air (kelembapan tanah) di dalam tanah. Perubahan kelembapan tanah dapat secara signifikan memengaruhi elastisitas tanah, rasio *poisson*, dan perilaku geomekanik secara keseluruhan. Jika nilai *poisson ratio* dan kecepatan gelombang P ditentukan dengan baik, maka jenis batuan dan kandungannya dapat diinterpretasi dari permukaan. Keterkaitan antara jenis batuan dan nilai *poisson ratio* yang bersesuaian dapat disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Nilai *poisson ratio* dari berbagai jenis batuan (Minardi dkk., 2025)

Jenis Tanah/Batuan	<i>Poisson Ratio</i>
Lempung jenuh	0,4 – 0,5
Lempung tidak jenuh	0,1 – 0,3
Lempung berpasir	0,2 – 0,3
Lanau ( <i>silt</i> )	0,3 – 0,35
Pasir dan pasir berkerikil	-0,1 – 1,00
Nilai yang umum digunakan	0,3 – 0,4
Batuan	0,1 – 0,4 (bergantung pada jenis batuan)
Loess	0,1 – 0,3
Es	0,36
Beton	0,15
Baja	0,33



## 4.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

Tabel 8. Data yang digunakan dalam penelitian

No	Jenis Data	Sumber Data
1.	Data Mikrotremor	Data penelitian ini menggunakan data primer hasil pengukuran sebanyak 14 titik di daerah Suoh
2.	Data Sesar PUSGEN 2017	Data sesar yang digunakan pada penelitian ini mengacu pada data sesar PUSGEN 2017 yang diperoleh dari katalog BMKG
2.	Peta Geologi	Penelitian ini mengacu pada Peta Geologi Lembar Kotaagung (Amin dkk., 1993) yang tersedia pada: <a href="https://geologi.esdm.go.id/geomap">https://geologi.esdm.go.id/geomap</a>
3.	Peta RBI dan Data DEMNAS	Data spasial ini digunakan untuk mendukung interpretasi geologi serta pemetaan zona penelitian yang tersedia pada: <a href="https://www.indonesia-geospasial.com">https://www.indonesia-geospasial.com</a>

Tabel 9. Peralatan yang digunakan dalam penelitian

No	Hardware/Software	Fungsi
1.	Laptop	Perangkat utama untuk mengoperasikan seluruh <i>software</i> pemrosesan dan analisis data HVSR
2.	Seismograf	Merekam sinyal mikrotremor di titik pengukuran, sehingga memperoleh data mikrotremor
3.	Accu/Aki	Menyediakan sumber daya listrik <i>portable</i> untuk menghidupkan seismograf selama pengukuran
4.	Global Positioning System (GPS)	Menentukan koordinat dan ketinggian setiap titik pengukuran secara akurat
5.	Logbook (Buku Catatan Lapangan)	Mencatat informasi dan kondisi lapangan selama proses akuisisi data
6.	Kamera/Handphone	Mendokumentasikan kondisi lokasi pengukuran sebagai bukti dan pendukung interpretasi lapangan
7.	Software Seisgram	Merekam, memantau, dan menyimpan data getaran mikrotremor secara <i>real-time</i> dari seismograf selama proses akuisisi data di lapangan

8.	<i>Software Dinver</i>	Melakukan inversi kurva HVSR untuk memperoleh model struktur kecepatan bawah permukaan
9.	<i>Software Geopsy</i>	Mengolah data mikrotremor dan menghasilkan kurva HVSR berdasarkan rasio spektral H/V
10.	<i>Software ArcGIS v.10.8</i>	Membuat dan menganalisis peta spasial untuk pemodelan dan pemetaan hasil HVSR
11.	<i>Software Ms. Excel 2021</i>	Mengolah, mengatur, dan menganalisis data numerik pendukung interpretasi HVSR
12.	<i>Software Ms. Word 2021</i>	Menyusun dokumentasi, laporan penelitian, dan penulisan hasil interpretasi penelitian HVSR
13.	<i>Software Visual Studio Code</i>	Melakukan <i>Quality Control</i> pada kurva HVSR agar sesuai dengan kriteria SESAME 2004
14.	<i>Software Rockwork</i>	Memvisualisasikan dan menginterpretasikan model bawah permukaan hasil inversi

---

### 4.3 Prosedur Penelitian

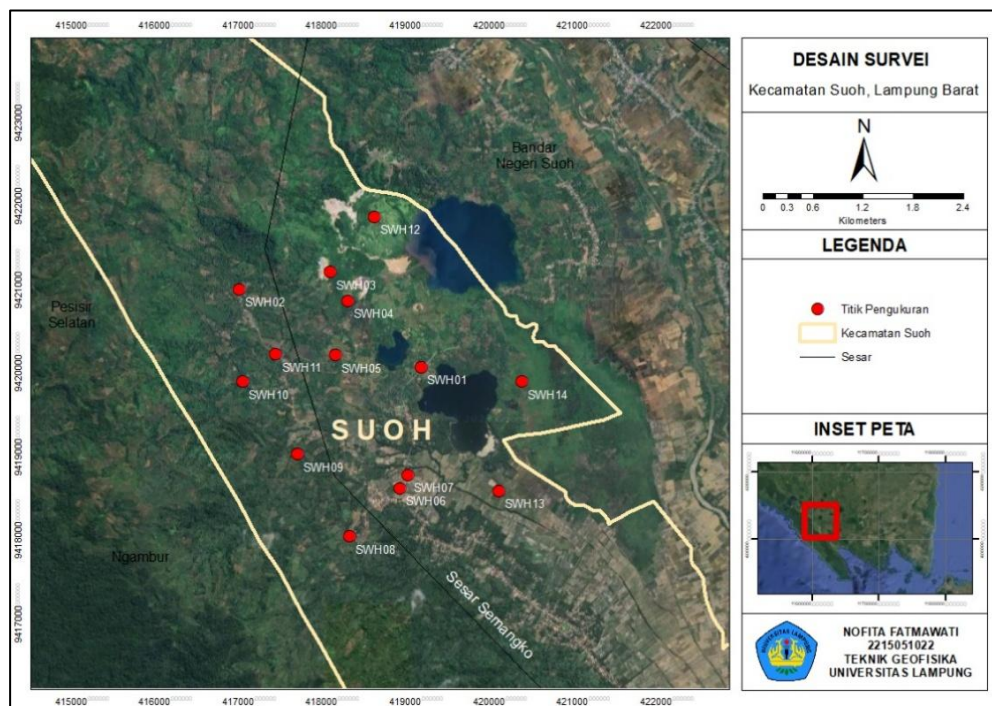
Adapun prosedur pengolahan data yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

#### 4.3.1 Studi literatur

Tahap studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan dan menelaah referensi ilmiah yang relevan, seperti jurnal, buku, laporan penelitian, dan peta geologi untuk memperoleh dasar teori serta pemahaman mengenai kondisi geologi dan dinamika seismik wilayah penelitian. Kegiatan ini bertujuan untuk menentukan parameter teknis yang berkaitan dengan metode HVSR, seperti durasi perekaman, frekuensi *sampling*, karakteristik sinyal mikrotremor, serta acuan interpretasi kurva H/V sehingga penelitian dapat dilakukan sesuai standar dan kaidah ilmiah. Selain itu, studi literatur digunakan sebagai dasar dalam penentuan metode analisis dan inversi HVSR yang sesuai dengan kondisi geologi daerah Suoh, serta sebagai pembanding dalam menginterpretasikan hasil karakterisasi struktur bawah permukaan yang diperoleh. Tahapan ini juga berperan dalam memastikan keterkaitan antara tujuan penelitian, metode yang digunakan, dan luaran yang diharapkan.

### 4.3.2 Desain survei

Berdasarkan hasil studi literatur, tahap selanjutnya adalah penyusunan desain survei pengukuran sebagai bagian dari perencanaan teknis pelaksanaan akuisisi data mikrotremor di lapangan. Pada tahap ini ditetapkan jumlah dan sebaran titik pengukuran, koordinat rencana lokasi, durasi perekaman, jenis instrumen yang digunakan, serta kebutuhan peralatan pendukung. Perencanaan tersebut dilakukan untuk memastikan proses akuisisi data berlangsung secara efisien, representatif, dan sesuai dengan tujuan penelitian. Pengukuran mikrotremor pada penelitian ini dilakukan pada 14 titik yang tersebar di wilayah Suoh, Lampung Barat, dengan mempertimbangkan kondisi geologi, morfologi, dan keterwakilan area penelitian. Desain survei pengukuran yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Desain survei pengukuran

### 4.3.3 Pengukuran data

Tahap pengukuran data dilakukan secara langsung di lapangan dengan melakukan perekaman mikrotremor pada 14 titik pengukuran yang tersebar di wilayah Suoh, Kabupaten Lampung Barat. Setiap titik diukur dengan durasi perekaman selama  $\pm 30$  menit untuk memastikan kestabilan sinyal dan

memperoleh representasi getaran alami permukaan tanah secara optimal. Instrumen seismograf yang digunakan terdiri dari dua jenis perangkat, yaitu Amadu Seismometer dan Seismograf Rakyat Indonesia (SRI), yang keduanya dioperasikan sesuai standar metode HVSR, mulai dari proses pemasangan sensor, *leveling*, orientasi arah, hingga pengaturan parameter *sampling*. Selama proses pengukuran, posisi masing-masing titik direkam menggunakan GPS, dan dilakukan pencatatan lapangan pada *logbook* serta didokumentasikan menggunakan kamera *handphone* sebagai informasi pendukung untuk tahap pengolahan dan interpretasi data. Tahap ini menjadi bagian penting untuk memperoleh data primer berkualitas sebagai dasar pengolahan dan analisis HVSR pada tahap berikutnya. Salah satu dokumentasi pengukuran dapat ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Pengukuran data mikrotremor

Gambar 11 menunjukkan konfigurasi peralatan berupa seismograf Amadu yang terhubung dengan unit perekam data dan laptop sebagai media *monitoring* selama proses perekaman berlangsung. Peralatan ditempatkan langsung di permukaan tanah dan dipastikan dalam kondisi stabil serta terlevel dengan baik untuk meminimalkan gangguan (*noise*).

Adapun pengambilan data didasarkan pada syarat yang ditetapkan oleh SESAME *European Research Project* yang terdapat pada Tabel 10.

Tabel 10. Prasyarat akuisisi data mikrotremor (SESAME, 2004)

Jenis Parameter	Saran yang Dianjurkan	
	Nilai $f_0$ minimum yang diharapkan (Hz)	Durasi minimum yang disarankan (menit)
Durasi pencatatan	0,2	30
	0,5	20
	1	10
	2	5
	5	3
	10	2
<i>Coupling soil-sensor alami (insitu)</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Letakkan sensor langsung pada permukaan tanah</li> <li>2. Hindari meletakkan sensor seismograf pada permukaan tanah lunak seperti lumpur, semak-semak, atau tanah lunak setelah hujan</li> </ol>	
<i>Coupling soil-sensor buatan atau artifisial</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Hindari penggunaan alas yang terbuat dari material lunak seperti karet atau busa</li> <li>2. Pada kemiringan yang curam, tempatkan sensor pada permukaan yang padat dan stabil, misalnya pada timbunan pasir atau wadah berisi pasir</li> </ol>	
Keberadaan bangunan atau pohon	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Hindari pengukuran di dekat bangunan, gedung bertingkat, atau pohon tinggi; jika tidak memungkinkan, ambil jarak minimal 5 m/s dari objek tersebut karena dapat memengaruhi analisis HVSR dengan munculnya frekuensi rendah pada kurva</li> </ol>	
Kondisi cuaca	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Angin: lindungi sensor dari angin kencang (lebih cepat dari 5 m/s)</li> <li>2. Hujan: hindari pengukuran saat hujan lebat</li> <li>3. Suhu: periksa kondisi sensor dan ikuti instruksi pabrik</li> </ol>	
Gangguan	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sumber monokromik: hindari pengukuran dekat mesin, industri, pompa air, generator, atau alat lain yang sedang beroperasi</li> <li>2. Sumber sementara (<i>transient</i>): jika terdapat gangguan seperti langkah kaki, kendaraan, atau suara lain, lanjutkan durasi perekaman untuk mendapatkan rentang waktu bebas gangguan yang cukup untuk analisis</li> </ol>	

#### 4.3.4 Pengolahan data

Data mikrotremor yang didapat dari proses akuisisi di lapangan kemudian diolah dan diproses dengan beberapa tahapan. Adapun langkah-langkah pengolahan data mikrotremor pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

##### 1. Pengolahan data mikrotremor menggunakan *software Geopsy*

Data rekaman mikrotremor dari seismograf yang telah berformat *\*mseed* diimpor ke dalam *Geopsy* untuk dilakukan proses *filtering* awal guna mengurangi *noise*. Selanjutnya, pemilihan *window* sinyal yang stabil, yaitu potongan waktu data yang menunjukkan getaran tanah yang relatif konstan dan tidak dipengaruhi oleh aktivitas sesaat seperti kendaraan atau langkah manusia. Hasil perbandingan spektrum komponen horizontal terhadap komponen vertikal menghasilkan kurva H/V yang menggambarkan respons dinamik tanah pada setiap titik pengukuran. Hasil kurva H/V tersebut, kemudian disimpan dengan ekstensi *\*hv*. Berdasarkan lebar *window* yang diperoleh serta pengelompokan spektrum warna pada tampilan *Geopsy*, maka akan menunjukkan tingkat kestabilan dan konsistensi data, sehingga memudahkan dalam menilai kualitas hasil pengukuran sebelum dilakukan analisis lanjutan.

Berdasarkan kurva H/V, diperoleh parameter frekuensi dominan ( $f_0$ ) dan faktor amplifikasi ( $A_0$ ). Nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) menunjukkan frekuensi alami tanah saat menerima getaran, sehingga dapat digunakan untuk mengidentifikasi potensi resonansi lokal yang memengaruhi respons bangunan saat terjadi gempa. Sementara itu, faktor amplifikasi ( $A_0$ ) menggambarkan seberapa besar penguatan gelombang seismik oleh lapisan tanah permukaan. Kedua parameter ini digunakan untuk menghitung indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ), di mana nilai  $K_g$  akan semakin besar jika amplifikasi tinggi dan frekuensi dominan rendah. Semakin tinggi nilai  $K_g$ , maka semakin besar pula potensi kerentanan suatu lokasi terhadap guncangan gempa. Nilai dari frekuensi dominan ( $f_0$ ), faktor amplifikasi ( $A_0$ ), dan indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ), inilah yang kemudian akan dipetakan dengan menggunakan *software ArcGis v.10.8*.

2. *Quality Control* kurva H/V menggunakan *software Visual Studio Code*

Kurva H/V yang telah diperoleh kemudian melalui tahap pemeriksaan kualitas dengan menjalankan *script* yang sesuai dengan parameter kriteria SESAME (2004) pada *software Visual Studio Code*. Langkah ini bertujuan untuk melakukan pengecekan apakah seluruh data pengukuran memenuhi kriteria standar SESAME (2004) agar keakuratan interpretasi tetap terjaga. Menurut SESAME (2004) kriteria untuk reliabilitas kurva H/V harus memenuhi syarat sebagai berikut:

- i.  $f_0 > 10/l_w$
- ii.  $n_c(f_0) > 200$
- iii.  $\sigma_A(f) < 2$  untuk  $0,5 < f < 2(f_0)$  jika  $f_0 > 0,5$  Hz atau  
 $\sigma_A(f) < 3$  untuk  $0,5 < f < 2(f_0)$  jika  $f_0 > 0,5$  Hz

3. Perhitungan nilai indeks kerentanan seismik ( $K_g$ )

Berdasarkan analisis kurva H/V, diperoleh parameter frekuensi dominan ( $f_0$ ) dan faktor amplifikasi ( $A_0$ ). Kedua parameter ini digunakan untuk menghitung indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ), di mana nilai  $K_g$  akan semakin besar jika amplifikasi tinggi dan frekuensi dominan rendah. Semakin tinggi nilai  $K_g$ , maka semakin besar pula potensi kerentanan suatu lokasi terhadap guncangan gempa.

4. Inversi kurva HVSR dengan metode *ellipticity curve* menggunakan *Dinver*

Kurva H/V yang telah melalui tahap *quality control* dan memenuhi kriteria selanjutnya dianalisis menggunakan *software Dinver* untuk melakukan proses inversi berbasis *ellipticity curve*. Inversi ini memanfaatkan hubungan antara bentuk kurva H/V dengan sifat gelombang *Rayleigh* yang merambat di dalam tanah. Kurva H/V berformat \*hv yang dihasilkan dari *Geopsy* digunakan sebagai data masukan, kemudian pada *software Dinver* akan dilakukan proses pemodelan secara iteratif sehingga diperoleh model awal distribusi kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) terhadap kedalaman secara optimal yang paling sesuai dengan data pengamatan, ditunjukkan oleh nilai *misfit error* yang rendah.

5. Pemodelan *ground profiles* dari hasil *ellipticity curve* pada *Dinver*

Model hasil inversi selanjutnya digunakan untuk membuat *ground profiles* berupa penampang vertikal bawah permukaan, yang menampilkan variasi nilai kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) pada tiap lapisan tanah/batuan untuk mengetahui struktur *subsurface* di daerah pengukuran. Melalui *ground profiles*, perbedaan lapisan lunak dan keras dapat dipahami secara visual.

6. Perhitungan ketebalan lapisan sedimen (h)

Ketebalan sedimen ditentukan berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) hasil inversi *Dinver* dan frekuensi dominan ( $f_0$ ) yang diperoleh dari kurva HVSR. Parameter  $f_0$  merepresentasikan frekuensi resonansi tanah, sedangkan  $V_s$  mencerminkan tingkat kekakuan lapisan sedimen. Hasil perhitungan ini digunakan untuk memperkirakan kedalaman batuan dasar (*bedrock*) pada setiap titik pengukuran di daerah penelitian.

7. Perhitungan nilai  $V_{S30}$

Nilai  $V_{S30}$  dihitung menggunakan parameter ketebalan lapisan ( $h_i$ ) dan kecepatan gelombang geser tiap lapisan ( $V_{si}$ ) hingga kedalaman 30 meter. Parameter ini menggambarkan kondisi kekakuan tanah lapisan permukaan dan digunakan sebagai dasar klasifikasi jenis tanah serta evaluasi respons tanah terhadap guncangan gempa bumi.

8. Perhitungan nilai *poisson ratio*

Nilai *poisson ratio* ditentukan berdasarkan hubungan antara nilai kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) dan kecepatan gelombang primer ( $V_p$ ) yang diperoleh dari hasil pemodelan bawah permukaan. *Poisson ratio* merepresentasikan sifat elastisitas material batuan atau tanah, khususnya respons deformasi lateral terhadap pembebanan vertikal. Nilai *poisson ratio* digunakan untuk mengidentifikasi kondisi kejenuhan air, tingkat kekompakan sedimen, serta potensi deformasi tanah akibat pembebanan dinamis, sehingga menjadi parameter penting dalam analisis kerentanan likuifaksi di daerah penelitian.

9. Pemodelan penampang 2D menggunakan *software Rockwork*

Nilai kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) pada kedalaman 30 meter atau nilai  $V_{s30}$ , serta nilai *poisson ratio* dari hasil perhitungan, diintegrasikan ke dalam *software Rockwork* untuk membuat model penampang dua dimensi (2D). Pemodelan penampang 2D ini merupakan hasil *slicing* dari model tiga dimensi (3D), sehingga didapatkan visualisasi struktur bawah permukaan secara menyeluruh pada area penelitian, tidak hanya pada satu titik tetapi secara spasial antar titik pengukuran.

10. Pemetaan dengan interpolasi menggunakan *software ArcGIS*

Parameter hasil pengolahan dan perhitungan, meliputi frekuensi dominan ( $f_0$ ), ketebalan sedimen, faktor amplifikasi ( $A_0$ ), indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ), nilai  $V_{s30}$  dan nilai *poisson ratio*, dipetakan secara spasial menggunakan *software ArcGIS v.10.8*. Proses interpolasi dilakukan untuk memperoleh distribusi nilai parameter di seluruh daerah penelitian. Hasil pemetaan ini dapat digunakan untuk memahami pola sebaran kondisi bawah permukaan dan zona kerentanan seismik di daerah Suoh, sehingga mendukung analisis mitigasi risiko bencana geologi.

#### 4.3.5 Interpretasi data

Tahap interpretasi data dilakukan untuk memahami makna geologi dari hasil pengolahan kurva HVSR, inversi model bawah permukaan, pemetaan serta pemodelan penampang 2D. Nilai frekuensi dominan, faktor amplifikasi, dan indeks kerentanan seismik dianalisis secara spasial untuk mengidentifikasi variasi karakteristik lapisan tanah, potensi resonansi lokal, serta tingkat kerentanan guncangan di daerah pengukuran. Hasil pemodelan *ground profile* dari *Dinver* dan visualisasi 2D dari *Rockwork* dibandingkan dengan kondisi geologi dan topografi wilayah penelitian untuk memperoleh gambaran struktur bawah permukaan secara lebih komprehensif. Melalui proses ini, dapat ditentukan zona dengan nilai respons seismik tinggi maupun rendah serta implikasinya terhadap mitigasi bencana geologi dan perencanaan pembangunan di wilayah Suoh, Kabupaten Lampung Barat.



## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Potensi bahaya gempa bumi di daerah Suoh ditunjukkan oleh nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) sebesar 1,64–6,58 Hz yang mencerminkan keberadaan sedimen tebal dan relatif lunak, sehingga berpotensi menimbulkan resonansi tanah–bangunan dan meningkatkan tingkat kerusakan saat gempa bumi. Selain itu, nilai indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) berkisar antara 0,28–9,43 menunjukkan kondisi wilayah yang umumnya stabil hingga cukup rentan, dengan kemungkinan kerusakan ringan hingga sedang pada zona tertentu.
2. Potensi likuifaksi di daerah Suoh tercermin dari nilai  $V_{S30}$  sebesar 166–320 m/s yang menunjukkan dominasi sedimen dengan kekompakan menengah hingga lunak. Kondisi ini mengindikasikan material sedimen jenuh air dan kurang terkonsolidasi yang rentan terhadap deformasi dinamis. Nilai *poisson ratio* yang relatif tinggi memperkuat interpretasi adanya sedimen jenuh air, berpori, dan elastis, yang secara geoteknik berkaitan erat dengan kerentanan likuifaksi, terutama pada endapan aluvial muda di sekitar lingkungan danau.
3. Karakteristik struktur bawah permukaan di daerah Suoh berdasarkan hasil pemodelan menunjukkan keberadaan variasi litologi, ketebalan sedimen, serta zona lemah yang berkaitan dengan struktur geologi aktif. Distribusi sedimen yang relatif lunak hingga jenuh pada kedalaman tertentu mencerminkan kondisi bawah permukaan yang rentan terhadap deformasi akibat aktivitas seismik, sehingga informasi pemodelan ini dapat digunakan sebagai dasar dalam mendukung upaya mitigasi potensi bencana geologi di daerah Suoh.

## 6.2 Saran

Disarankan dilakukan pengukuran mikrotremor dengan jarak titik yang lebih rapat, terutama pada area yang menunjukkan nilai kerentanan seismik tinggi,  $V_{S30}$  rendah, dan *poisson ratio* tinggi, sehingga distribusi kondisi bawah permukaan serta zonasi potensi bahaya gempabumi dan likuifaksi di daerah Suoh dapat dipetakan dengan lebih detail, sistematis, dan akurat sebagai dasar dalam perencanaan mitigasi bencana geologi serta dapat menjadi rujukan ilmiah bagi penelitian selanjutnya di daerah Suoh dan sekitarnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Amin, T. C., Sidarto, Santosa, S., & Gunawan, W. (1993). *Peta geologi lembar Kotaagung, Sumatera: Geological map of the Kotaagung Quadrangle, Sumatera*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Amirudin, Madrinovella, I., & Sofian. (2023). Seismic Vulnerability Analysis Using the Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) Method on the West Palu Bay Coastline. *Journal of Geoscience, Engineering, Environment, and Technology*, 08(02), 23–34. <https://doi.org/10.25299/jgeet.2023.8.02-2.13879>
- Arisona, Manginsih, S. L., Praja, N. K., & Hasria, A. (2023). Pemetaan Lapisan Tanah Menggunakan Data Mikrotremor HVSr dan Dampaknya Terhadap Daya Dukung Tanah di Kawasan Kota Kendari. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 24(1), 51–58. <http://dx.doi.org/10.33332/10.33332/jgsm.geologi.v24i1.724>
- Ariyanto, A., Farduwin, A., Styawan, Y., Andriani Putri, I., Eko Junian, W., Prasetyo, N., Rizki, R., Wulandari, R., Ryacudu, T., Huwi, W., Agung, J., & Selatan, L. (2024). Seismic Vulnerability Microzonation Through Hvsr Microtremor Analysis in the Kemiling District and Its Surroundings. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, 10(02), 82–99. <https://doi.org/10.23960/jge.v9i2.393>
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta, 15(3), 316–325. <https://doi.org/10.1080/0893569032000131613>
- Barber, A. J., & Crow, M. J. (2009). Structure of Sumatra and its Implications for The Tectonic Assembly of Southeast Asia and The Destruction of Paleotethys. *Island Arc*, 18(1), 3–20. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1738.2008.00631.x>
- Barber, A. J., Crow, M. J., & Milsom, J. (2005). *Sumatra: Geology, Resources And Tectonic Evolution*. Geological Society of London.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. (2024). *Indeks Risiko Bencana Indonesia (IRBI) 2024*. Jakarta: Badan Nasional Penanggulangan Bencana.

- Braile, L. (2004). *Seismic Wave Demonstrations and Animations : Exploration in Earth Science*. Purdue University, <http://web.ics.purdue.edu/~braile/edumod/waves/Wav>.
- Fadhilah, F. H., Yudistira, T., & Sopyan, Y. (2022). Pemetaan Respons Dinamik Tanah dan Pemodelan Struktur Bawah Permukaan di Wilayah Kertajati Menggunakan Metode Horizontal To Vertical Spectral Ratio (HVSr). *Jurnal Geofisika*, 20(2), 52. <https://doi.org/10.36435/jgf.v20i2.545>
- Farduwin, A., Nugraha, P., Styawan, Y., Yunita, E., Lestari, P., Terusan, J., & Way, R. (2025). Identifikasi Efek Tapak Menggunakan Metode HVSr di Kawasan Pemandian Air Panas Cisarua, Natar. *JGE (Jurnal Geofisika Eksplorasi)*, 11(02), 151–162. <https://doi.org/10.23960/jge.v11i2.494>
- Gemilang, R., Syawalia, N., Resta, I. L., Adhitya, B., & Efendi, A. (2024). Identification of Site Class Using Microtremor HVSr Measurements in Tanah Kampung District. *JOP (Journal Online of Physics)*, 9(3), 60–65.
- Handayani, W., Sekarsari, N. H., Sleman, G. K. I., Km, J. W., Yogyakarta, D. I., Sains, F., Kalijaga, U. I. N. S., & Adisucipto, J. L. (2024). Analisis Kerentanan Tanah di Selatan Zona Longsor Desa Kalongan, Kabupaten Semarang Menggunakan Metode HVSr. *Jurnal Stasiun Geofisika Sleman*, 2(2), 1–6.
- Herak, M. (2008). Model HVSr-A Matlab® tool to model horizontal-to-vertical spectral ratio of ambient noise. *Computers and Geosciences*, 34(11), 1514–1526. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2007.07.009>
- Hermawan, H. B., Ridlo, D. T., & Triastianti, R. D. (2022). Identifikasi Potensi Likuifaksi Berdasarkan Analisis Data Mikrotremor di Desa Trimurti, Srandakan, Bantul. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 22(2). <https://doi.org/10.37412/jrl.v22i2.145>
- Hidayatika, A., Utami, P., Suharno, & Amukti, R. (2015). Analysis of Thermal Manifestation in Suoh West Lampung Indonesia. *World Geothermal Congress, April*, 1–5.
- Hutasoit, T. A., Refrizon, R., & Suhendra, S. (2025). Pemodelan Struktur Bawah Permukaan Berdasarkan Data Mikrotremor di Kecamatan Kampung Melayu, Kota Bengkulu. *Jurnal Fisika Unand*, 14(1), 36–44. <https://doi.org/10.25077/jfu.14.1.36-44.2025>
- Iqbal, M., & Juliarka, B. R. (2019). Analisis Kerapatan Kelurusan (Lineament Density) di Lapangan Panasbumi Suoh-Sekincau, Lampung. *Journal of Science and Applicative Technology*, 3(2), 61. <https://doi.org/10.35472/jsat.v3i2.212>

- Kanai, K. (1983). *Engineering seismology*. Tokyo: University of Tokyo Press.
- Kayal, J. R. (2008). *Microearthquake seismology and seismotectonics of South Asia*. Springer.
- Mangga, A., Amirudin, T. S., & Gafoer, S. (1994). Sidarto, Geologi of Tanjungkarang quadrangle, Sumatra. *Bandung: Geological Research and Development Centre*.
- Manzella, A. (1990). Geophysical methods in geothermal exploration. In *Geochemical and geophysical methodologies in geothermal exploration*. Pisa, Italy: International Institute for Geothermal Research, Italian National Research Council.
- Minardi, S., Zubaidah, T., Martha, A. A., & Havidz, M. H. (2025). The Use of Poisson's Ratio and HVSR Analysis for Clustering Liquefaction Hazard Potential (Case Study: Mandalika Special Economic Zone Buffer Zone). *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 21(4), 2394-2405.
- Muslim, D., Zakaria, Z., Rachmat, H., Iqbal, P., Muslim, G. O., Sadewo, M. S., & Muslim, F. N. (2022). Identification of Geodiversity and Geosite Assessment around Geohazard Area of Suoh Aspiring Geopark in West Lampung, Sumatra, Indonesia. *Resources*, 11(11). <https://doi.org/10.3390/resources11110104>
- Nakamura, Y. (2000). Clear Identification of Fundamental Idea of Nakamura ' S. *Spectrum, System and Data Research Co. Ltd., 3-25-3 Fujimidai, Kunitachi-shi, Tokyo, Japan*, 2656.
- Nakamura, Y. (1989). A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface Using Microtremor on The Ground Surface. *Railway Technical Research Institute, Quarterly Reports*, 30(1).
- Nurwidyanto, M. I., Zainuri, M., Wirasatrya, A., & Yuliyanto, G. (2023). Struktur Bawah Permukaan Pantai Semarang berdasarkan Metode HVSR. *Indonesian Journal of Applied Physics*, 13(1), 117. <https://doi.org/10.13057/ijap.v13i1.66864>
- Patimah, S., Wibowo, N. B., & Darmawan, D. (2018). Subsurface Lithology Analysis Based on Shear Wave Velocity Ground Profiles Using Ellipticity Curve Method in Prambanan and Gantiwarno Subdistrict of Klaten Regency. *Jurnal Fisika*, 7(1), 59–65.
- Purnama, A. Y., Nurcahya, B. E., Nurhanafi, K., & Perdana, R. (2021).

Mikrozonasi Berdasarkan Data Mikrotremor dan Kecepatan Gelombang Geser di Kotamadya Yogyakarta. *Positron*, 11(2), 86–94. <https://doi.org/10.26418/positron.v11i2.46860>

Putra, A. F., & Husein, S. (2016). Pull-Apart Basins of Sumatran Fault : Previous Works and Current Perspectives Regional Setting Pull-Apart Basin Along. *Seminar Nasional Kebumihan Ke-9, March 2017*, 19.

Putra, A. K., Yatini, Y., & Paripurno, E. T. (2023). Application of HVSR Method on Microtremor Data for Analysis of Earthquake Potential in Candipuro District, Lumajang, Indonesia. *Journal of Geoscience, Engineering, Environment, and Technology*, 8(4). <https://doi.org/10.25299/jgeet.2023.8.4.13460>

Rahma I., Nurhaci D. S., & Prayoedhie, S. (2023). Identifikasi Daerah Rawan Longsor Berdasarkan Kecepatan Gelombang Geser di Desa Salamkanci, Kecamatan Bandongan. *Jurnal Stasiun Geofisika Sleman*, 1(1), 9–14.

Refrizon, R., Hadi, A. I., Lestari, K., & Oktari, T. (2013). Analisis Percepatan Getaran Tanah Maksimum dan Tingkat Kerentanan Seismik Daerah Ratu Agung Kota Bengkulu. *Prosiding Semirata 2013*, 1(1).

Riyanto, S., & Supardi, A. P. (2009). Algoritma Fast Fourier Transform (FFT) Decimation in Time (DIT) dengan resolusi 1/10 Hertz. In *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan, dan Penerapan MIPA Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta* (Vol. 16).

SESAME. (2004). Guidelines for The Implementation of The H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations-Measurements, Processing and Interpretations, SESAME European Research Project. *SESAME: Site EffectS assessment using Ambient Excitations, March*, 1–62.

Setiawan, J. H. (2009). *Mikrozonasi Seismisitas Daerah Yogyakarta dan Sekitarnya*. Institut Teknologi Bandung, Bandung.

Sunarjo, Gunawan, T., & Pribadi, S. (2010). *Gempa Bumi Edisi Populer*. Jakarta

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

Syafitri, M. N., Pratiwi, A., & Afifah, U. N. (2025). Investigasi Karakteristik Tanah Menggunakan Metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio pada Studi Kasus Kawasan Institut Teknologi Sumatera. *JIRK (Journal of Innovation Research and Knowledge)*, 5(4), 5167–5174.

- Wibowo, N. B., & Huda, I. (2020). Analysis of Amplification, Seismic Vulnerability Index and Soil Classification Based on Vs30 in Yogyakarta. *Buletin Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika*, 1(2), 21–31.
- Yuliawati W. S., Rasimeng S., & Karyanto. (2019). Pengolahan Data Mikrotremor Berdasarkan Metode HVSR dengan Menggunakan Matlab. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, 5(1), 45–59. <https://doi.org/10.23960/jge.v>
- Yuniarto, A. H. P. (2023). Mikrozonasi Seismik Di Kawasan Itsnu Pekalongan Dengan Menggunakan Metode HVSR. *Jurnal Kumparan Fisika*, 6(1), 47–54. <https://doi.org/10.33369/jkf.6.1.47-54>
- Zaenudin, A., Farduwin, A., Darmawan, B. G. I., & Karyanto. (2024). Shear Wave Velocity Model Using HVSR Inversion Beneath Bandar Lampung City. *Earthquake Science*, 37(4), 337–351. <https://doi.org/10.1016/j.eqs.2024.04.004>