

**IDENTIFIKASI KARAKTERISTIK *SUBSURFACE* BERBASIS INVERSI
MIKROTREMOR UNTUK MITIGASI BENCANA KEBUMIHAN DI
BANDAR NEGERI SUOH, LAMPUNG BARAT**

(Skripsi)

Oleh

Serli Marlina

NPM 2215051023



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2026

**IDENTIFIKASI KARAKTERISTIK *SUBSURFACE* BERBASIS INVERSI
MIKROTREMOR UNTUK MITIGASI BENCANA KEBUMIHAN DI
BANDAR NEGERI SUOH, LAMPUNG BARAT**

**Oleh
Serli Marlina**

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

IDENTIFIKASI KARAKTERISTIK *SUBSURFACE* BERBASIS INVERSI MIKROTREMOR UNTUK MITIGASI BENCANA KEBUMIHAN DI BANDAR NEGERI SUOH, LAMPUNG BARAT

Oleh
Serli Marlina

Kecamatan Bandar Negeri Suoh, Lampung Barat, merupakan wilayah dengan potensi bahaya kebumihan akibat kondisi geologi dan aktivitas seismik regional. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi karakteristik *subsurface* berbasis inversi mikrotremor menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr) pada 16 titik pengukuran untuk mendukung mitigasi bencana kebumihan. Parameter yang dianalisis meliputi frekuensi dominan (f_0), faktor amplifikasi, indeks kerentanan seismik (K_g), ketebalan sedimen, kecepatan gelombang geser (V_s dan V_{s30}), serta poisson ratio (σ). Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh titik memiliki nilai amplifikasi < 3 (kategori rendah), dengan variasi frekuensi dominan Jenis I–IV yang mencerminkan perbedaan karakteristik lapisan tanah. Indeks kerentanan seismik umumnya rendah, namun Titik 7 di Desa Suoh tergolong sedang dan memiliki potensi likuifaksi tertinggi akibat ketebalan sedimen besar, nilai V_{s30} rendah, poisson ratio tinggi, serta kondisi tanah jenuh air. Hasil penelitian ini dapat menjadi dasar dalam perencanaan mitigasi melalui penguatan fondasi, pengaturan tata ruang, pemantauan muka air tanah, dan penerapan konstruksi tahan gempa.

Kata kunci: mikrotremor, HVSr, karakteristik *subsurface*, kerentanan seismik, likuifaksi, mitigasi bencana.

ABSTRACT

IDENTIFICATION OF SUBSURFACE CHARACTERISTICS BASED ON MICROTREMOR INVERSION FOR EARTH DISASTER MITIGATION IN BANDAR NEGERI SUOH, WEST LAMPUNG

By

Serli Marlina

Bandar Negeri Suoh District, West Lampung, is an area with potential geohazards due to geological conditions and regional seismic activity. This study aims to identify subsurface characteristics based on microtremor inversion using the Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) method at 16 measurement points to support geohazard mitigation. The parameters analyzed include dominant frequency (f_0), amplification factor, seismic vulnerability index (K_g), sediment thickness, shear wave velocity (V_s and V_{s30}), and Poisson ratio (σ). The results show that all points have an amplification value <3 (low category), with variations in dominant frequencies of Types I–IV reflecting differences in soil layer characteristics. The seismic vulnerability index is generally low, but Point 7 in Suoh Village is classified as moderate and has the highest liquefaction potential due to large sediment thickness, low V_{s30} value, high Poisson ratio, and water-saturated soil conditions. The results of this study can be the basis for mitigation planning through foundation strengthening, spatial planning, groundwater level monitoring, and the application of earthquake-resistant construction.

Key words: microtremors, HVSr, subsurface characteristics, seismic vulnerability, liquefaction, disaster mitigation.

Judul

: Identifikasi Karakteristik *Subsurface*
Berbasis Inversi Mikrotremor Untuk
Mitigasi Bencana Kebumihan Di
Bandar Negeri Suoh, Lampung Barat

Nama Mahasiswa

: **Serfi Marlina**

Nomor Pokok Mahasiwa

: 2215051023

Program Studi

: Teknik Geofisika

Fakultas

: Teknik



Pembimbing 1

Pembimbing 2

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

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

NIP 197112101997021001

NIP 199102072018032001

2. Ketua Jurusan Teknik Geofisika

Dr. Ir. Syamsurijal Kasimeng, 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 : Dr. Ir. Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si.,
C.EIA, IPM.**

2. Dekan Fakultas Teknik

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

NIP. 196910302000031001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 13 Maret 2026



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

PERNYATAAN

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi berjudul “Identifikasi Karakteristik *Subsurface* Berbasis Inversi Mikrotremor untuk Mitigasi Bencana Kebumihan di Bandar Negeri 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, 06 April 2026



Serli Marlina

NPM 2215051023

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Kecamatan Bukit Kemuning, Kabupaten Lampung Utara, pada tanggal 24 Maret 2004 sebagai anak dari keluarga yang senantiasa memberikan dukungan dalam menempuh pendidikan. Pendidikan formal dimulai di SD Negeri 02 Bukit Kemuning pada tahun 2010–2016, kemudian melanjutkan ke SMP Negeri 01 Bukit Kemuning pada tahun 2016–2019, dan SMA Negeri 1 Bukit Kemuning pada tahun 2019–2022.

Pada tahun 2022, penulis melanjutkan pendidikan tinggi di Universitas Lampung pada Jurusan Teknik Geofisika melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN). Selama menempuh studi, penulis aktif dalam kegiatan organisasi kemahasiswaan, antara lain sebagai anggota Bidang Sains dan Teknologi (SAINTEK) Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika (HIMA TG Bhuwana) pada tahun 2023 serta anggota Forum Silaturahmi dan Studi Islam Fakultas Teknik (FOSSI FT) periode 2023–2024.

Pada tahun 2025, penulis melaksanakan Kerja Praktik (KP) di PT. Gecko Geomekanika Persada di Cimahi, Jawa Barat, dengan judul laporan “*Prediksi Jenis Stress Regime Berdasarkan Parameter Geomekanika Lapangan ‘SEMA’ Sub-Cekungan Jawa Barat Utara.*” Adapun tugas akhir yang disusun berjudul “*Identifikasi Karakteristik Subsurface Berbasis Inversi Mikrotremor untuk Mitigasi Bencana Kebumihan di Bandar Negeri Suoh, Lampung Barat*”. Penulisan tugas

akhir ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Geofisika, Universitas Lampung.

PERSEMBAHAN

Segala puji bagi Allah SWT atas segala karunia, nikmat kesehatan, dan kekuatan yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan karya ini dengan penuh rasa syukur.

Karya ini penulis persembahkan dengan sepenuh hati kepada:

Ayah dan Ibu tercinta

Sosok yang tak pernah lelah mendoakan, mendukung, dan menguatkan dalam setiap keadaan. Terima kasih atas cinta yang tulus, pengorbanan yang tanpa pamrih, serta kesabaran yang tak terhingga. Setiap langkah penulis hingga sampai di titik ini tidak terlepas dari doa dan ridha kalian.

Kakak-kakak terkasih

Yang selalu hadir sebagai penyemangat, pendengar terbaik, dan penguat di setiap proses kehidupan. Terima kasih atas dukungan dan kebersamaan yang selalu menguatkan.

Untuk diri penulis sendiri

Atas keberanian untuk terus melangkah, bertahan dalam tekanan, serta tetap berusaha memberikan yang terbaik meski dalam keadaan lelah. Perjalanan ini menjadi bukti bahwa ketekunan dan doa tidak pernah sia-sia.

Keluarga Besar Granit Teknik Geofisika 2022

Serta

Keluarga Besar Teknik Geofisika Universitas Lampung,

Yang telah menjadi bagian penting dalam perjalanan akademik penulis, tempat berbagi ilmu, pengalaman, serta kenangan yang berharga.

MOTTO HIDUP

"Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan"

(Q.S Al-Insyirah ayat 5-6)

"Wahai orang-orang yang beriman! Mohonlah pertolongan (kepada Allah) dengan sabar dan salat. Sungguh, Allah beserta orang-orang yang sabar"

(Q.S Al-Baqarah ayat 153)

“Dunia tidak diciptakan hanya untukmu, maka biasakanlah dirimu menghadapi hal-hal yang tidak selalu berpihak kepadamu.”

(Kakashi Hatake)


Sesulit apapun itu, pulanglah sebagai S.T.

(Serli Marlina)

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga skripsi yang berjudul "*Identifikasi Karakteristik Subsurface Berbasis Inversi Mikrotremor untuk Mitigasi Bencana Kebumihan di Bandar Negeri 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 kebumihan 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.

Bandar Lampung, 06 April 2026



Serli Marlina

NPM.2215051023

SANWACANA

Dengan penuh rasa syukur atas segala ketetapan dan pertolongan Allah Subhanahu wa Ta'ala, akhirnya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul ***“Identifikasi Karakteristik Subsurface Berbasis Inversi Mikrotremor untuk Mitigasi Bencana Kebumihan di Bandar Negeri Suoh, Lampung Barat.”*** Karya ini tersusun berkat limpahan rahmat, kemudahan, serta bantuan dari berbagai pihak, sehingga pada kesempatan ini penulis bermaksud menyampaikan apresiasi dan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ahmad Herison, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
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 yang telah memberikan bimbingan selama proses penyusunan skripsi ini.
5. Ibu Rahmi Mulyasari, S.Pd., M.T., selaku Dosen Pembimbing II yang dengan sabar membimbing selama penyelesaian skripsi ini.
6. Bapak Dr. Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si., C.EIA., IPM., selaku Dosen Penguji atas setiap saran yang membangun demi penyempurnaan skripsi ini.
7. Prof. Dr. Ir. Ahmad Zaenudin, S.Si., M.T., CRP., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan bimbingan selama masa perkuliahan.

8. Seluruh dosen Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung yang telah memberikan ilmu, pengalaman, dan pembelajaran berharga selama masa perkuliahan.
9. Kedua orang tua tercinta atas doa, dukungan, pengorbanan, serta segala usaha yang telah diberikan tanpa henti demi keberhasilan penulis.
10. Kakak-kakak tersayang yang selalu menjadi penyemangat, pelindung, serta sumber kekuatan dalam setiap proses yang dilalui penulis.
11. Sahabat terdekat selama perkuliahan, Nofita Fatmawati dan Firda Amalia, yang telah banyak membantu, kebersamai dalam suka dan duka.
12. Keluarga Besar Granit 22 (Teknik Geofisika Angkatan 2022) yang telah menjadi bagian dari perjalanan dan tempat bertumbuh.
13. Pihak PT. Gecko Geomekanika Persada yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk melaksanakan Kerja Praktik serta memperoleh ilmu dan pengalaman yang berharga.
14. Diri penulis sendiri, yang telah melalui proses pendewasaan selama masa perkuliahan, dan bertahan dalam setiap tantangan hingga akhirnya mampu menyelesaikan tahap ini.
15. Serta seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah memberikan bantuan dan dukungan dalam penyelesaian skripsi ini.

Sebagai penutup, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki keterbatasan, baik dari segi substansi maupun sistematika penyajiannya. Oleh karena itu, kritik dan saran yang konstruktif sangat diharapkan demi penyempurnaan karya ini di masa mendatang. Penulis berharap skripsi ini dapat memberikan kontribusi dalam bidang kegeofisikaan serta menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya.

Bandar Lampung, 06 April 2026



Serli Marlina

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	iii
<i>ABSTRACT</i>	iv
MENGESAHKAN	vi
PERNYATAAN	vii
RIWAYAT HIDUP	viii
PERSEMBAHAN	x
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian	3
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Administrasi Lokasi	5
2.2 Geologi Penelitian	6
2.3 Fisiografi dan Morfologi	8
2.4 Penelitian Terdahulu	9
BAB III TEORI DASAR	11
3.1 Gelombang Seismik.....	11
3.1.1 Gelombang Badan	11
3.1.2 Gelombang Permukaan	14
3.2 Transformasi Fourier	16
3.3 Mikrotremor.....	16

3.4 Metode HVSR dan <i>Ellipticity Curve</i>	17
3.5 Frekuensi Dominan	23
3.6 Ketebalan Sedimen.....	25
3.7 Kecepatan Gelombang Geser.....	26
3.8 Faktor Amplifikasi	27
3.9 Indeks Kerentanan Seismik.....	28
3.10 Poisson Ratio	29
BAB IV METODOLOGI	31
4.1 Tempat dan Waktu Penelitian	31
4.2 Alat dan Bahan.....	33
4.3 Prosedur Penelitian	34
4.3.1 Data Mikrotremor.....	34
4.3.2 Pengolahan Data.....	35
4.4 Diagram Alir	38
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	41
5.1 Hasil Penelitian.....	41
5.2 Pembahasan Penelitian	42
5.2.1 Frekuensi Dominan (f_0) dan Amplitudo Puncak (A_0)	42
5.2.2 Inversi HVSR	43
5.2.3 Amplifikasi dan Indeks Kerentanan Seismik	46
5.2.4 Analisis V_{S30} , Ketebalan Sedimen, dan Poisson Ratio	54
BAB VI KESIMPULAN	65
6.1 Kesimpulan.....	65
6.2 Saran	68
DAFTAR PUSTAKA	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Peta lokasi penelitian Kecamatan Bandar Negeri Suoh.....	5
2. Peta geologi penelitian Kecamatan Bandar Negeri Suoh	6
3. Stratigrafi daerah penelitian (Amin dkk., 1993)	7
4. Peta topografi penelitian Kecamatan Bandar Negeri Suoh.....	8
5. Deformasi gelombang P dan S (Zuhdi dkk., 2021).....	12
6. Ilustrasi gerak gelombang Rayleigh (Putra & Saputra, 2022)	15
7. Ilustrasi gerak gelombang Love (Putra & Saputra, 2022).....	15
8. Diagram Alir <i>Quality Control</i> Kurva HVSR.....	39
9. Diagram Alir Penelitian.....	40
10. Kurva H/V	43
11. <i>Ground Profiles</i>	45
12. <i>Ellipticity Curve</i>	46
13. Peta amplifikasi.....	47
14. Peta frekuensi dominan	49
15. Peta indeks kerentanan seismik.....	51
16. Peta V_{S30}	55
17. 3D V_{S30}	56
18. <i>Slicing A-A'</i>	56
19. <i>Slicing B-B'</i>	57
20. Peta ketebalan sedimen	58
21. Peta poisson ratio	61
22. 3D poisson ratio	61
23. <i>Slicing A-A'</i>	62
24. <i>Slicing B-B'</i>	62
25. Peta kontur <i>overlay</i>	65

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Penelitian terdahulu.....	9
2. Kriteria SESAME (2004).....	21
3. Klasifikasi tanah (Arifin dkk., 2014)	24
4. Klasifikasi <i>site</i> V_{S30} SNI 1726(2012).....	26
5. Faktor amplifikasi (Sitorus dkk., 2014)	28
6. Klasifikasi indeks kerentanan seismik (Refrizon dkk., 2013).....	29
7. Klasifikasi poisson ratio (Bowles, 1997)	30
8. Jadwal kegiatan penelitian	32
9. Pedoman teknis survei mikrotremor (SESAME, 2004).....	34
10. Nilai frekuensi dominan (f_0) dan amplitudo uncak (A_0)	42
11. Nilai hasil inversi dan V_{S30}	45
12. Nilai amplifikasi.....	46
13. Frekuensi dominan	48
14. Klasifikasi indeks kerentanan seismik	50
15. Rekapitulasi titik pengukuran	52
16. Klasifikasi <i>site</i> V_{S30}	55
17. Analisis ketebalan sedimen	58
18. Klasifikasi poisson ratio	59
19. Pembobotan 16 titik pengukuran	64
20. Rekapitulasi titik pengukuran	64

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kecamatan Bandar Negeri Suoh merupakan salah satu wilayah di Kabupaten Lampung Barat dengan luas sekitar 175,60 km². Kecamatan ini berbatasan dengan Kecamatan Batu Brak di selatan dan timur, Kabupaten Pesisir Barat di barat, dan Kecamatan Sukau di utara. Kecamatan Bandar Negeri Suoh memiliki kondisi bentang alam yang beragam, meliputi dataran, rawa, perbukitan, hingga pegunungan (Nugraha dan Rezki, 2024). Variasi bentang alam tersebut berpengaruh terhadap karakteristik *subsurface*, khususnya sifat fisik dan mekanik lapisan tanah dangkal yang berperan dalam menentukan respons tanah terhadap getaran.

Wilayah Bandar Negeri Suoh terletak pada zona tektonik aktif Sumatra yang dipengaruhi oleh keberadaan Sesar Semangko. Keberadaan sesar aktif tersebut mengindikasikan bahwa wilayah Bandar Negeri Suoh memiliki potensi kegempaan. Pada wilayah yang berada di sekitar jalur sesar, respons tanah terhadap getaran seismik tidak hanya dipengaruhi oleh karakteristik sumber gempa, tetapi juga sangat ditentukan oleh kondisi *subsurface* setempat.

Kondisi *subsurface*, seperti jenis material penyusun dan ketebalan lapisan sedimen, berperan dalam mengendalikan respons tanah terhadap rambatan gelombang seismik, termasuk terjadinya penguatan gelombang akibat efek tapak lokal. Pada kondisi tertentu, guncangan gempa bumi juga dapat memicu terjadinya likuifaksi, yaitu menurunnya kekuatan dan kekakuan tanah sebagai akibat dari pembebanan siklik selama gempa. Likuifaksi umumnya berkembang pada lapisan sedimen berbutir lepas yang jenuh air, ketika peningkatan tekanan

air pori menyebabkan berkurangnya tegangan efektif tanah (Wathoni dkk., 2023). Faktor-faktor yang memengaruhi terjadinya likuifaksi antara lain ketebalan lapisan sedimen, kondisi muka air tanah, serta sifat dinamik tanah.

Sejalan dengan kebutuhan untuk memahami pengaruh kondisi *subsurface* terhadap respons tanah akibat gempa bumi, kajian karakteristik *subsurface* menggunakan metode mikrotremor telah banyak dilakukan pada berbagai wilayah yang memiliki potensi kegempaan. Purnomo (2019) menyatakan bahwa analisis mikrotremor dengan pendekatan *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr) mampu memberikan gambaran kondisi lapisan bawah permukaan yang berkaitan dengan respons tanah terhadap guncangan gempa bumi. Patimah (2017) mengidentifikasi keberadaan zona tanah lunak melalui parameter frekuensi dominan dan amplifikasi hasil analisis HVSr, yang berkorelasi dengan tingkat kerentanan wilayah terhadap bahaya gempa bumi. Selain itu, Wathoni dkk. (2023) menerapkan metode HVSr untuk mengkaji potensi likuifaksi dengan mempertimbangkan parameter dinamik tanah dan kondisi hidrogeologi, sehingga mampu mengidentifikasi zona yang berpotensi mengalami penurunan kekuatan tanah akibat gempa bumi.

Hasil penelitian terdahulu tersebut menunjukkan bahwa metode HVSr dapat dimanfaatkan untuk mengkaji respons dinamik tanah serta karakteristik lapisan sedimen dangkal yang berperan dalam mengendalikan tingkat bahaya gempa bumi dan potensi terjadinya likuifaksi. Parameter-parameter hasil analisis mikrotremor memberikan informasi mengenai kondisi *subsurface* yang tidak dapat diperoleh secara langsung melalui pengamatan permukaan. Namun demikian, penerapan pendekatan ini masih relatif terbatas pada wilayah-wilayah tertentu dan belum banyak dilakukan di Kecamatan Bandar Negeri Suoh, yang secara tektonik berada pada zona aktif dengan kondisi geologi yang beragam.

Kecamatan Bandar Negeri Suoh mengalami perkembangan permukiman dan infrastruktur yang cukup pesat, sementara wilayah ini berada pada daerah

dengan potensi kegempaan yang relatif tinggi. Kondisi tersebut menuntut adanya pemahaman yang memadai mengenai karakteristik *subsurface* sebagai dasar dalam perencanaan wilayah yang berorientasi pada pengurangan risiko bencana. Ketiadaan informasi bawah permukaan yang memadai dapat meningkatkan kerentanan terhadap kerusakan bangunan akibat penguatan gelombang seismik maupun fenomena geologi lain yang dipicu oleh gempa bumi.

Oleh karena itu, penelitian ini diarahkan untuk mengidentifikasi karakteristik *subsurface* berbasis inversi mikrotremor di Kecamatan Bandar Negeri Suoh, Kabupaten Lampung Barat. Informasi yang diperoleh diharapkan mampu memberikan gambaran mengenai perilaku dinamik tanah dan kondisi lapisan bawah permukaan yang berkaitan dengan bahaya gempa bumi dan potensi likuifaksi. Hasil penelitian ini diharapkan dapat dimanfaatkan sebagai salah satu dasar dalam upaya mitigasi bencana kebumihan, khususnya dalam mendukung perencanaan tata ruang, pembangunan infrastruktur, dan peningkatan kesiapsiagaan terhadap risiko gempa bumi di wilayah Kecamatan Bandar Negeri Suoh.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis frekuensi dominan, faktor amplifikasi dan indeks kerentanan sesimik untuk mengetahui indikasi kerentanan wilayah terhadap guncangan gempa bumi sebagai dasar karakteristik *subsurface*.
2. Menganalisis ketebalan sedimen, kecepatan gelombang geser (V_s), dan poisson ratio (σ), guna mengetahui indikasi kondisi tanah yang rentan mengalami likuifaksi berdasarkan karakteristik tanah.
3. Memberikan gambaran mengenai upaya mitigasi bencana kebumihan dengan mempertimbangkan karakteristik *subsurface* berdasarkan hasil analisis parameter seismik di Kecamatan Bandar Negeri Suoh.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Lokasi penelitian terbatas pada Kecamatan Bandar Negeri Suoh, Lampung Barat.
2. Data yang digunakan merupakan data mikrotremor yang dianalisis menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr).
3. Penentuan nilai kecepatan gelombang geser (V_s) dilakukan melalui pemodelan *ground profiles* menggunakan metode *ellipticity curve*.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Manfaat Ilmiah

Memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan kajian geofisika, khususnya terkait pemanfaatan metode mikrotremor dan inversinya dalam mengidentifikasi karakteristik *subsurface* serta respons dinamik tanah terhadap bahaya gempa bumi dan potensi likuifaksi. Penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan mitigasi bencana kebumihannya di wilayah dengan kondisi geologi dan tektonik yang serupa.

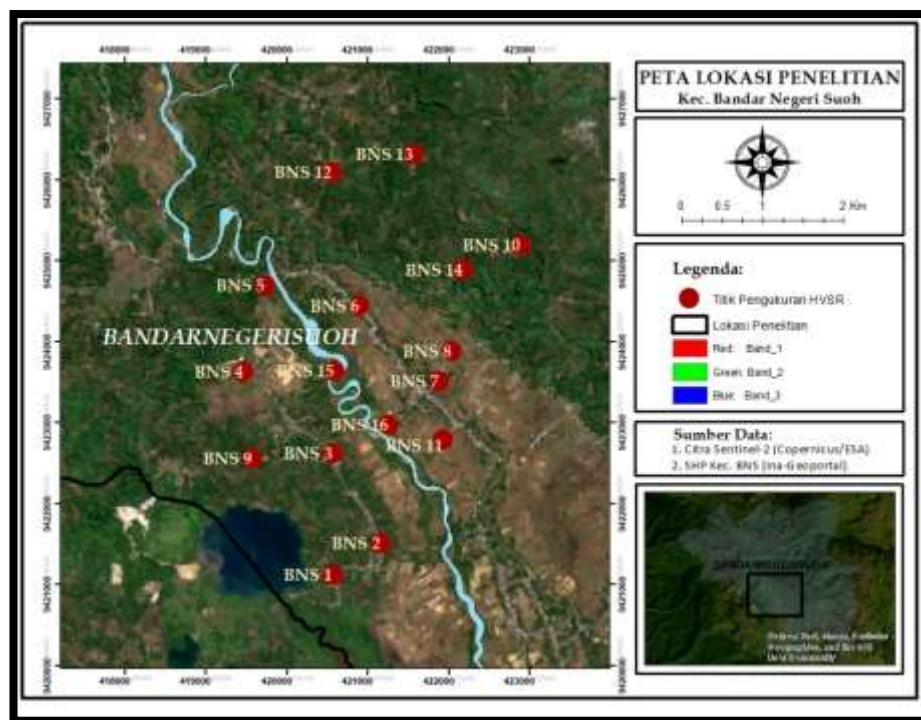
2. Manfaat Praktis

Menyediakan informasi *subsurface* yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan pertimbangan dalam perencanaan tata ruang, pembangunan infrastruktur, dan pengelolaan wilayah di Kecamatan Bandar Negeri Suoh. Informasi tersebut diharapkan dapat mendukung upaya pengurangan risiko bencana gempa bumi dan likuifaksi, khususnya dalam meningkatkan ketahanan bangunan dan keselamatan masyarakat.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Administrasi Lokasi

Penelitian ini berfokus pada wilayah Kecamatan Bandar Negeri Suoh, yang berada dalam administrasi Kabupaten Lampung Barat di Provinsi Lampung. Secara geografis, wilayah tersebut berada sekitar -5.2309339 Lintang Selatan (LS) dan 104.3676635 Bujur Timur (BT). Letak dan batas area penelitian digambarkan secara lebih detail melalui peta pada Gambar 1 dibawah ini.

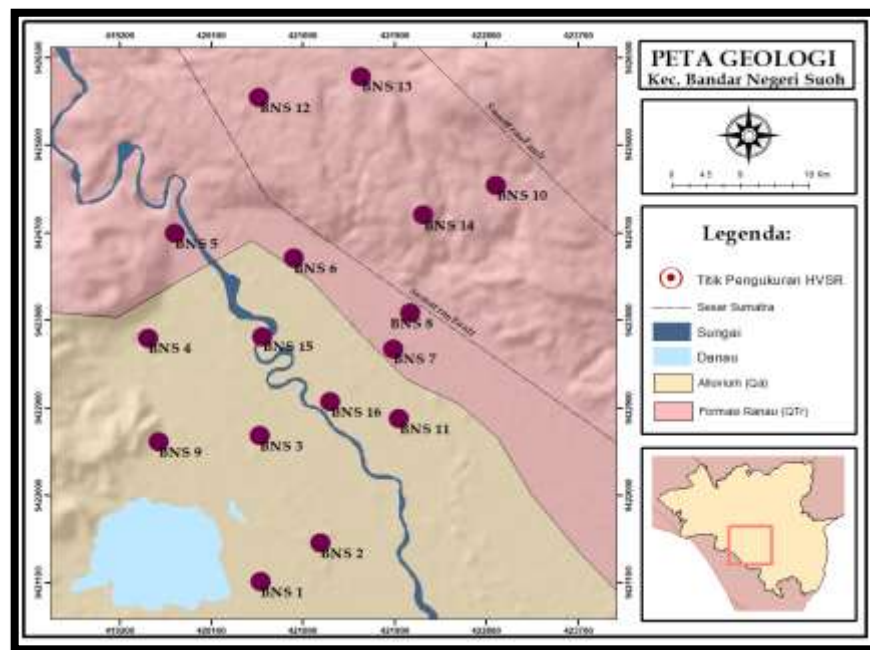


Gambar 1. Peta lokasi penelitian Kecamatan Bandar Negeri Suoh
(Sumber: Ina-Geoportal; Copernicus Sentinel-2, diolah penulis)

2.2 Geologi Penelitian

Kecamatan Bandar Negeri Suoh terletak pada wilayah yang dipengaruhi oleh dinamika tektonik Sumatra. Daerah ini berada tidak jauh dari jalur Sesar Semangko yang membentang dari bagian utara hingga selatan Pulau Sumatra. Aktivitas sesar tersebut berkaitan dengan proses tumbukan antara Lempeng Indo-Australia dan Eurasia, yang turut membentuk kondisi geologi di kawasan ini.

Berdasarkan peta geologi daerah penelitian yang ditampilkan pada Gambar 2, lokasi penelitian berada pada satuan Aluvium (Qa) dan Formasi Ranau (Qtr). Satuan Aluvium umumnya tersusun oleh endapan permukaan muda seperti pasir, lanau, dan kerikil. Sementara itu, Formasi Ranau dicirikan oleh kehadiran breksi batu apung, tuf mikaan, serta tuf batuapung sebagai produk vulkanik Kuartar yang telah mengalami pelapukan dan pengendapan ulang (Amin dkk., 1993).

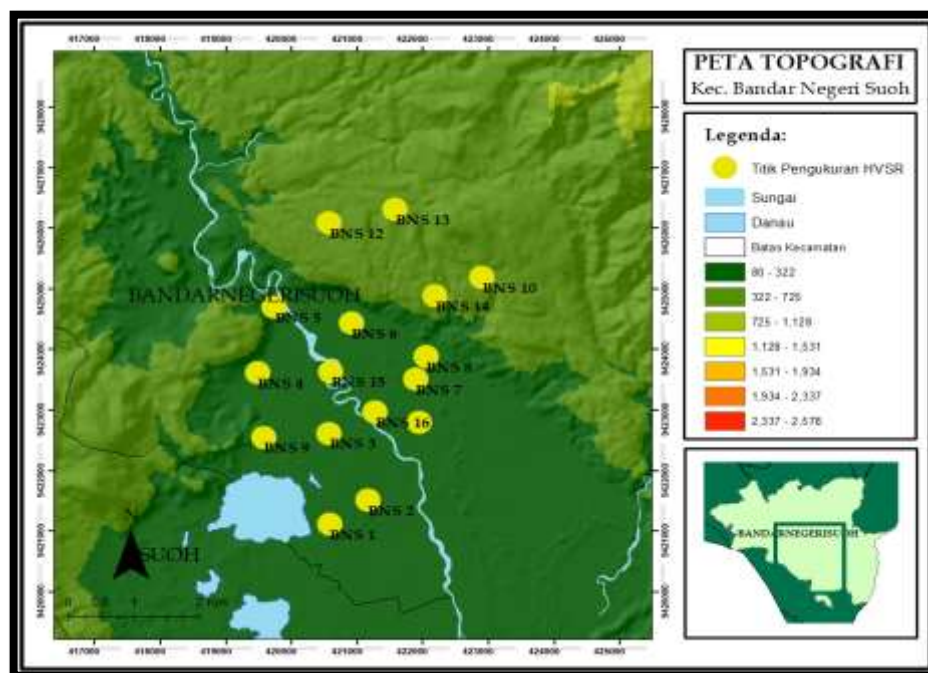


Gambar 2. Peta geologi penelitian Kecamatan Bandar Negeri Suoh (Sumber: Ina-Geoportal; diolah penulis berdasarkan Peta Geologi Regional Lembar Kotaagung oleh Amin dkk., 1993)

proses litifikasi. Endapan aluvium berkembang pada daerah dataran, lembah sungai, dan kawasan rawa, dengan ketebalan yang bervariasi. Sifat fisik endapan ini dicirikan oleh tingkat kepadatan yang relatif rendah dan porositas yang cukup tinggi, sehingga sangat dipengaruhi oleh kondisi air tanah dan respons terhadap beban dinamik.

Keberadaan Formasi Ranau dan endapan aluvium di wilayah penelitian menunjukkan bahwa karakteristik *subsurface* di Kecamatan Bandar Negeri Suoh didominasi oleh material Kuarter yang relatif muda dan belum terkonsolidasi sempurna. Kondisi tersebut berimplikasi terhadap perilaku dinamik tanah ketika menerima getaran seismik, sehingga kajian karakteristik *subsurface* menjadi penting sebagai dasar dalam memahami potensi bahaya gempa bumi dan upaya mitigasi bencana kebumihian di wilayah ini

2.3 Fisiografi dan Morfologi



Gambar 4. Peta topografi penelitian Kecamatan Bandar Negeri Suoh

(Sumber: Ina-Geoportal; diolah penulis)

Berdasarkan Gambar 4 yaitu Peta Topografi Kecamatan Bandar Negeri Suoh, kondisi morfologi wilayah memperlihatkan perbedaan ketinggian permukaan yang cukup jelas. Elevasi wilayah berada pada kisaran ± 80 meter hingga lebih dari 2.500 meter di atas permukaan laut, yang ditunjukkan oleh gradasi warna pada peta topografi. Perbedaan ketinggian tersebut menunjukkan adanya wilayah dengan relief rendah hingga relief tinggi dalam satuan wilayah kecamatan.

Secara fisiografi, perbedaan ketinggian tersebut membentuk topografi wilayah yang tidak seragam. Wilayah dengan elevasi lebih rendah umumnya berada pada bagian selatan kecamatan dan ditandai oleh keberadaan sungai serta danau, sedangkan wilayah dengan elevasi lebih tinggi tersebar pada bagian tengah hingga utara. Sebaran elevasi ini menunjukkan perbedaan karakter permukaan wilayah berdasarkan ketinggian tempat, sebagaimana tercantum dalam data Kecamatan Bandar Negeri Suoh dalam Angka 2024 (Nugraha dan Rezki, 2024).

2.4 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu yang berkaitan dengan analisis karakteristik subsurface menggunakan metode HVSR ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Penelitian terdahulu

No	Penulis dan Judul	Metode dan Kesimpulan
1	Siti Patimah (2017). Analisis Litologi Bawah Permukaan Berdasarkan <i>Ground Profile</i> Kecepatan Gelombang Geser dengan Metode <i>Ellipticity Curve</i> di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno, Kabupaten Klaten.	Pengukuran mikrotremor pada 30 titik menggunakan metode HVSR. Hasil penelitian menunjukkan wilayah Prambanan dan Gantiwarno didominasi oleh tanah lunak dengan ketebalan cukup besar sehingga berpotensi mengalami kerusakan yang relatif parah.

- 2 Nugroho Budi Wibowo dkk. (2018). Interpretasi Lapisan Sedimen Berdasarkan *Ground Profile Vs* dengan Pengukuran Mikrotremor di Kecamatan Pacitan. Pengukuran mikrotremor pada 25 titik menggunakan metode HVSR. Ketebalan sedimen berkisar antara 2,59–94,37 m, dengan sedimen tertebal berada pada Formasi Aluvium (Qa) di wilayah Kota Pacitan dan sekitarnya.
 - 3 Singgih Styo Purnomo (2019). Analisis Struktur Bawah Permukaan Kota Surakarta Bagian Timur Berdasarkan Nilai Kecepatan Gelombang Geser dengan Metode *Ellipticity Curve*. Data mikrotremor pasif pada 19 titik dianalisis menggunakan metode HVSR dan divalidasi dengan data bor. Nilai V_{s30} berkisar 321,502–443,953 m/s dan termasuk dalam klasifikasi *Site C–D* berdasarkan SNI 1726 dengan tingkat amplifikasi gelombang rendah hingga sedang.
 - 4 Wathoni, M. A., Minardi, S., & Marzuki (2023). Identifikasi Potensi Likuifaksi Menggunakan Metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR) di Kawasan Kuta, Lombok. Metode HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) menggunakan data mikrotremor, pengolahan dengan *software* Geopsy, analisis parameter f_0 , d , K_9 , V_{s30} . Potensi likuifaksi dipengaruhi oleh ketebalan lapisan sedimen, nilai indeks kerentanan seismik, kecepatan gelombang geser (V_{s30}), dan kedalaman muka air tanah. Semakin padat sedimen, semakin tinggi indeks kerentanan, dan semakin dangkal muka air tanah, maka potensi likuifaksi semakin besar. Zona site class IV (kelas E/tanah lunak) memiliki kerentanan tertinggi terhadap likuifaksi.
-

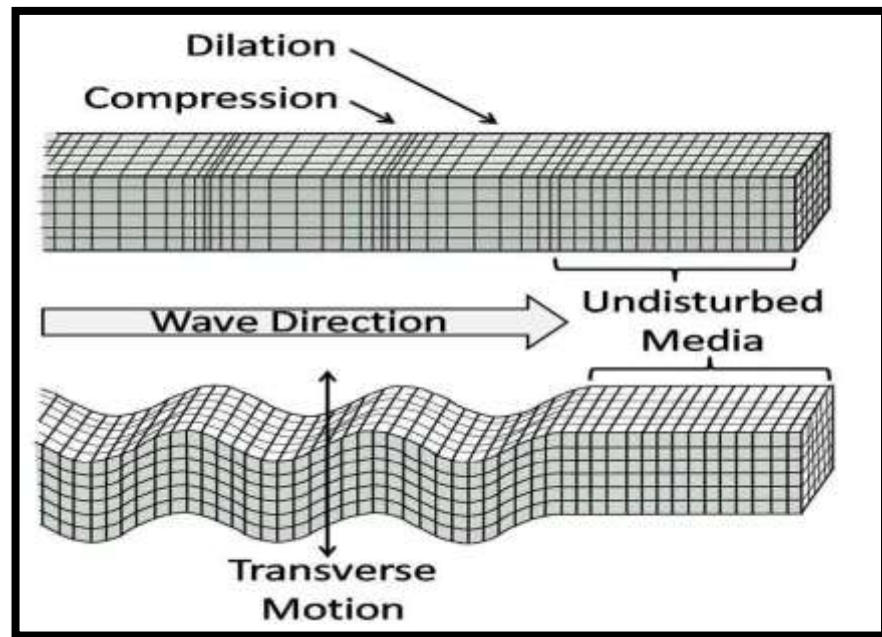
BAB III TEORI DASAR

3.1 Gelombang Seismik

Gelombang seismik dapat dipahami sebagai gelombang elastik yang merambat di dalam bumi. Karena bumi tersusun dari beberapa lapisan yang masing-masing memiliki karakteristik fisik berbeda, perbedaan sifat ini menyebabkan gelombang seismik mengalami perubahan saat melewati batas antar-lapisan. Sebagian energi gelombang akan dipantulkan kembali ke atas, sementara sisanya tetap diteruskan ke lapisan yang berada di bawahnya, sehingga pola perambatan gelombang mencerminkan struktur internal bumi. Setiap sumber energi mampu menghasilkan beragam jenis gelombang, yang masing-masing memiliki cara perambatan yang berbeda. Dalam studi seismologi, gelombang seismik biasanya dibagi menjadi dua kategori utama, yakni gelombang badan dan gelombang permukaan (Hudha dkk., 2014).

3.1.1 Gelombang Badan

Gelombang badan adalah gelombang yang merambat melalui bagian dalam bumi. Gelombang jenis ini selanjutnya dapat dikategorikan menjadi dua tipe, yaitu gelombang Primer (P) dan gelombang Sekunder (S). Gelombang primer (P) memiliki kecepatan perambatan yang lebih tinggi, sehingga gelombang ini akan tiba lebih dahulu pada penerima dibanding gelombang lainnya. Sebaliknya, gelombang sekunder (S) bergerak lebih lambat dan baru sampai setelah gelombang P. Perbedaan ini terjadi karena sifat elastik dan arah gerak partikel dalam medium berbeda di dalam bumi (Zuhdi dkk., 2021).



Gambar 5. Deformasi gelombang P dan S (Zuhdi dkk., 2021)

Gelombang Primer (P) adalah jenis gelombang yang dapat merambat melalui semua jenis medium, baik padat, cair, maupun gas. Partikel-partikel dalam medium bergerak sejajar dengan arah gelombang, sehingga gelombang ini mendorong dan menarik material di sekitarnya, mirip dengan cara gelombang suara menggerakkan udara. Karena terbentuk akibat tekanan dan memiliki kecepatan perambatan tertinggi di antara gelombang lainnya, gelombang P selalu tiba lebih dahulu dari gelombang Sekunder (S). Kecepatan gelombang P bervariasi tergantung mediumnya, sekitar $\pm 5\text{--}7$ km/s di kerak bumi, lebih dari 8 km/s di mantel dan inti bumi, $\pm 1,5$ km/s di air, dan $\pm 0,3$ km/s di udara (Kiswiranti, 2019). Besaran kecepatan ini dapat dinyatakan melalui persamaan berikut:

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

Keterangan:

v_p : kecepatan gelombang P (m/s)

λ : konstanta Lamé pertama (Pa)

- μ : konstanta Lamé kedua / modulus geser (Pa)
 B : modulus bulk (Pa)
 ρ : densitas medium (kg/m³)

Dalam persamaan gelombang P, λ dan μ menunjukkan konstanta Lamé, sedangkan ρ merepresentasikan densitas medium. Di mantel maupun kerak bumi, *rasio Poisson* (σ) biasanya berada di sekitar 0,25. Nilai ini berkaitan dengan modulus Bulk (B) yang sebesar 1,67, sehingga secara umum perbandingan antara kecepatan gelombang P dan gelombang S pada batuan mendekati $\sqrt{3}$. Hubungan ini menggambarkan bagaimana sifat elastik dan densitas batuan memengaruhi perambatan gelombang seismik di dalam bumi (Kiswiranti, 2019).

Gelombang Sekunder (S) merupakan jenis gelombang seismik yang kecepatannya lebih rendah dibanding gelombang Primer (P), sehingga tiba kemudian pada penerima. Gelombang ini hanya dapat merambat melalui medium padat dan menyebabkan partikel-partikel medium bergerak tegak lurus terhadap arah perambatan gelombang, memberikan karakteristik unik bagi gelombang S di dalam bumi. Karena sifat pergerakannya ini, gelombang Sekunder juga dikenal sebagai gelombang geser (*shear*). Saat merambat di bawah permukaan bumi, gelombang geser menimbulkan regangan geser pada material yang dilaluinya, dan kecepatannya berkisar antara 3–4 km/detik di medium padat (Rasimeng dkk., 2017). Gelombang S dapat dirumuskan sebagai berikut:

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

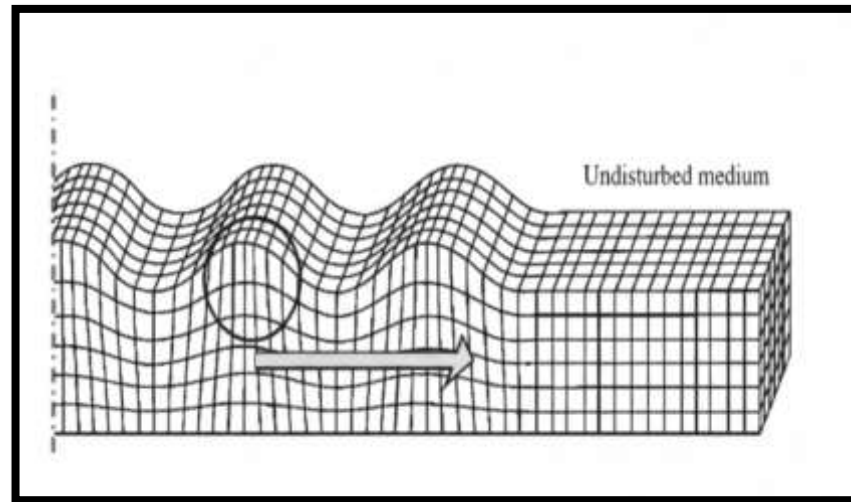
Keterangan:

- V_S : kecepatan gelombang S (gelombang geser) (m/s)
 μ : modulus geser (Pa)
 ρ : densitas medium (kg/m³)

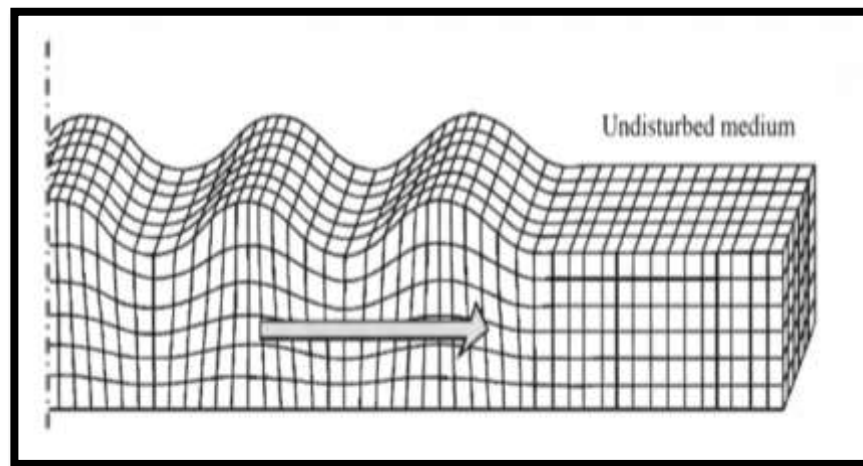
3.1.2 Gelombang Permukaan

Gelombang permukaan adalah salah satu jenis gelombang seismik yang muncul di dekat batas permukaan bumi, berbeda dengan gelombang badan yang merambat melalui interior bumi. Gelombang ini memiliki karakteristik kompleks, ditandai dengan frekuensi yang relatif rendah namun amplitudo yang besar. Terbentuknya gelombang permukaan disebabkan oleh efek permukaan bebas (*free surface*), di mana perbedaan sifat elastik antar lapisan medium membuat partikel-partikel bergerak dengan pola khusus. Gelombang permukaan sendiri terbagi menjadi beberapa tipe, masing-masing dengan sifat uniknya yaitu, gelombang Rayleigh (R) yang menyebabkan partikel bergerak secara elips di bidang vertical dan gelombang Love (L) yang menimbulkan gerakan horizontal tegak lurus arah perambatan, (Kiswiranti, 2019).

Gelombang Rayleigh adalah gelombang permukaan di mana partikel-partikel medium bergerak akibat gabungan pengaruh gelombang Primer (P) dan gelombang Sekunder (S), sehingga menghasilkan gerakan partikel yang elips dan retrograd. Sebaliknya, gelombang Love merupakan gelombang permukaan yang merambat secara transversal, dengan pergerakan partikel yang sejajar dengan permukaan bumi. Perbedaan ini membuat gelombang Rayleigh cenderung menimbulkan gerakan vertikal dan horizontal pada partikel, sementara gelombang Love hanya menimbulkan gerakan horizontal tegak lurus arah perambatan, sehingga keduanya memiliki karakteristik perambatan dan amplitudo yang berbeda di permukaan bumi (Putra & Saputra, 2022).



Gambar 6. Ilustrasi gerak gelombang Rayleigh (Putra & Saputra, 2022)



Gambar 7. Ilustrasi gerak gelombang Love (Putra & Saputra, 2022)

Secara umum, gelombang permukaan bersifat dispersif, artinya kecepatan perambatannya bergantung pada frekuensi. Gelombang dengan frekuensi tinggi bergerak lebih lambat dan penetrasinya ke dalam medium lebih dangkal, sedangkan gelombang berfrekuensi rendah memiliki kecepatan lebih tinggi dan mampu menembus kedalaman yang lebih besar. Sifat dispersif ini membedakan gelombang permukaan dari gelombang badan dan memengaruhi pola perambatannya di bumi (Kiswiranti, 2019).

3.2 Transformasi Fourier

Dalam analisis data data mikrotremor, Transformasi Fourier diterapkan untuk merepresentasikan sinyal getaran alami tanah yang semula berada dalam domain waktu ke dalam domain frekuensi. Transformasi ini memungkinkan karakteristik dinamis bawah permukaan, seperti perilaku respons tanah terhadap getaran, dapat dianalisis secara lebih sistematis. Analisis pada domain frekuensi dipilih karena parameter utama mikrotremor, antara lain frekuensi dominan dan amplifikasi, lebih mudah dikenali dan diinterpretasikan dibandingkan apabila dianalisis dalam domain waktu (Yuliawatid dkk., 2019). Oleh karena fenomena geofisika, khususnya getaran mikrotremor, memiliki keterkaitan yang kuat dengan karakteristik frekuensi, maka pendekatan analisis berbasis frekuensi menjadi langkah yang esensial dalam kajian kondisi bawah permukaan. Dalam praktik pengolahan data, Transformasi Fourier dihitung secara numerik menggunakan algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT). Secara matematis, Transformasi Fourier dari suatu fungsi $f(t)$ dinyatakan sebagai berikut:

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-i\omega t} dt \quad (3)$$

Keterangan:

$F(\omega)$: fungsi sinyal dalam domain frekuensi

$f(t)$: fungsi sinyal dalam domain waktu

ω : frekuensi sudut (rad/s)

t : variabel waktu

i : bilangan imajiner, dengan $i = \sqrt{-1}$

e : bilangan eksponensial natural

$\int_{-\infty}^{\infty}$: integral dari waktu (-) tak hingga hingga (+) tak hingga

3.3 Mikrotremor

Mikrotremor adalah getaran tanah yang sangat kecil dan terus-menerus, layaknya denyut halus yang bergerak di permukaan bumi, yang timbul dari

berbagai aktivitas seperti lalu lintas, angin, dan aktivitas manusia sehari-hari. Meskipun amplitudonya rendah, mikrotremor menyimpan informasi penting mengenai karakteristik lapisan tanah, yang dapat dianalisis melalui periode dominan dan tingkat penguatan gelombangnya (amplifikasi). Frekuensinya lebih tinggi dibanding frekuensi gempa bumi, sehingga mampu memberikan detail lebih tajam mengenai respons lokal tanah. Perekamannya dapat dilakukan menggunakan metode array, seperti f-k, SPAC, Refraction Mikrotremor, maupun metode HVSR/Nakamura, yang masing-masing membantu memetakan pola perambatan gelombang, amplifikasi, dan karakteristik resonansi lapisan tanah, sehingga memberikan gambaran menyeluruh mengenai struktur dan sifat elastik tanah (Arinalofa dkk., 2020).

Survei mikrotremor dapat dilakukan dengan dua pendekatan yang berbeda. Pendekatan pertama melibatkan perekaman secara bersamaan di beberapa lokasi, di mana salah satu titik ditempatkan pada daerah batuan keras (*hard rock*) yang tidak menunjukkan penguatan frekuensi akibat gerakan tanah, sehingga lokasi lain bisa dibandingkan untuk menentukan respons *site* terhadap mikrotremor. Meskipun efektif, metode ini sering kali sulit diterapkan karena sulit menemukan daerah dengan batuan keras sebagai pembanding. Pendekatan kedua, yang diperkenalkan oleh Nakamura (1989), menggunakan metode analisis rasio spektrum horizontal terhadap vertikal (H/V), yang secara alami menunjukkan puncak pada frekuensi resonansi. Dengan cara ini, amplifikasi gerakan tanah dapat diperkirakan tanpa harus mencari lokasi *hard rock*, membuat pengukuran lebih praktis dan fleksibel, sekaligus memungkinkan pemetaan karakteristik lapisan tanah secara lebih mudah di berbagai kondisi lingkungan (Syahrudin dkk., 2014).

3.4 Metode HVSR dan *Ellipticity Curve*

Metode HVSR pada mikrotremor bekerja dengan membandingkan respons getaran komponen horizontal dan vertikal melalui analisis spektrum Fourier.

Sinyal mikrotremor didominasi oleh gelombang Rayleigh, sehingga periode utama dari rasio H/V umumnya berkaitan dengan periode gelombang S. Prinsip kerja metode ini didasarkan pada fenomena terperangkapnya energi gelombang pada lapisan sedimen yang berada di atas batuan dasar. Hasil pemrosesan data HVSR biasanya menampilkan puncak spektrum yang menunjukkan frekuensi dominan (f_0) beserta nilai amplifikasi (A_0), yang menjadi indikator penting untuk menilai karakteristik dinamis tanah pada suatu wilayah (Arisona dkk., 2023).

Berdasarkan prinsip tersebut, metode HVSR kemudian berkembang sebagai teknik yang efektif dalam analisis kondisi lapisan tanah permukaan karena mampu mengidentifikasi frekuensi resonansi alami tanah secara non-invasif melalui pengukuran mikrotremor, sehingga tidak memerlukan pengeboran dan lebih efisien dari segi biaya. Sensitivitasnya dalam mendeteksi perlapisan bawah permukaan juga memungkinkan evaluasi yang lebih akurat terhadap pengaruh kondisi setempat terhadap amplifikasi gelombang seismik (*site effect*). Dalam konteks ini, karakteristik tanah mencakup variasi respons dinamis seperti amplitudo getaran, durasi, dan distribusi frekuensi, yang menjadi landasan untuk memahami perilaku mekanik tanah serta potensi kerentanan seismik pada area kajian (Sungkowo, 2016).

Sejalan dengan penerapannya, metode HVSR memerlukan beberapa asumsi dasar agar interpretasinya tetap valid. Mikrotremor diasumsikan didominasi oleh gelombang geser, sehingga respons getaran yang mengalami amplifikasi terutama berasal dari komponen horizontal pada lapisan tanah lunak, sementara komponen vertikal dianggap tidak mengalami penguatan yang signifikan. Selain itu, gelombang yang mencapai permukaan tanah diasumsikan menyebar secara acak dari berbagai arah pada lapisan batuan dasar. Dengan asumsi tersebut, respons getaran yang terekam di permukaan tanah terutama mencerminkan pengaruh kondisi lapisan bawah permukaan setempat. Dalam penerapannya, metode HVSR memanfaatkan dua komponen horizontal, yaitu arah utara–selatan dan barat–timur, serta satu

komponen vertikal. Kedua komponen horizontal tersebut kemudian digabungkan untuk memperoleh representasi amplitudo horizontal total, yang dihitung menggunakan pendekatan akar jumlah kuadrat berdasarkan prinsip *pythagoras* dalam domain frekuensi.

Berdasarkan representasi amplitudo tersebut, analisis amplifikasi getaran tanah dilakukan melalui perbandingan respons spektrum antara permukaan tanah dan lapisan batuan dasar. Faktor amplifikasi komponen horizontal didefinisikan sebagai rasio antara spektrum amplitudo gerak horizontal di permukaan terhadap spektrum amplitudo gerak horizontal pada lapisan dasar, yang dirumuskan sebagai berikut:

$$T_H = \frac{S_{HS}}{S_{HB}} \quad (4)$$

Keterangan:

T_{HT} : nilai amplifikasi horizontal

S_{HS} : spektrum amplitudo gelombang seismik komponen horizontal pada lapisan permukaan

S_{HB} : spektrum amplitudo gelombang seismik komponen horizontal pada batuan dasar (*bedrock*)

Selanjutnya, faktor amplifikasi komponen vertikal didefinisikan dengan konsep yang sama, yaitu rasio antara spektrum amplitudo gerak vertikal di permukaan tanah dan di lapisan dasar, yang dinyatakan sebagai:

$$T_V = \frac{S_{VS}}{S_{VB}} \quad (5)$$

Keterangan:

T_V : nilai amplifikasi vertikal

S_{VS} : spektrum amplitudo gelombang seismik komponen vertikal pada lapisan permukaan

S_{VB} : spektrum amplitudo gelombang seismik komponen vertikal pada batuan dasa

Rekaman mikrotremor umumnya didominasi oleh gelombang Rayleigh yang memiliki komponen gerak horizontal dan vertikal dengan karakteristik spektrum yang hampir serupa pada batuan dasar. Oleh karena itu, perbandingan spektrum horizontal dan vertikal pada lapisan dasar diasumsikan mendekati satu:

$$\frac{S_{HB}}{S_{VB}} \approx 1 \quad (6)$$

Dengan asumsi tersebut, pengaruh lapisan dasar dapat diabaikan sehingga respons spektrum yang diamati terutama merepresentasikan kondisi bawah permukaan setempat. Rasio antara faktor amplifikasi horizontal dan vertikal kemudian dinyatakan sebagai parameter efek tapak (T_{SITE}):

$$T_{SITE} = \frac{T_H}{T_V} \quad (7)$$

Keterangan:

T_{SITE} : nilai amplifikasi *site*

T_H : nilai amplifikasi komponen horizontal

T_V : nilai amplifikasi komponen vertikal

Dengan mensubstitusikan Persamaan (4) dan (5) ke dalam Persamaan (7), serta menggunakan asumsi pada Persamaan (6), diperoleh hubungan sederhana sebagai berikut:

$$T_{SITE} = \frac{S_{HS}}{S_{VS}} \quad (8)$$

Keterangan:

T_{SITE} : nilai amplifikasi *site*

S_{HS} : spektrum amplitudo gelombang seismik komponen horizontal pada lapisan permukaan

S_{VS} : spektrum amplitudo gelombang seismik komponen vertikal pada lapisan permukaan

Parameter T_{SITE} dikenal sebagai *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr), yang secara operasional dihitung dari kombinasi dua komponen horizontal terhadap komponen vertikal, dan dirumuskan sebagai:

$$HVSr = \frac{\sqrt{S_{Utara-Selatan}^2 + S_{Barat-Timur}^2}}{S_{Vertikal}} \quad (9)$$

Keterangan:

T_{SITE} : *horizontal to Vertical Spectral Ratio*

$S_{Utara-Selatan}$: amplitudo spektrum frekuensi komponen Utara–Selatan

$S_{Barat-Timur}$: amplitudo spektrum frekuensi komponen Barat–Timur

$S_{Vertikal}$: amplitudo spektrum frekuensi komponen vertikal

Agar kurva H/V yang dihasilkan memiliki tingkat keandalan yang memadai, proses interpretasi umumnya mengacu pada pedoman kriteria SESAME (2004). Pedoman ini menekankan pentingnya stabilitas frekuensi dominan, konsistensi amplitudo, serta kecukupan jumlah jendela analisis untuk memastikan bahwa puncak resonansi yang teridentifikasi benar-benar mencerminkan kondisi bawah permukaan. Frekuensi dominan dinyatakan reliabel apabila panjang jendela analisis mencukupi, jumlah siklus gelombang memenuhi syarat minimum, dan simpangan baku amplitudo di sekitar f_0 berada dalam batas toleransi. Rangkaian kriteria tersebut dirumuskan untuk menjamin bahwa kurva H/V dapat digunakan secara akurat dalam menilai respons dinamis tanah, sebagaimana dirangkum pada Tabel 2.

Tabel 2. Kriteria SESAME (2004)

No	Kriteria SESAME (2004)	Penjelasan Singkat
1	$f_0 > 10 / lw$	Frekuensi dominan (f_0) harus lebih besar dari 10 (lw) agar resolusi frekuensi cukup baik dan hasil tidak blur.

- | | | |
|---|--|---|
| 2 | $nc(f_0) > 200$ | Jumlah siklus pada frekuensi dominan harus lebih dari 200 supaya kurva H/V stabil dan tidak berfluktuasi. |
| 3 | $\sigma_a(f) < 2$ pada rentang $0.5f_0 < f < 2f_0$ (jika $f_0 > 0.5$ Hz) | Simpangan baku amplitudo harus kurang dari 2 di sekitar frekuensi dominan untuk memastikan kurva H/V konsisten dan tidak terlalu <i>noisy</i> . |
-

Meskipun penerapan kriteria SESAME mampu menjamin keandalan kurva H/V yang dihasilkan dari metode HVSR, metode ini masih memiliki keterbatasan dalam mengestimasi parameter elastis bawah permukaan secara terperinci. Oleh sebab itu, analisis dilanjutkan dengan metode *Ellipticity Curve* sebagai pendekatan pelengkap.

Metode *Ellipticity Curve* digunakan untuk menganalisis penjalaran gelombang Rayleigh, di mana gerakan partikel akibat gelombang tersebut membentuk pola elips pada bidang vertikal. Karakteristik gerakan elips ini dinyatakan sebagai perbandingan amplitudo komponen vertikal dan horizontal (*ellipticity*) yang bergantung pada frekuensi. Melalui analisis kurva *ellipticity*, informasi mengenai struktur dan sifat elastis bawah permukaan dapat diinterpretasikan secara lebih detail.

Metode ini memanfaatkan proses inversi gelombang Rayleigh untuk mengekstraksi parameter fisis bawah permukaan yang tidak dapat diperoleh secara langsung melalui metode HVSR. Parameter input yang digunakan sebagai inisialisasi model awal meliputi kecepatan gelombang geser (V_s), kecepatan gelombang primer (V_p), massa jenis batuan (ρ), serta poisson ratio (σ), yang merepresentasikan karakteristik elastis tanah atau batuan di wilayah penelitian. Proses inversi dilakukan secara iteratif dengan menyesuaikan kurva *ellipticity* hasil pemodelan terhadap data observasi. Tingkat kesesuaian model dievaluasi berdasarkan nilai kesalahan (*misfit*), semakin kecil nilai *misfit* yang diperoleh, maka semakin

baik representasi struktur bawah permukaan yang dihasilkan (Patimah, 2017).

3.5 Frekuensi Dominan

Frekuensi dominan merepresentasikan nilai frekuensi yang paling menonjol dalam suatu sinyal, sehingga dianggap sebagai karakteristik utama dari lapisan batuan pada lokasi pengamatan. Nilai f_0 menunjukkan seberapa cepat tanah merespons getaran, tanah lunak umumnya memiliki f_0 rendah, sedangkan tanah keras memiliki f_0 lebih tinggi. Parameter ini berperan penting dalam mengidentifikasi variasi jenis serta sifat fisik batuan di bawah permukaan (Arifin dkk., 2014).

Karakteristik frekuensi natural di suatu kawasan pada hakikatnya dikontrol oleh kondisi geologi lokal. Faktor yang paling berpengaruh meliputi ketebalan endapan sedimen dan kecepatan rambat gelombang S yang menuju maupun melewati batas-batas litologi kontras. Ketebalan lapisan sedimen menentukan kecenderungan resonansi alami suatu lokasi, sementara nilai kecepatan gelombang S mencerminkan tingkat kekerasan, densitas, serta tingkat konsolidasi material. Kombinasi kedua parameter tersebut menghasilkan pola frekuensi natural yang bervariasi secara spasial, sehingga dapat digunakan untuk mengidentifikasi zona yang berpotensi mengalami amplifikasi gelombang seismik atau yang memiliki kerentanan geoteknik tertentu. Besaran frekuensi dominan selanjutnya ditentukan melalui rumus sebagai berikut:

$$f_0 = \frac{v_s}{4H} \quad (10)$$

Keterangan:

- f_0 : frekuensi dominan tanah (Hz)
- V_s : kecepatan gelombang geser pada lapisan sedimen (m/s)
- H : ketebalan lapisan sedimen di atas batuan dasar (m)

Ketiga parameter tersebut saling berkaitan dalam menggambarkan sifat dinamis tanah, sebab perubahan kecil pada nilai kecepatan gelombang

maupun ketebalan lapisan dapat secara langsung menggeser posisi puncak frekuensi resonansi. Dengan demikian, persamaan tersebut tidak hanya memberikan estimasi kuantitatif mengenai karakteristik bawah permukaan, tetapi juga berfungsi sebagai dasar untuk menilai potensi amplifikasi seismik pada suatu wilayah. Pemahaman terhadap hubungan antara frekuensi dominan dan kondisi geologi lokal menjadi penting dalam penentuan klasifikasi tanah, khususnya ketika data geoteknik langsung terbatas atau tidak tersedia.

Berdasarkan nilai frekuensi dominan tersebut, klasifikasi tanah menurut Kanai dan Omete-Nakajima (1983) dalam Arifin dkk. (2014) ditampilkan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Klasifikasi tanah (Arifin dkk., 2014)

Klasifikasi Tanah		Frekuensi Natural (Hz)	Klasifikasi Tanah	Deskripsi
Tipe	Jenis			
IV	I	6,667 – 20	Batuan tersier atau lebih tua. Terdiri dari <i>hard sandy, gravel</i> , dll.	Ketebalan permukaan sedimen sangat tipis dan didominasi batuan keras.
III	II	4 – 10	Batuan alluvial dengan ketebalan ≤ 5 m. Terdiri dari <i>sandy-gravel, sand, hard clay, loam</i> , dll.	Ketebalan sedimen permukaan termasuk kategori menengah 5–10 meter.

II	III	2,5 – 4	Batuan alluvial dengan ketebalan > 5 m. Terdiri dari <i>sandy-gravel</i> , <i>sandy hard clay</i> , <i>loam</i> , dll.	Ketebalan sedimen permukaan masuk kategori tebal, sekitar 10–30 meter.
I	IV	< 2,5	Batuan alluvial yang terbentuk dari sedimen delta, <i>top soil</i> , lumpur, dan lain-lain dengan kedalaman 30 meter atau lebih.	Ketebalan sedimen permukaannya sangat tebal.

3.6 Ketebalan Sedimen

Informasi mengenai ketebalan lapisan sedimen dapat diperoleh melalui pemanfaatan sinyal getaran alami tanah atau mikrotremor. Sinyal ini dianalisis menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR) dengan pendekatan perbandingan spektrum antara komponen horizontal dan vertikal. Analisis tersebut menghasilkan kurva H/V yang menunjukkan respons dinamis tanah terhadap getaran, di mana nilai maksimum kurva merepresentasikan amplifikasi, sedangkan frekuensi pada posisi puncak mencerminkan frekuensi dominan. Parameter frekuensi dominan yang diperoleh dari hasil analisis HVSR selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam penentuan ketebalan lapisan sedimen permukaan (Arisona dkk., 2025). Frekuensi dominan tersebut berkaitan dengan kondisi resonansi lapisan sedimen ketika terjadi penguatan gelombang maksimum. Dengan mengacu pada prinsip pipa organa tertutup, hubungan antara frekuensi dominan dan ketebalan lapisan sedimen dapat dirumuskan secara

matematis, sebagaimana dinyatakan pada persamaan 11 berikut (Prastowo dkk., 2016).

$$H = \frac{V_s}{4f_0} \quad (11)$$

Keterangan:

H : ketebalan lapisan sedimen (m)

V_s : kecepatan gelombang geser pada lapisan sedimen (m/s)

f_0 : frekuensi dominan hasil analisis HVSR (Hz)

3.7 Kecepatan Gelombang Geser

Parameter dinamika tanah yang menjadi dasar dalam evaluasi respons seismik suatu lokasi salah satunya adalah nilai kecepatan gelombang geser (V_s). Besaran ini dapat diperoleh melalui berbagai metode, mulai dari pengujian geofisika secara langsung di lapangan (Mina, 2012). Setelah diperoleh model kecepatan gelombang geser (V_s), tahap selanjutnya adalah menghitung nilai V_{S30} . Parameter ini memiliki peranan penting karena digunakan sebagai indikator dalam mengevaluasi kondisi dan kestabilan tanah. Selain itu, nilai V_{S30} menjadi dasar dalam penentuan *site class*, yaitu pengelompokan kondisi tanah berdasarkan karakteristik kecepatan gelombang gesernya (Wintoro dkk., 2025). Klasifikasi *site class* berdasarkan nilai V_{S30} mengacu pada ketentuan SNI 1726:2012, sebagaimana disajikan pada tabel berikut.

Tabel 4. Klasifikasi *site* V_{S30} SNI 1726(2012)

Kelas	Nilai V_{S30} (m/s)	Deskripsi
SA	≥ 1500	Tanah sangat keras, tidak rentan terhadap likuifaksi
SB	$750 \leq V_{S30} \leq 1500$	Tanah keras–sedang, berpotensi mengalami likuifaksi

SC	$350 \leq V_{S30} < 750$	Tanah lunak, sangat rentan terhadap likuifaksi
SD	$175 \leq V_{S30} < 350$	Tanah lunak, sangat rentan terhadap likuifaksi dan amblesan tanah
SE	≤ 175	Tanah sangat lunak, sangat rentan terhadap likuifaksi, longsor, dan kerusakan bangunan

3.8 Faktor Amplifikasi

Karakteristik amplifikasi gelombang seismik sangat dipengaruhi oleh kondisi fisis medium bawah permukaan, terutama kecepatan rambat gelombangnya. Ketika gelombang melewati material dengan kecepatan rendah, respons penguatan yang terjadi akan semakin besar karena material tersebut umumnya memiliki tingkat kerapatan yang lebih rendah. Sedimen yang bersifat lunak memperlambat perambatan gelombang sehingga durasi dan intensitas getaran yang sampai di permukaan meningkat, menghasilkan guncangan yang lebih kuat pada bangunan. Sebaliknya, medium yang lebih padat dan kaku cenderung meredam energi gelombang sehingga amplifikasinya lebih kecil (Sitorus dkk., 2017). Kondisi ini menunjukkan bahwa variasi sifat fisik batuan dan sedimen memiliki peran langsung terhadap bagaimana energi seismik diperkuat saat mencapai permukaan.

Faktor amplifikasi di permukaan tanah sendiri ditentukan oleh karakter gerakan seismik yang muncul pada bagian atas lapisan sedimen yang berhubungan langsung dengan batuan dasar. Interaksi antara kedua medium tersebut memengaruhi besarnya penguatan yang terjadi pada komponen gerakan horizontal (TH) ketika energi gelombang mencapai permukaan (Handayani dkk., 2023).

Perhitungan nilai faktor amplifikasi tanah dilakukan dengan menggunakan persamaan yang dikembangkan oleh Fujimoto dan Midorikawa, sebagaimana dikutip dalam Bustari dan Wibowo (2023), yang dinyatakan sebagai berikut:

$$\log(\text{ampv}) = 2.376 - 0.82 \log(Vs_{30}) \quad (12)$$

Keterangan:

Ampv : faktor amplifikasi tanah

Vs30 : kecepatan gelombang geser rata-rata hingga kedalaman 30 meter (m/s)

Interaksi antara lapisan sedimen dan batuan dasar berperan penting dalam mengontrol tingkat penguatan getaran tanah yang terjadi di suatu wilayah. Perbedaan sifat sedimen, seperti ketebalan, kekakuan, dan densitas, menyebabkan variasi respons amplifikasi pada setiap lokasi pengamatan. Untuk memudahkan interpretasi, nilai amplifikasi yang diperoleh selanjutnya dikelompokkan ke dalam beberapa tingkat penguatan gelombang seismik di permukaan tanah. Klasifikasi tingkat amplifikasi tersebut disajikan pada Tabel 5. Faktor amplifikasi (Sitorus dkk., 2014)

Tabel 5. Faktor amplifikasi (Sitorus dkk., 2014)

Zona	Klasifikasi	Nilai Faktor Amplifikasi
1	Rendah	$A_0 < 3$
2	Sedang	$3 \leq A_0 < 6$
3	Tinggi	$6 \leq A_0 < 9$
4	Sangat Tinggi	$A_0 \geq 9$

3.9 Indeks Kerentanan Seismik

Tanah dengan tingkat kerentanan seismik yang tinggi cenderung mengalami tingkat kerusakan yang lebih besar dibandingkan dengan tanah yang memiliki kerentanan rendah. Tingkat kerentanan ini berkaitan erat dengan nilai frekuensi dominan serta faktor amplifikasi (Handayani dkk.,

2023). Hubungan antara parameter tersebut dapat dinyatakan melalui persamaan kerentanan seismik sebagai berikut:

$$K_g = \frac{A_{mpv}^2}{f_0} \quad (13)$$

Keterangan:

K_g : indeks kerentanan seismik

A_{mpv} : faktor amplifikasi

f_0 : frekuensi dominan tanah (Hz)

Berdasarkan nilai indeks kerentanan seismik (K_g) yang diperoleh dari perhitungan sebelumnya, selanjutnya dilakukan pengelompokan tingkat kerentanan seismik tanah. Klasifikasi ini bertujuan untuk membedakan tingkat respons tanah terhadap guncangan seismik, yang dibagi ke dalam beberapa kelas kerentanan sebagaimana disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Klasifikasi indeks kerentanan seismik (Refrizon dkk., 2013)

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

3.10 Poisson Ratio

Poisson ratio merupakan parameter elastisitas yang menggambarkan hubungan antara regangan lateral dan regangan aksial akibat suatu gaya deformasi. Secara matematis, parameter ini juga dapat dinyatakan sebagai perbandingan antara kecepatan rambat gelombang kompresi dan kecepatan rambat gelombang geser dalam suatu medium (Rafflesia dkk., 2017). Persamaan poisson ratio dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{(V_p/V_s)^2 - 2}{2[(V_p/V_s)^2 - 1]} \quad (14)$$

Keterangan:

σ : poisson ratio

V_p : kecepatan gelombang primer (P-wave) (m/s)

V_s : kecepatan gelombang sekunder (S-wave) (m/s)

Nilai Poisson ratio dapat diperkirakan berdasarkan jenis tanah penyusunnya. Perkiraan nilai tersebut mengacu pada Bowles (1997) dan digunakan sebagai acuan dalam menentukan karakteristik elastisitas tanah. Nilai perkiraan Poisson ratio untuk berbagai jenis tanah disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Klasifikasi poisson ratio (Bowles, 1997)

No	Jenis Tanah	Poisson Ratio
1	Lempung jenuh	0,40 – 0,50
2	Lempung tak jenuh	0,10 – 0,30
3	Lempung berpasir	0,20 – 0,30
4	Lanau	0,30 – 0,35
5	Pasir padat	0,20 – 0,40
6	Pasir kasar	0,15

BAB IV METODOLOGI

4.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Adapun penelitian Tugas Akhir ini dilakukan di:

Tempat : Laboratorium Instrumentasi Geofisika, Jurusan Teknik
Geofisika, Universitas Lampung

Alamat : Gedung Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas
Lampung, Jl. Prof. Dr. Sumantri Brojonegoro No. 1, Bandar
Lampung, Lampung

Waktu : Oktober 2025 – Februari 2026

Rincian jadwal kegiatan yang dilaksanakan selama penelitian Tugas Akhir ini dapat dilihat pada Tabel 8.

4.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan selama pelaksanaan penelitian ini disajikan pada uraian berikut.

1. Peralatan Lapangan
 - a. Seismometer tipe SRI digunakan untuk merekam getaran tanah sebagai data utama pada pengukuran mikrotremor.
 - b. Perekam data Amadu berfungsi untuk menyimpan sinyal getaran yang terekam oleh sensor.
 - c. Aki (*accumulator/battery pack*) sebagai sumber daya utama bagi perangkat akuisisi di lapangan.
 - d. GPS (*Global Positioning System*) digunakan untuk menentukan posisi geografis titik pengukuran dengan tingkat akurasi tinggi.
 - e. Payung lapangan berfungsi untuk melindungi perangkat dari hujan dan paparan sinar matahari langsung.
 - f. Papan jalan digunakan sebagai tanda identitas titik pengukuran.
 - g. Alat tulis digunakan untuk mencatat kondisi lokasi, waktu pengukuran, dan informasi tambahan lainnya.
 - h. Laptop berfungsi sebagai pengecekan awal kualitas data dan pengolahan lanjutan.

2. Perangkat Lunak (*Software*)
 - a. Geopsy digunakan untuk analisis mikrotremor dan perhitungan HVSR.
 - b. Dinver digunakan untuk melakukan inversi parameter kecepatan gelombang S (Vs).
 - c. RockWorks 2015 digunakan dalam membantu visualisasi dan pemodelan geologi bawah permukaan.
 - d. ArcGIS 10.8 berfungsi untuk pemetaan dan analisis geospasial.
 - e. Surfer digunakan khusus untuk pembuatan peta hasil pengolahan data.
 - f. Visual Studio Code untuk menjalankan dan mengedit *script* pemrosesan data.
 - g. Microsoft Excel digunakan untuk mengolah serta menyajikan data dalam bentuk tabel dan grafik.

- h. Microsoft Word berfungsi untuk menyusun laporan penelitian dan dokumen skripsi.
- i. Notepad digunakan sebagai editor teks ringan untuk mencatat maupun membuka *file* sederhana.

4.3 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian yang diterapkan dalam Tugas Akhir ini dapat dijelaskan melalui tahapan-tahapan berikut.

4.3.1 Data Mikrotremor

Data mikrotremor yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari hasil pengukuran sebelumnya. Data tersebut terdiri atas 16 titik pengukuran, dengan durasi perekaman sekitar 30 menit pada setiap titik. Informasi ini digunakan sebagai dasar dalam proses pengolahan dan analisis metode HVSR.

Sebagai acuan kualitas data, karakteristik perekaman mikrotremor pada data sekunder tersebut dievaluasi dengan mengacu pada standar teknis SESAME (2004). Ketentuan teknis yang direkomendasikan oleh SESAME (2004) terkait durasi perekaman dan kualitas sinyal disajikan pada Tabel 9 sebagai pedoman dalam menilai kelayakan data mikrotremor yang digunakan pada penelitian ini.

Tabel 9. Pedoman teknis survei mikrotremor (SESAME, 2004)

Parameter	Rekomendasi Teknis
Frekuensi dominan minimum yang diharapkan (f_0)	Durasi perekaman minimum: <ul style="list-style-type: none"> • 0,2 Hz → 30 menit • 0,5 Hz → 20 menit • 1 Hz → 10 menit • 2 Hz → 5 menit • 5–10 Hz → 1 menit

Posisi sensor pada tanah alami (tanpa alas)	Sensor ditempatkan langsung pada permukaan tanah yang stabil. Hindari tanah terlalu lunak dan pastikan sensor tertanam dengan baik untuk meminimalkan goyangan akibat angin atau aktivitas sekitar.
Penempatan sensor pada permukaan buatan (lantai/struktur)	Sensor diletakkan pada material keras dengan tingkat kekakuan tinggi dan pada lokasi yang minim getaran internal bangunan.
Keberadaan bangunan atau vegetasi	Hindari area dekat bangunan tinggi, struktur beton besar, atau pohon yang dapat berayun. Jika tidak terhindarkan, jaga jarak yang cukup dan catat kondisi lingkungan sebagai bahan pertimbangan analisis.
Kondisi cuaca	Pengukuran dilakukan pada cuaca stabil dengan kecepatan angin lemah (< 5 m/s). Hindari hujan karena dapat memengaruhi sinyal dan kondisi tanah.
Gangguan lingkungan	Minimalisir sumber getaran seperti lalu lintas, mesin, dan aktivitas manusia. Jika gangguan tidak dapat dihindari, lakukan perekaman lebih lama dan buang segmen data yang tercemar pada tahap analisis.

4.3.2 Pengolahan Data

1. Analisis Sinyal Menggunakan Geopsy

Analisis sinyal menggunakan Geopsy dilakukan untuk mengevaluasi kualitas rekaman *ambient noise* sebelum memasuki tahap pemrosesan HVSR. Tahap ini berfungsi memastikan bahwa sinyal yang digunakan benar-benar stabil, bebas gangguan, dan merepresentasikan getaran alami di lokasi pengukuran. Melalui tampilan *waveform* pada perangkat lunak, peneliti dapat mengidentifikasi bagian sinyal yang perlu dihindari, seperti segmen dengan gangguan impulsif atau perubahan amplitudo yang tidak wajar.

Pada data mikrotremor (HVSR) ini terdapat bentuk sinyal tiga komponen hasil perekaman yang digunakan sebagai dasar penilaian kualitas data. Visualisasi tersebut membantu dalam memilih segmen waktu yang paling stabil untuk proses *windowing*, sehingga hanya bagian sinyal yang memenuhi standar kualitas yang digunakan dalam tahap perhitungan HVSR. Setelah analisis dan pemilihan segmen dilakukan, Geopsy menghasilkan *output* dalam format *.hv*, yaitu *file* yang berisi rasio spektrum horizontal terhadap vertikal yang siap dianalisis lebih lanjut pada tahap inversi HVSR.

2. Uji Kualitas Kurva HVSR Berdasarkan Kriteria SESAME (2004)
Sebelum dilakukan proses inversi, kurva HVSR yang telah diperoleh dari Geopsy terlebih dahulu diuji kualitasnya berdasarkan kriteria SESAME (2004). Pengujian ini bertujuan memastikan bahwa kurva H/V yang digunakan benar-benar representatif terhadap kondisi dinamika tanah setempat dan layak dijadikan masukan pada tahap inversi. Pada penelitian ini, *file* hasil pengolahan HVSR berupa berkas *.hv* dipanggil dan dijalankan melalui Visual Studio Code (VScode) menggunakan skrip evaluasi yang mengacu pada parameter kelayakan SESAME. Beberapa aspek yang diperiksa meliputi kestabilan puncak frekuensi, konsistensi

amplitudo, serta kecukupan jumlah jendela waktu yang memenuhi standar.

Hasil pengujian tersebut kemudian dibandingkan dengan kriteria pada Tabel 2 untuk menentukan apakah setiap titik pengukuran telah memenuhi syarat reliabilitas. Jika seluruh kriteria terpenuhi, kurva HVSR dinyatakan valid dan dapat digunakan sebagai *input* pada proses inversi. Sebaliknya, apabila terdapat kurva yang tidak memenuhi kriteria, data tersebut dievaluasi kembali atau dikeluarkan dari tahap berikutnya. Dengan demikian, proses ini memastikan bahwa model inversi yang dihasilkan nantinya dibangun dari kurva HVSR yang stabil, reliabel, dan sesuai standar evaluasi internasional.

3. Inversi Kurva HVSR Menggunakan Dinver

Tahap inversi dilakukan untuk memperoleh model struktur bawah permukaan berdasarkan kurva HVSR hasil pengolahan sebelumnya dengan menggunakan metode *ellipticity curve* pada perangkat lunak Dinver. Parameter awal berupa nilai kecepatan gelombang P (V_p) dan gelombang S (V_s). Selanjutnya, konfigurasi model awal ditentukan melalui penetapan jumlah lapisan, kisaran ketebalan, serta rasio V_p/V_s pada setiap lapisan. Proses inversi kemudian dilakukan dengan meminimalkan nilai *misfit* antara kurva *ellipticity* teoritis dan kurva HVSR hasil pengamatan. Keluaran dari inversi ini ditampilkan dalam dua bentuk utama, yaitu kurva *ellipticity* hasil pemodelan dan profil kecepatan gelombang S terhadap kedalaman. Kedua hasil tersebut digunakan untuk menilai kesesuaian antara respon teoretis dan data observasi sekaligus menggambarkan variasi sifat fisik *subsurface*.

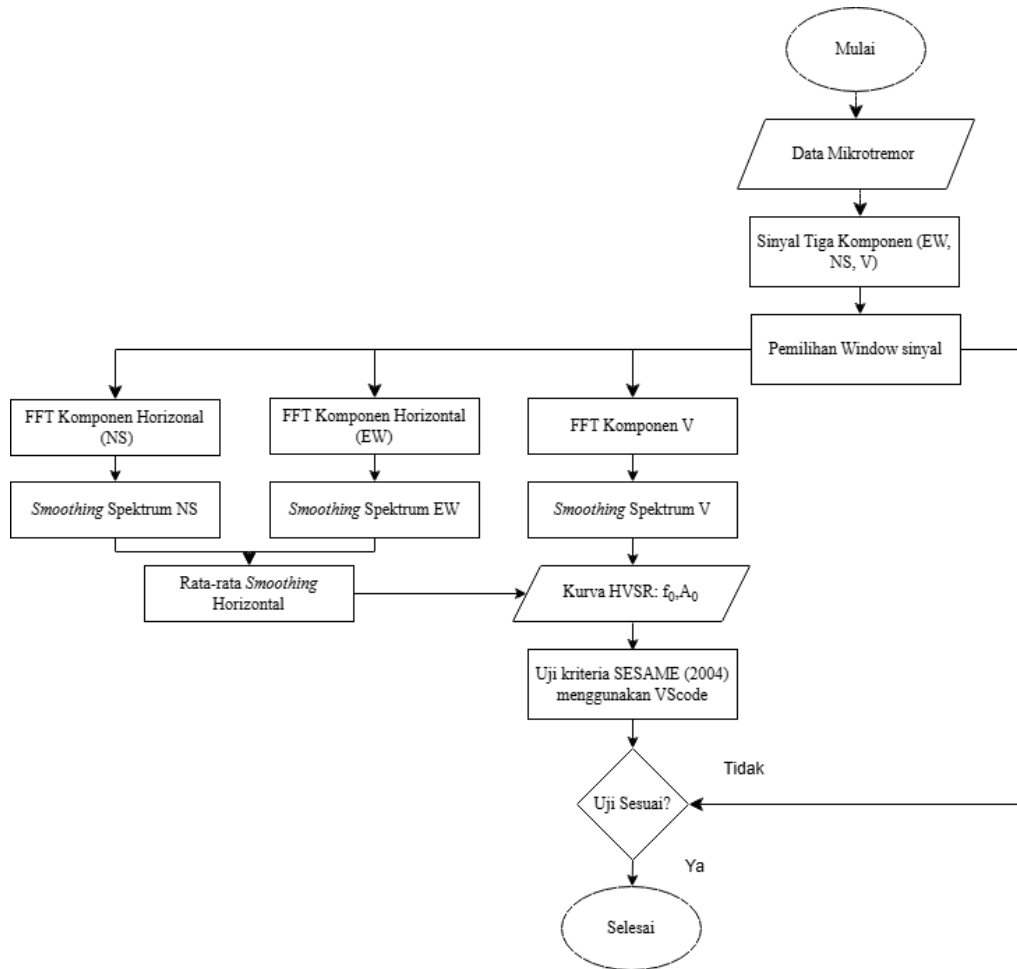
4. Pemodelan *subsurface* dengan Rockwork 2015

Setelah proses inversi menghasilkan nilai kecepatan gelombang P (V_p) dan kecepatan gelombang S (V_s). Selanjutnya nilai tersebut digunakan dalam perhitungan poisson ratio yang kemudian disusun secara terstruktur dalam lembar kerja Excel bersama informasi koordinat titik pengamatan (X dan Y) serta ketebalan atau kedalaman lapisan. Penyusunan data dilakukan untuk memastikan seluruh titik memiliki format *input* yang seragam dan siap digunakan pada tahap pemodelan.

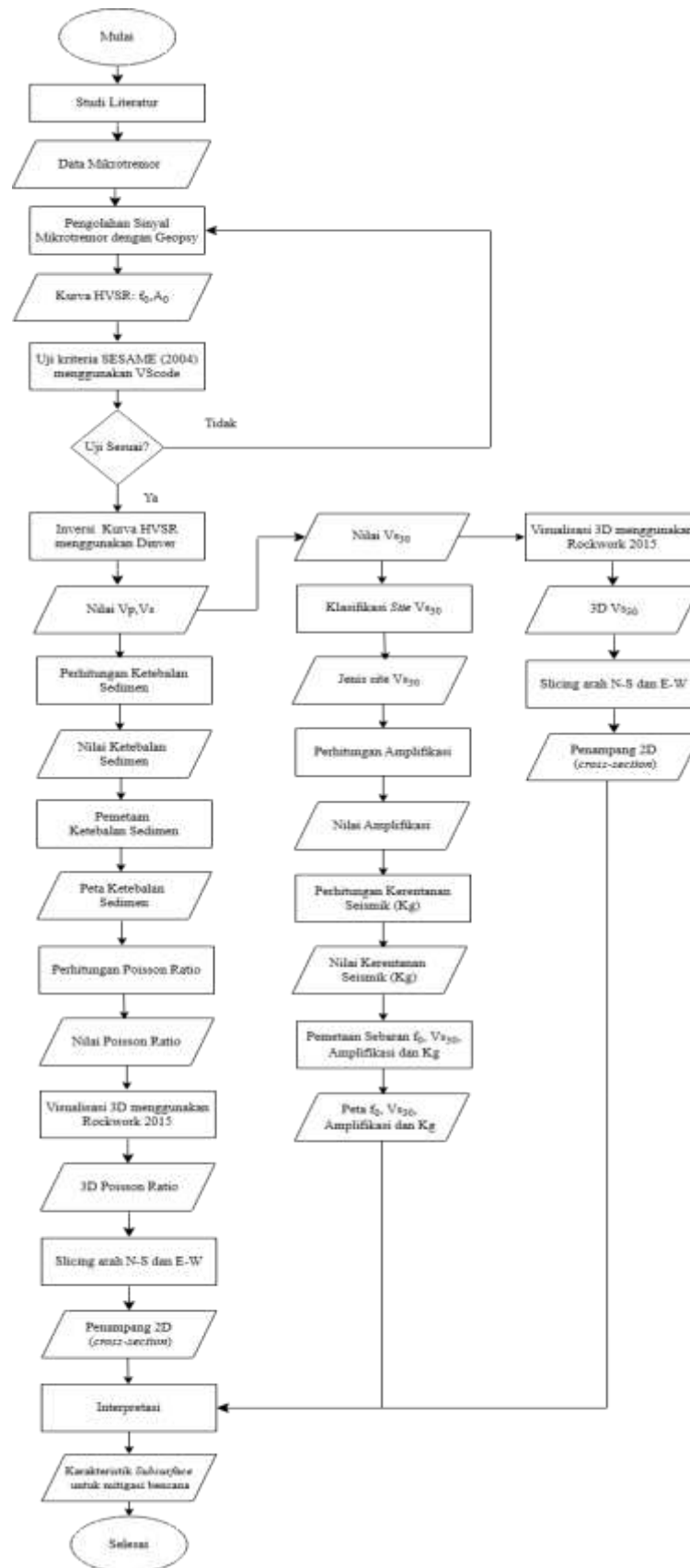
Seluruh dataset kemudian disimpan dalam format Excel 97–2003 Workbook (.xls) agar kompatibel dengan RockWorks 2015. Format tersebut memungkinkan perangkat lunak mengenali setiap parameter sebagai atribut *borehole* sehingga data dapat dipetakan dalam bentuk multilayer atau multilog. Selanjutnya, hasil pemodelan tiga dimensi (3D) yang diperoleh digunakan untuk menghasilkan penampang bawah permukaan melalui proses *slicing* pada arah utara – selatan (N–S) dan timur – barat (E–W) guna memvisualisasikan variasi parameter bawah permukaan secara spasial.

4.4 Diagram Alir

Adapun diagram alir dari *Quality Control* Kurva HVSR dan penelitian Tugas Akhir ini dapat dilihat pada Gambar 8 dan 9 berikut.



Gambar 8. Diagram Alir *Quality Control* Kurva HVSR



Gambar 9. Diagram Alir Penelitian

BAB VI KESIMPULAN

6.1 Kesimpulan

Dari hasil pengolahan dan analisis data, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil analisis respons seismik menunjukkan bahwa seluruh titik pengukuran memiliki nilai amplifikasi < 3 , sehingga secara keseluruhan termasuk kategori rendah. Frekuensi dominan (f_0) bervariasi antara Jenis I hingga Jenis IV, mencerminkan perbedaan karakteristik lapisan sedimen dan respons dinamik tanah di masing-masing lokasi. Indeks kerentanan seismik (K_g) sebagian besar termasuk kategori rendah, kecuali Titik 7 di Desa Suoh yang tergolong sedang, menunjukkan tingkat sensitivitas tanah yang lebih tinggi terhadap guncangan gempa dibanding titik pengukuran lainnya. Temuan ini menegaskan bahwa meskipun amplifikasi rendah secara keseluruhan, kombinasi frekuensi dominan dan indeks kerentanan seismik tetap menjadi indikator penting untuk mengidentifikasi zona dengan kerentanan seismik relatif lebih tinggi.
2. Analisis potensi likuifaksi menunjukkan bahwa Titik 7 di Desa Suoh memiliki potensi paling tinggi dibandingkan titik lainnya akibat kombinasi sedimen yang relatif sangat tebal, V_{S30} rendah, dan Poisson ratio tinggi, dengan kondisi tanah yang jenuh air memperkuat potensi amblesan. Titik pengukuran lainnya tetap dikategorikan rentan, dengan tingkat kerentanan menurun seiring berkurangnya ketebalan sedimen dan meningkatnya frekuensi dominan. Hasil ini menegaskan bahwa ketebalan sedimen, nilai V_{S30} , dan Poisson ratio merupakan faktor utama yang menentukan tingkat risiko likuifaksi di wilayah penelitian.

3. Berdasarkan temuan tersebut, upaya mitigasi yang disarankan meliputi penguatan fondasi bangunan, perencanaan tata ruang yang memperhatikan sebaran sedimen tebal, pemantauan muka air tanah secara berkala, serta penerapan standar konstruksi tahan gempa. Implementasi langkah-langkah mitigatif ini diharapkan dapat mengurangi risiko amblesan tanah dan likuifaksi, serta meningkatkan keamanan dan ketahanan infrastruktur maupun masyarakat terhadap guncangan gempa bumi.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, diperlukan perhatian lebih terhadap wilayah yang memiliki indikasi kerentanan seismik dan potensi likuifaksi tinggi, khususnya dalam perencanaan dan pelaksanaan pembangunan infrastruktur. Penyesuaian desain fondasi dan penerapan standar konstruksi yang sesuai dengan karakteristik tanah setempat perlu dipertimbangkan sebagai upaya pengurangan risiko kerusakan akibat guncangan gempa bumi. Selain itu, pada penelitian selanjutnya disarankan dilakukan pengintegrasian dengan seismisitas di daerah tersebut guna memperoleh gambaran kondisi bawah permukaan yang lebih menyeluruh dalam mendukung upaya mitigasi bencana.

DAFTAR PUSTAKA

- Aiman, M. K. (2023). *Pemetaan kerentanan gempa di Kecamatan Pacitan Kabupaten Pacitan menggunakan pengukuran mikrotremor dengan metode HVSR* [Tugas Akhir, Universitas Islam Indonesia]. Repository Universitas Islam Indonesia.
- Amin, T. C., Sidarto, Santosa, S., & Gunawan, W. (1993). *Peta geologi lembar Kotaagung, Sumatera*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Arifin, S. S., Mulyatno, B. S., Marjiyono, & Setianegara, R. (2014). Penentuan zona rawan guncangan bencana gempa bumi berdasarkan analisis nilai amplifikasi HVSR mikrotremor dan analisis periode dominan daerah Liwa dan sekitarnya. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, 2(1).
- Arintalofa, V., Yuliyanto, G., & Harmoko, U. (2021). Analisa mikrotremor menggunakan metode HVSR untuk mengetahui karakteristik bawah permukaan manifestasi panas bumi Diwak dan Derekan berdasarkan nilai V_p . *JEBT: Jurnal Energi Baru & Terbarukan*.
- Arisona, Manginsih, S. L., Praja, N. K., Hasria, & Azhar. (2023). Pemetaan lapisan tanah menggunakan data mikrotremor HVSR dan dampaknya terhadap daya dukung tanah di kawasan Kota Kendari. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 24(1), 51–58.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Lampung Barat. (2020). *Kecamatan Bandar Negeri Suoh dalam angka 2020*. BPS Kabupaten Lampung Barat.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Lampung Barat. (2024). *Kecamatan Bandar Negeri Suoh dalam angka 2024*. BPS Kabupaten Lampung Barat.
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). *Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung* (SNI 1726:2012).
- Bustari, A. A., & Wibowo, N. B. (2023). Pemetaan sebaran nilai V_{s30} , faktor amplifikasi tanah, dan peak ground acceleration wilayah Bantul Timur. *Cakrawala Jurnal Ilmiah Bidang Sains*, 1(2).

- Fahriani, F. (2016). Analisis pengaruh ketinggian timbunan terhadap kestabilan lereng. *Jurnal Fropil*, 4(1), 40-47.
- Fathullah, H. I. (2020). *Litologi bawah permukaan berdasarkan kecepatan gelombang geser dengan metode ellipticity curve di Kecamatan Bayat Kabupaten Klaten* [Skripsi, Universitas Negeri Yogyakarta].
- Gozali, B., Hamatun, & Wulandari, D. (2022). *Pelatihan metode ellipticity curve dalam meningkatkan kualitas pembelajaran guru fisika di Kota Metro* [Laporan Pengabdian Masyarakat]. IAI Darul Amal Lampung.
- Haerudin, N., Alam, F., & Rustadi. (2019). *Mikroseismik, mikrotremor dan microearthquake dalam ilmu kebumihan*. Pustaka Media.
- Hamoya, A. V. (2022). *Geologi dan analisis struktur daerah Negeri Jaya dan sekitarnya, Kecamatan Bandar Negeri Suoh, Kabupaten Lampung Barat, Provinsi Lampung* [Skripsi, Institut Teknologi Sumatera]. Repository ITERA.
- Hamsyah, A. V. (2023). *Geologi Daerah Negeri Jaya dan Sekitarnya, Kecamatan Bandar Negeri Suoh, Kabupaten Lampung Barat, Provinsi Lampung* [Skripsi tidak diterbitkan]. Institut Teknologi Sumatera.
- Handayani, D., Pratama, D. A., Koagouw, J. E., & Nurfitriani. (2023). *Analisis mikrotremor untuk mengetahui karakteristik tanah di sekitar Jembatan Amurang, Minahasa Selatan*. Stasiun Geofisika Manado.
- Hudha, S. N., Harmoko, U., Widada, S., Yusuf, D. H., Yulianto, G., & Sahid. (2014). Penentuan struktur bawah permukaan dengan menggunakan metode seismik refraksi di lapangan panas bumi Diwak dan Derekan, Kecamatan Bergas, Kabupaten Semarang. *Youngster Physics Journal*, 3(3), 263–268.
- Kiswiranti, D. (2019). *Seismologi (Dasar-dasar seismologi dan aplikasinya)*. Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta.
- Mamonto, F. (2021). *Mikrozonasi wilayah Bandung Raya untuk analisis potensi bahaya gempabumi* [Tesis, Institut Teknologi Bandung]. Repository Institut Teknologi Bandung.
- Mangga, S. A., Atmawinata, S., Hermanto, B., & Silitonga, P. H. (1993). *Peta Geologi Lembar Tanjungkarang, Sumatera*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Minardi, S., Kosim, Zubaedah, T., Muhajirah, 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, 2394–2405.

- Patimah, S. (2017). *Analisis litologi bawah permukaan berdasarkan ground profiles kecepatan gelombang geser dengan metode ellipticity curve di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno Kabupaten Klaten* [Skripsi, Universitas Negeri Yogyakarta].
- Permatasari, I. (2021). *Analisis mikrotremor berdasarkan peta sebaran nilai frekuensi dominan, faktor amplifikasi dan indeks kerentanan seismik menggunakan metode HVSR daerah Grobogan Jawa Tengah* [Skripsi, Universitas Lampung]. Digital Repository Universitas Lampung.
- Pinem, J. C. D. B., Farduwin, A., & Styawan, Y. (2024). Pemanfaatan metode HVSR untuk studi karakteristik tanah di Tanjung Kemala daerah Kabupaten Tanggamus. *Jurnal Geosaintek*, 10(2), 106–122.
- Purnomo, S. S. (2019). *Analisis struktur bawah permukaan Kota Surakarta bagian timur berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser dengan metode ellipticity curve* [Skripsi, Universitas Sebelas Maret].
- Putra, R. R., & Saputra, D. (2022). Assessment tingkat kerentanan bangunan bertingkat di kampus Universitas Negeri Padang menggunakan Gelombang Rayleigh. *Serambi Engineering*, 7(1), 2638–2648.
- Rafflesia, F., Haerudin, N., & Rustadi. (2017). Analisis sebaran hiposenter gempa mikro dan Poisson's ratio di lapangan panasbumi Desert Peak sebelum dan sesudah stimulasi Enhanced Geothermal System (EGS). *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, 3(2), 110–120.
- Rasimeng, S., Laksono, A., & Rustadi. (2020). Intepretasi nilai kecepatan gelombang geser ($V_s 30$) menggunakan metode seismik multichannel analysis of surface wave (MASW) untuk memetakan daerah rawan gempa bumi di Kota Bandar Lampung. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, 3(3).
- SESAME European Research Project. (2004). *Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations measurements, processing and interpretation* (Deliverable D23.12). European Commission - Research General Directorate.
- Sihabudin, A. (2021). *Pemodelan bawah permukaan menggunakan inversi HVSR pada data mikrotremor dari akselerometer berbasis Arduino di Lapangan Panasbumi Way Ratai* [Skripsi, Universitas Lampung].
- Sitorus, N. M. H., Purwanto, M. S., & Utama, W. (2017). Estimasi ketebalan lapisan sedimen dan amplifikasi Desa Olak Alen Blitar menggunakan metode mikrotremor HVSR. *JURNAL TEKNIK ITS*, 6(2).
- Sungkowo, A. (2016). *Studi kerentanan seismik dan karakteristik dinamik tanah di Kota Yogyakarta dari data mikrotremor* [Tesis master, Universitas Islam Indonesia].

- Syahrudin, M. H., Aswad, S., Palullungan, E. F., Maria, & Syamsuddin. (2014). Penentuan profil ketebalan sedimen lintasan Kota Makassar dengan mikrotremor. *Jurnal Fisika*, 4(1), 17.
- Tanjung, N. A. F., Yuniarto, H. P., & Widyawarman, D. (2019). Analisis amplifikasi dan indeks kerentanan seismik di kawasan FMIPA UGM menggunakan metode HVSR. *Jurnal Geosaintek*, 5(2), 60–67. <https://doi.org/10.12962/j25023659.v5i2.5649>
- Utami, Z. (2017). *Analisis indeks kerentanan seismik berdasarkan pengukuran sinyal mikrotremor di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno Kabupaten Klaten* [Skripsi, Universitas Negeri Yogyakarta]. Lumbung Pustaka UNY.
- Wathoni, M. A., Minardi, S., & Marzuki. (2023). Identifikasi potensi likuifaksi menggunakan metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR) di kawasan Kuta, Lombok. *Jurnal Fisika Unram*, 2(1), 2–4.
- Wibowo, N. B., Sembri, J. N., Darmawan, D., Sumardi, Y., Afriliani, F., & Mahmudah, S. (2018). Interpretasi lapisan sedimen berdasarkan ground profile Vs dengan pengukuran mikrotremor di Kecamatan Pacitan. *Indonesian Journal of Applied Physics*, 8(1), 32.
- Wintoro, B. J., Paripurno, E. T., Nugroho, A. R. B., Purwanta, J., & Maharani, Y. N. (2025). Estimasi Vs30 dan pemetaan klasifikasi tanah berbasis HVSR di wilayah Sesar Lasem, Jawa Tengah. *JoP (Journal of Physics)*, 10(3), 33–43. <https://doi.org/10.18280/ij dne.200412>
- 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.v5i1.22>
- Zuhdi, M., Taufik, M., Syahrial, A., & Wahyudi. (2021). *Pengantar Geofisika*. Einstein College.