

**IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN SESAR PANJANG
BERDASARKAN PEMODELAN 2D MENGGUNAKAN METODE
MIKROTREMOR *ELLIPTICITY CURVE* DI DAERAH BANDAR
LAMPUNG**

(Skripsi)

Oleh:

Fahmi Adha Syaifullah

2015051056



**JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG**

2026

**IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN SESAR PANJANG
BERDASARKAN PEMODELAN 2D MENGGUNAKAN METODE
MIKROTREMOR *ELLIPTICITY CURVE* DI DAERAH BANDAR
LAMPUNG**

Oleh

FAHMI ADHA SYAIFULLAH

Skripsi

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

Pada

**Jurusan Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG**

2026

ABSTRAK

IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN SESAR PANJANG BERDASARKAN PEMODELAN 2D MENGGUNAKAN METODE MIKROTREMOR *ELLIPTICITY CURVE* DI DAERAH BANDAR LAMPUNG

Oleh

Fahmi Adha Syaifullah

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kondisi struktur bawah permukaan Sesar Panjang berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser (V_s) di wilayah Bandar Lampung untuk menghasilkan penampang model konseptual 2D HVSR. Metode yang digunakan meliputi pengukuran mikrotremor dan analisis *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR) yang kemudian diinversi untuk memperoleh model kecepatan gelombang geser 1D dan 2D (*ground profile*). Daerah penelitian berada pada Formasi Lampung (Qtl), Formasi Tarahan (Tpot) dan Endapan Gunungapi Muda Gunung Betung (Qhvb). Hasil inversi menunjukkan variasi nilai V_s yang signifikan secara lateral dan vertikal, yang mencerminkan perbedaan litologi, serta pengaruh struktur geologi bawah permukaan. Lapisan dangkal umumnya tersusun oleh material vulkanik muda dan endapan rombakan dengan nilai V_s rendah hingga menengah, sedangkan lapisan lebih dalam menunjukkan peningkatan nilai V_s yang diinterpretasikan sebagai batuan vulkanik terkompaksi hingga batuan dasar. Hasil inversi penampang 2D nilai kecepatan gelombang geser (V_s) mengindikasikan keberadaan sesar panjang yang memotong lintasan penelitian.

Kata kunci: Mikrotremor; HVSR; Kecepatan Gelombang Geser (V_s), *Ellipticity Curve*, Sesar Panjang

ABSTRACT

IDENTIFICATION OF LONG FAULT SUBSURFACE STRUCTURES BASED ON 2D MODELING USING THE MICROTREMOR *ELLIPTICITY* CURVE METHOD IN THE BANDAR LAMPUNG AREA

By

Fahmi Adha Syaifullah

This study aims to identify the subsurface structural conditions of the Long Fault based on shear wave velocity (V_s) values in the Bandar Lampung area to generate a conceptual 2D HVSR cross-section model. The methods used include microtremor measurements and Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR) analysis, which are then inverted to obtain 1D and 2D (ground profile) shear wave velocity models. The study area is located in the Lampung Formation (Qtl), Tarahan Formation (Tpot), and Young Volcanic Deposits of Mount Betung (Qhvb). The inversion results show significant lateral and vertical variations in V_s values, reflecting differences in lithology and the influence of subsurface geological structures. Shallow layers are generally composed of young volcanic material and debris deposits with low to medium V_s values, while deeper layers show increased V_s values, interpreted as compacted volcanic rocks to bedrock. The 2D cross-section inversion results of shear wave velocity (V_s) indicate the presence of a long fault intersecting the study area.

Keywords: *Microtremor; HVSR; Shear Wave Velocity (V_s), Ellipticity Curve, Long Fault*

Judul Skripsi

: **Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Sesa Panjang Berdasarkan Pemodelan 2D Menggunakan Metode Mikrotremor *Ellipticity Curve* Di Daerah Bandar Lampung**

Nama Mahasiswa

: **Fahmi Adha Syaifullah**

Nomor Induk Mahasiswa

: **2015051056**

Program Studi

: **Teknik Geofisika**

Fakultas

: **Teknik**

MENYETEJUI

1. **Komisi Pembimbing**

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Ir. Samsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si., C.EIA., IPM.

NIP. 197307162000121002

Ir. Alimuddin Muchtar, S.Si., M.Si., C.EIA.

NIP. 197206262000121001

2. **Ketua Jurusan Teknik Geofisika**

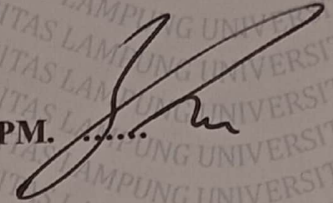
Dr. Ir. Samsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si., C.EIA., IPM.

NIP. 197307162000121002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

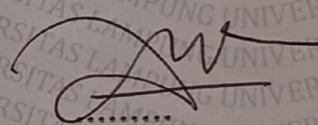
Ketua : **Dr. Ir. Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si., C.EIA., IPM.**



Sekretaris : **Dr. Alimuddin Muchtar, S.Si., M.Si., C.EIA.**



Anggota : **Dr. Rustadi, S.Si., M.T.**

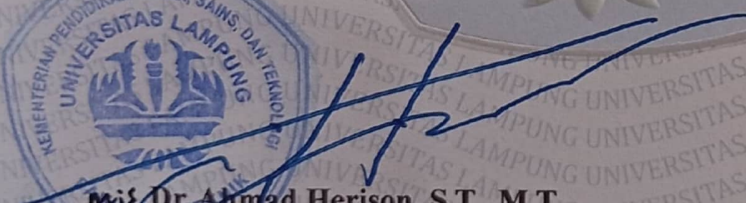


2. Dekan Fakultas Teknik



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

NIP. 196910302000031001



Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 30 Januari 2026

PERNYATAAN

Dengan ini saya mentakan, bahwa apa yang tertulis pada skripsi saya dengan judul **“Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Sesar Panjang Berdasarkan Pemodelan 2D Menggunakan Metode Mikrotremor *Ellipticity Curve* Di Daerah Bandar Lampung”** bukan merupakan karya dari orang lain, melainkan berdasarkan dengan pengetahuan dan data yang penulis dapatkan. Skripsi ini tidak berasal dari material yang telah dipublikasikan dalam kata lain adalah plagiat karya orang lain.

Demikian pernyataan ini saya buat, dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila pada kemudian hari terdapat kesalahan dan ketidaksesuaian dalam apa yang saya tulis sebagai pernyataan, maka saya bersedia dikenakan sanksi dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 30 Januari 2026

Penulis



Fahmi Adha Syaifullah

2015051056

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Fahmi Adha Syaifullah lahir pada tanggal 05 Maret 2001 di Metro, Lampung. Penulis merupakan anak tengah dari 5 bersaudara, anak dari Bapak Saifuddin dan Ibu Julia Anjasmara. Penulis memulai pendidikan dengan bersekolah di SDN 6 Metro dan lulus pada tahun 2014. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan tingkat menengah pertama di SMPN 3 Metro dan lulus pada tahun 2017. Setelahnya, penulis melanjutkan sekolah menengah atas di SMAN 5 Metro dan lulus pada tahun 2020. Setelah lulus dari sekolah menengah atas, penulis melanjutkan pendidikan perguruan tinggi negeri dengan melakukan perkuliahan di Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN pada program studi S1 Teknik Geofisika.

Selama menjalani dunia perkuliahan, penulis mengikuti banyak kegiatan baik akademik maupun Non akademik serta pengalaman hidup yang bermanfaat dalam pengembangan diri. Selama menjadi Mahasiswa, penulis cukup aktif dalam kegiatan keorganisasian baik internal maupun eksternal, di organisasi internal yaitu Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika Bhuwana (HIMA TG BHUWANA). periode 2022-2023 sebagai anggota kaderisasi kemudian menjadi ketua bidang kaderisasi. Selain itu juga, penulis aktif di eksternal yaitu SEG SC UNILA sebagai wakil presiden pada tahun 2023-2024. Kemudian penulis aktif dalam organisasi PMII (Pergerakan Mahasiswa Islam Indonesia) sebagai pimpinan fakultas teknik Unila pada tahun 2024. Penulis pernah terpilih dalam Magang dan Studi Independen Bersertifikat (MSIB) dengan program Digital Marketing di PT. Arkatama Multisolusindo periode Agustus-Desember 2022. Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) pada Januari - Februari 2023 di Desa Kalirejo, Wonosobo, Tanggamus. Pada bulan Juni-Juli 2024 penulis melakukan kegiatan

Kerja Praktik. (KP) di BMKG Stasiun Geofisika Kelas III Kotabumi, Lampung Utara dengan judul **“Penentuan Siteclass Menggunakan Metode Mikrotremor Pada Daerah Kelapa Tujuh, Kotabumi”**. Setelah itu penulis melaksanakan kegiatan penelitian Tugas Akhir (TA) dengan judul **“Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Sesar Panjang Berdasarkan Pemodelan 2D Menggunakan Metode Mikrotremor *Ellipticity Curve* Di Daerah Bandar Lampung”** untuk memperoleh gelar sarjana Strata-1 (S1) yang dilakukan di Laboratorium Pengolahan dan Pemodelan Data Geofisika (PPDG), Jurusan Teknik Geofisika, Universitas Lampung.

PERSEMBAHAN

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa, atas segala rahmat, hidayah, dan kekuatan yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan baik. Skripsi ini penulis persembahkan juga kepada:

AYAH, DAN IBU TERCINTA SAIFUDDIN & JULIA ANJASMARA

Yang telah melahirkan dan membesarkan serta memberikan do'a, kasih sayang dan motivasi selama ini. Walaupun terpisahkan oleh jarak, namun komunikasi tetap berjalan dengan baik dan tetap memberikan dukungan kepada penulis. Semoga apa yang penulis lakukan selama ini menjadi titik awal untuk membanggakan dan membahagiakan Ayah dan Ibu.

KAKAK TERHEBAT EKA OCTALIA INDAH LIBRIANTI DAN M.RIZKY PRANANDA S.

Terima kasih atas dukungan serta saran dan kritikan yang telah diberikan untuk kelancaran penulis selama menempuh perkuliahan ini dan menjadi salah satu sumber motivasi penulis dalam menyelesaikan skripsi.

DIRI SENDIRI FAHMI ADHA SYAIFULLAH

Terima kasih telah menghadirkan perjalanan dengan berbagai rintangan dan cobaan yang beragam dan dijadikan pembelajaran untuk kedepannya sebagai pengembangan diri dan pengalaman.

ADIK TERSAYANG

MARVEL SATRIA GEOFANY DAN SAKHI ZAIDAN ALBUKHORI

Terima kasih telah melewati banyak hal kehidupan bersama penulis serta segala doa dan dukungan yang telah diberikan kepada penulis.

WANITA HEBAT

FEBY ALIFA

Wanita yang selalu kebersamai penulis dari awal hingga akhir skripsi dengan penuh sabar, amarah, kasih sayang serta dukungan dan tahapan lika-liku penulis selama ini. Terima kasih atas waktu, keseruan dan do'anya yang selalu mewarnai hari-hari dan kehidupan baik suka maupun duka. Semoga hari-hari itu tidak akan pernah hilang sampai kedepannya.

ANGKATAN TG 20 PATAKIS

“APA AJA KITA TAKIS”

Proses yang cukup lama untuk berkembang bersama dengan latar belakang dan watak yang berbeda-beda sebagai keluarga dalam melangkah kedepan untuk meraih impian. Sampai bertemu dan bertukar cerita kesuksesan versi diri sendiri.

ACHIEVE YOUR DREAMS, FRIEND!

KELUARGA BESAR TEKNIK GEOFISIKA UNIVERSITAS LAMPUNG

Terima kasih telah menerima penulis di keluarga besar ini dan sebagai tempat berlabuh untuk perkembangan dan pendewasaan penulis.

KELUARGA BESAR LAB PPDG

Terima kasih untuk segalanya walaupun tidak dalam waktu yang sangat lama karena telah menjadi keluarga yang saling mendukung, membantu, kebersamai, dan saling mensupport satu sama lain.

Semua yang telah terlibat dalam proses pembuatan, dan penyusunan skripsi ini, penulis ucapkan terima kasih banyak.

MOTTO

“Mereka merencanakan dan Allah Swt. merencanakan. Sesungguhnya, Allah Swt. adalah perencana terbaik.”

“(Q.S. Al-Anfal : 30)”

“Gagal hanya terjadi jika kita menyerah”

“(B. J. HABIBIE)”

“It's okay to celebrate success, but it's more important to heed the lessons of failure.”

“(BILL GATES)”

“Life is like riding a bicycle. To stay balanced, you must keep moving.”

“(Albert Einstein)”

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT, karena berkat serta rahmat dan kuasanya, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul “**Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Sesar Panjang Berdasarkan Pemodelan 2D Menggunakan Metode Mikrotremor *Ellipticity Curve* Di Daerah Bandar Lampung**”. Tujuan penulis untuk menyelesaikan skripsi ini sebagai salah satu syarat mencapai gelar sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Dalam penulisan skripsi ini penulis menyadari masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik, dan saran yang bermanfaat dan membangun dalam penyusunan skripsi ini. Diharapkan dengan adanya skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca, serta bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Bandar Lampung, 30 Januari 2026

Penulis

Fahmi Adha Syaifullah

NPM. 2015051056

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan nikmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan baik. Shalawat serta salam selalu tercurahkan kepada suri tauladan Rasullullah Muhammad Shallallahu 'Alaihi Wassalam beserta sahabat sahabatnya, dan semoga kita selaku umatnya mendapatkan syafa'atnya di hari akhirat kelak. Aamiin ya Rabbal Alamin.

Adapun dalam penyelesaian skripsi terdapat banyak pihak yang terlibat, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan rasa terimakasih 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 serta Dosen Pembimbing I Tugas Akhir yang telah banyak dilibatkan waktunya untuk membimbing, menasehati, serta mengarahkan penulis selama kegiatan Tugas Akhir. Tidak luput juga perhatian dan pengabdian yang beliau berikan untuk mengayomi kepada para mahasiswa terkhusus Lab. PPDG.
3. Bapak Dr. Alimuddin Muchtar, S.Si., M.Si., C.EIA. selaku Pembimbing II Tugas Akhir yang selalu memperhatikan proses dan hasil penulis untuk berkembang dan juga menjadi figur orang tua selama penulis menyelesaikan skripsi. Tidak ternilai kebaikan dan kepedulian yang beliau berikan.
4. Bapak Dr. Rustadi, S.Si., M.T. selaku Dosen Penguji Tugas Akhir yang selalu memberikan kritikan bersifat membangun disertai motivasi penulis agar giat belajar memahami penelitian yang dikerjakan.
5. Bigar Kristantyo, S.Tr.GEOF dan Sugeng Prayitno, S.T. selaku Pembimbing Lapangan dan Pembimbing selama Kerja Praktik di BMKG Stasiun Geofisika

6. Kelas III Kotabumi, Lampung Utara yang telah membimbing serta memberikan ilmu dan pengalamannya diluar perkuliahan kepada penulis.
7. Bapak Ir. Rahmat Catur Wibowo, ST, M.Eng., IPM. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah peduli terhadap penulis selama perkuliahan di Universitas Lampung.
8. Dosen Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung yang penulis hormati, dan banggakan, terimakasih atas banyak ilmu, dan pengalaman yang telah diberikan kepada penulis ketika melakukan perkuliahan.
9. Kedua orang tua penulis yang sangat disayangi dibanggakan dan dicintai, Ayah Saifuddin dan Ibu Julia Anjasmara yang telah mendukung langkah penulis dalam menempuh pendidikan. Terima kasih atas supportnya dan do'a nya selama proses penyusunan Tugas Akhir ini.
10. Kakak dan Adik penulis, Eka Octalia Indah Librianti, M. Rizky Prananda, Marvel Satria dan Sakhi Zaidan yang menjadikan salah satu motivasi bagi penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir.
11. Wanita hebat penulis, Feby Alifa yang dapat menjadi teman, sahabat, kekasih, maupun teman hidup yang selalu mewarnai hari-hari dalam senang maupun marah dan selalu mendorong penulis untuk terus maju berkembang dengan sabar dan penuh kasih sayang.
12. Keluarga Besar TG 20 Patakis yang selama ini memberi semangat dalam perkuliahan dan menemani untuk tumbuh selama berada di perkuliahan.
13. Angkatan Surya / Angkatan Marlong, Komti (Aldi), Wakomti (Rifan Bawasih), Awil Korlap, Fiko Pakce, Rezky Kuda, Erick Turbo, Prof Irsal, Adi Mas Atek Pedal, Rehan Badung, Ridho Culun, Fadel Demong Medit, Raihan Medan Balak, Bos Ramadan, Ahya Nguyen, Rayya Unik, dan Bowo Salting. Semoga segala proses selama perkuliahan ini dapat menjadikan kepribadian yang lebih baik lagi dengan versinya masing-masing.
14. Keluarga Besar Lab PPDG, Mba Jasmine, Cindi, Medan, Shofiko, Komti, Finna, Erik, Irsaldy, Rifan, Rezky, Rayya, Teguh, Anita, Ratu, Intan, Edu, Uteng, Yusro, Ika, Nadia, Paris, Tegar, Dini, Harsya, Rangga, Sabri, Zeno,

15. Paul, Yeni, dan Omar yang sudah meramaikan Lab PPDG tempat dimana penulis berjuang menyelesaikan skripsi ini. Semoga pertemuan singkat sebagai keluarga ini memiliki makna dan motivasi bagi kalian.
16. Abang-abang yang telah memotivasi penulis dalam mengerjakan skripsi ini Bang Nanda, Bang Ikram, Bang Eet, Bang Andiko, Bang Tecto, Bang Joy terimakasih telah membimbing selama perkuliahan dan memberi semangat penulis selama perkuliahan disini.
17. Beberapa orang yang turut mendukung penulis selama mengerjakan skripsi ini, Suhasmoko terimakasih telah menjadi tempat berpijak sehingga penulis dapat melanjutkan skripsi hingga selesai.
18. Hima TG Bhuwana yang telah mengkader, dan kebersamaan kami Angkatan 2020 dan memberikan banyak pengalaman kepada penulis, sehingga menjadi pribadi penulis yang seperti sekarang ini.
19. Semua pihak yang terlibat dalam hidup selama mengerjakan skripsi ini, yang tak bisa disebutkan satu persatu. Terimakasih banyak telah menjadi bagian dari penulis dalam menyelesaikan kuliah ini dengan dukungan yang luar biasa.

Bandar Lampung, 30 Januari 2026

Penulis

Fahmi Adha Syaifullah

NPM. 2015051056

DAFTAR ISI

ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
MENGESAHKAN	vi
PERNYATAAN.....	vii
RIWAYAT HIDUP.....	viii
PERSEMBAHAN.....	x
MOTTO	xiii
KATA PENGANTAR.....	xiv
SANWACANA.....	xv
DAFTAR ISI.....	xviii
DAFTAR GAMBAR	xx
DAFTAR TABEL	xxii
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar belakang.....	1
1.2 Tujuan penelitian	3
1.3 Batasan masalah.....	3
1.4 Manfaat penelitian	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Lokasi daerah penelitian	4
2.2 Fisiografi dan morfologi.....	5
2.3 Stratigrafi daerah penelitian.....	6
2.4 Struktur dan tektonik regional	7
2.5 Vulkanisme pulau Sumatera dan Lampung	10
2.6 Sesar Lampung - Panjang	12
2.7 Studi terdahulu.....	13
III. TEORI DASAR	17
3.1 Gempabumi.....	17
3.2 Gelombang seismik.....	17

3.2.1	Gelombang badan	18
3.2.2	Gelombang permukaan.....	21
3.3	Mikrotremor.....	22
3.4	HVSR (<i>Horizontal to Vertical Spectral Ratio</i>)	24
3.5	Frekuensi dominan.....	27
3.6	Amplifikasi	28
3.7	Inversi HVSR.....	29
3.8	Kecepatan Gelombang Geser (V_S)	30
IV.	METODOLOGI PENELITIAN	33
4.1	Tempat dan waktu penelitian	33
4.2	Alat dan bahan penelitian	33
4.3	Jadwal kegiatan.....	35
4.4	Prosedur penelitian	36
4.4.1	HVSR (<i>Horizontal to Vertical Spectral Ratio</i>)	36
4.4.1.1	<i>Import signal</i>	36
4.4.1.2	<i>Cutting signal</i>	36
4.4.1.3	<i>Toolls HVSR</i>	36
4.4.1.4	Kurva H/V	37
4.4.2	Inversi HVSR menggunakan metode <i>Ellipticity Curve</i>	38
4.4.3	Penentuan nilai frekuensi dominan dan amplifikasi	39
4.4.4	Penentuan nilai kecepatan gelombang geser.....	39
4.4.5	Penentuan model 2D konseptual Sesar Panjang	39
4.5	Diagram alir.....	40
V.	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	42
5.1	Hasil	42
5.2	Pembahasan	43
5.2.1	Sebaran frekuensi dominan dan amplifikasi	43
5.2.2	Metode <i>Ellipticity Curve</i>	46
5.2.3	Sesar sekitar daerah penelitian.....	47
5.2.4	Analisis sebaran nilai gelombang geser	48
5.2.4.1	Lintasan I	51
5.2.4.2	Lintasan II.....	52
5.2.4.3	Lintasan III	54
5.2.4.4	Lintasan IV	56
5.2.4.5	Lintasan V.....	59
5.2.4.6	Lintasan VI	61
5.2.4.7	Lintasan VII.....	63
VI.	KESIMPULAN DAN SARAN	66
6.1	Kesimpulan	66
6.2	Saran	67
	DAFTAR PUSTAKA.....	68

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Peta lokasi daerah penelitian	4
2. Peta fisiografi Lampung (Modifikasi Mangga dkk., 1994)	5
3. Stratigrafi regional batuan malihan dan lajur barisan pada lembar peta geologi Tanjungkarang (Mangga dkk., 1993).....	6
4. Tatanan tektonik Sumatera bagian Selatan (Pulunggono, 1992)	8
5. Peta geologi daerah penelitian	9
6. Gelombang badan dan gelombang permukaan (Ammon dkk., 2005).....	18
7. Gelombang primer (Elnashai dan Sarno, 2008)	20
8. Gelombang sekunder (Elnashai dan Sarno, 2008).....	21
9. Gelombang <i>rayleigh</i> (Elnashai dan Sarno, 2008).....	22
10. Gelombang <i>love</i> (Elnashai dan Sarno, 2008)	22
11. Perbedaan sinyal mikrotremor dan gempabumi (Haerudin dkk, 2019).....	23
12. Deskripsi perhitungan rasio H/V	25
13. Kurva H/V di titik UL01	38
14. Ground profile inversi HVSR.....	39
15. Diagram alir	40
16. Peta sebaran frekuensi dominan daerah penelitian.....	45
17. Kurva metode <i>Ellipticity Curve</i>	47
18. Sesar sekitar daerah penelitian.....	47
19. Sesar sekitar daerah penelitian.....	48
20. Peta sebaran V_S daerah penelitian	50

21.	Lintasan I dengan penampang V_S	51
22.	Lintasan II dengan penampang V_S	52
23.	Lintasan III dengan penampang V_S	54
24.	Lintasan IV dengan penampang V_S	56
25.	Lintasan V dengan penampang V_S	59
26.	Lintasan VI dengan penampang V_S	61
27.	Lintasan VII dengan penampang V_S	63

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Klasifikasi tanah berdasarkan nilai frekuensi dominan	27
2. Klasifikasi berdasarkan nilai amplifikasi.....	29
3. Klasifikasi tanah berdasarkan nilai V_S	31
4. Kecepatan gelombang pada beberapa medium batuan.....	31
5. Klasifikasi nilai batuan vulkanik berdasarkan kecepatan gelombang	32
6. Data yang digunakan dalam penelitian.....	33
7. Software yang digunakan dalam penelitian.....	34
8. Waktu pelaksanaan kegiatan.....	35
9. Parameter STA/LTA.....	37
10. Klasifikasi nilai frekuensi natural.....	43

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Secara tektonik, wilayah Indonesia merupakan titik pertemuan antara tiga lempeng besar, yaitu lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia, dan lempeng Pasifik (Harijono, 2010). Indonesia merupakan salah satu negara yang terletak pada *Ring of Fire in Pacific Rims* (rangkaian jalur gunung api aktif yang tersebar diatas lempeng bumi) dan terletak dipertemuan 3 lempeng tektonik aktif yaitu Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia dan Lempeng Pasifik. Ketiga lempeng tersebut bergerak relatif antara yang satu terhadap yang lainnya. Lempeng Eurasia dan Lempeng Indo-Australia yang bertumbukan berpengaruh terhadap wilayah Indonesia bagian barat (Sumatera, Jawa dan Nusa Tenggara), sedangkan tumbukan antara kedua lempeng tersebut dengan Lempeng Pasifik berpengaruh terhadap wilayah Indonesia bagian timur (Irian dan Maluku Utara) (Plummer, M.A., & Phillips, F.M, 2003).

Adanya proses pergerakan lempeng-lempeng tektonik ini menyebabkan wilayah Indonesia menjadi wilayah yang rawan terhadap bencana alam gempabumi tektonik. Salah satu pulau yang berada di wilayah tektonik aktif di dunia yaitu Pulau Sumatera. Menurut data dari BMKG periode 2009 – 2018 telah terjadi 5937 gempa yang terjadi di Pulau Sumatera dan dalam 20 tahun terakhir gempa dengan skala besar sering terjadi di Pulau Sumatera. (Metrikasari & Choiruddin, 2020).

Menurut Kementerian ESDM, terdapat 6 dari 25 wilayah rawan gempa berada di Pulau Sumatera di antaranya Aceh, Jambi, Sumatera Barat, Sumatera Utara, Bengkulu, dan Lampung. Provinsi Lampung adalah salah satu provinsi yang terletak di bagian selatan Pulau Sumatera serta dilalui jalur Bukit Barisan dan terdiri dari banyak patahan. Hal itu menyebabkan Provinsi Lampung berpotensi mengalami bencana alam seperti gempa bumi.

Mikrotremor merupakan getaran tanah yang sangat kecil dan terus menerus yang bersumber dari berbagai macam getaran seperti, lalu lintas, angin, aktivitas manusia dan lain-lain (Kanai, 1983). Dalam mikrotremor dikenal metode HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*). Metode ini merupakan metode yang efektif, murah dan ramah lingkungan yang dapat digunakan pada wilayah permukiman (Warnana, 2011).

Daerah Bandar Lampung berada pada Formasi berumur Kuartar yaitu; Formasi Lampung (QTI), Formasi Gunungapi Muda (Qhv), dan formasi lebih tua berumur Tersier, Formasi Tarahan (Tpot). Adapun metode HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) sebagai metode yang digunakan untuk menganalisis hasil pengukuran Mikrotremor dalam penentuan nilai f_0 (Frekuensi Dominan), A_0 (Amplifikasi), T_0 (Periode Dominan), K_g (Kerentanan Seismik), dan V_{S30} (Hermawan dkk., 2022). Hasil pada V_{S30} dilakukan dengan menggunakan inversi HVSR sehingga dapat menghasilkan *eliptisitas* daerah sesar Panjang Lampung dan pemodelan struktur bawah permukaan. Kurva hasil keluaran metode HVSR dapat diolah lebih lanjut untuk memperoleh struktur kecepatan gelombang seismik kedalaman dangkal menggunakan metode *inversi eliptisitas* gelombang *Rayleigh* (Sunardi, 2019). Metode inversi ini adalah proses pemodelan struktur bawah permukaan untuk mendapatkan parameter-parameter *elastis kurva dispersi* yang sebelumnya tidak diketahui. Inversi untuk memperoleh profil kecepatan gelombang geser (V_S) dengan memasukkan parameter model awal yang bersesuaian dengan sifat fisis tanah di wilayah penelitian, seperti kecepatan gelombang geser (V_S), kecepatan gelombang primer (V_p), massa jenis batuan (ρ), dan poisson ratio (σ). Inversi ini memanfaatkan *Teknik Monte Carlo* atau *conditional neighbourhood algorithm* (Sambridge, 1999).

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini ialah sebagai berikut:

1. Memahami lapisan bawah permukaan sesar Panjang Lampung.
2. Menentukan hasil nilai f_0 (Frekuensi Dominan), V_S (Kecepatan gelombang geser), A_0 (Amplifikasi) di wilayah sesar Panjang.
3. Menentukan model konseptual sesar Panjang menggunakan metode *ellipticity curve*.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah penelitian ini sebagai berikut:

1. Data yang digunakan merupakan data mikrotremor yang berada di daerah Bandar Lampung.
2. Metode yang digunakan adalah metode *ellipticity curve*.
3. Studi berfokus pada identifikasi pemodelan struktur lapisan bawah permukaan berdasarkan data mikrotremor berdasarkan pemodelan 2D HVSR menggunakan Software *Surfer23* dan *Arcgis10.8* yang dihasilkan menggunakan metode *ellipticity curve*.

1.4 Manfaat Penelitian

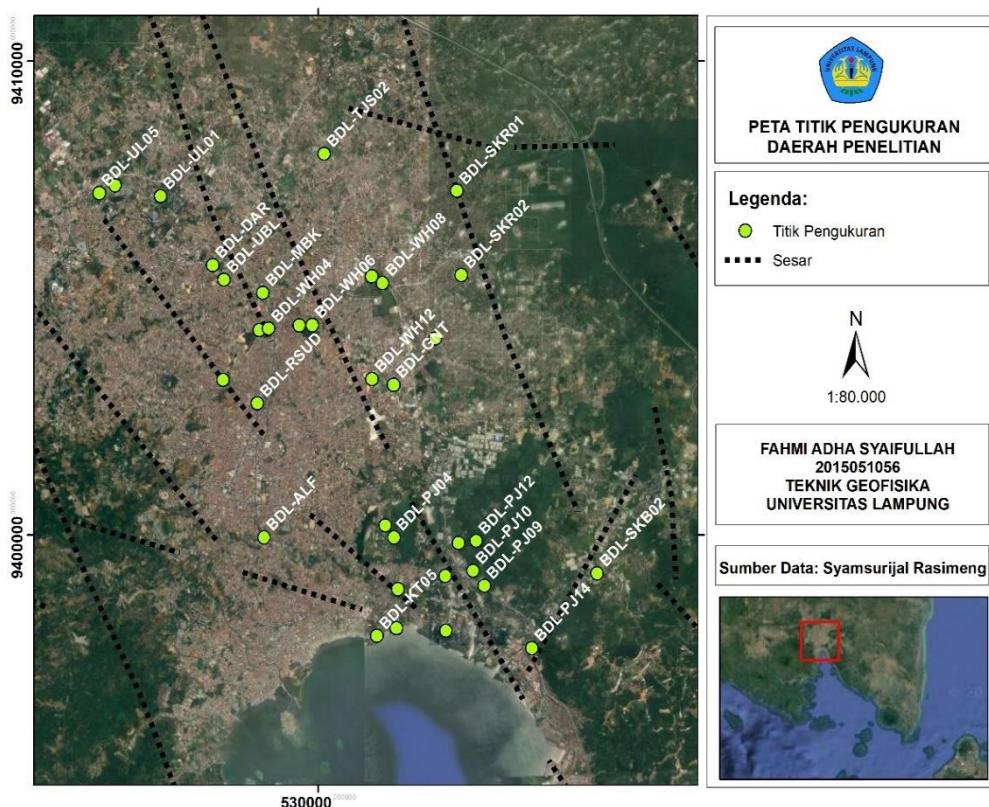
Manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan informasi terkait struktur lapisan bawah permukaan di Bandar Lampung.
2. Memberikan informasi mengenai gambaran 2D pemodelan struktur bawah permukaan daerah Bandar Lampung dengan menggunakan Software *Surfer23* dan *Arcgis10.8*.
3. Meningkatkan pengetahuan tentang ilmu geofisika terutama mengenai pemodelan struktur lapisan bawah permukaan menggunakan metode *ellipticity curve*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Lokasi Daerah Penelitian

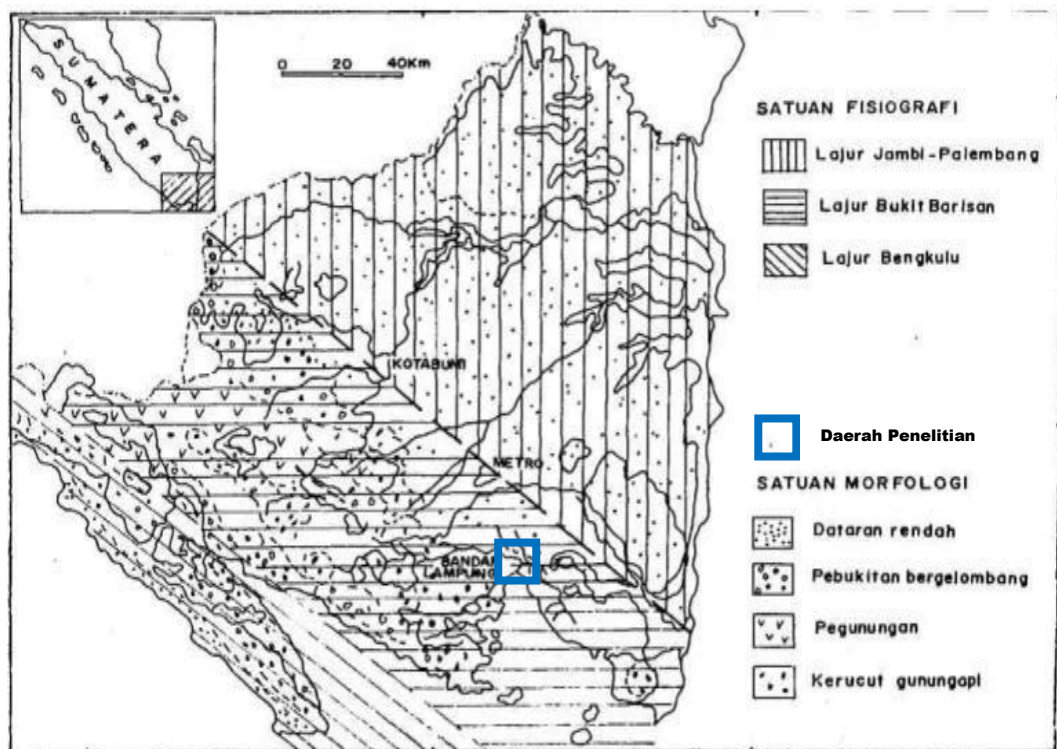
Lokasi daerah penelitian ini terletak di Kota Bandar Lampung, Provinsi Lampung. Lokasi ini terletak pada koordinat geografis $105^{\circ}23' - 105^{\circ}327'$ Bujur Timur dan antara $(-5^{\circ}36145')$ – $(-5^{\circ}4354')$ Lintang Selatan. Berikut merupakan peta titik pengukuran yang terlampir dibawah.



Gambar 1. Peta lokasi daerah penelitian

2.2 Fisiografi dan morfologi

Secara Fisiografis Provinsi Lampung umumnya terbagi dalam tiga lajur batuan, yaitu Lajur Bengkulu, Lajur Bukit Barisan, dan Lajur Jambi Palembang (Mangga dkk., 1994) (**Gambar 2**). Secara morfologi Provinsi Lampung berada di Pulau Sumatera bagian selatan yang umumnya terdiri dari tiga bentang alam yaitu morfologi pantai berbukit sampai dataran di bagian barat, pegunungan hingga dataran di bagian tengah-baratdaya dan morfologi dataran bergelombang di bagian timur-timurlaut (Mangga dkk., 1994). Berdasarkan Mangga dkk (1994) daerah penelitian berada pada lajur bukit barisan dengan kondisi fisiografi bergelombang bergelombang memanjang. Berikut merupakan peta fisiografi yang terlampir.



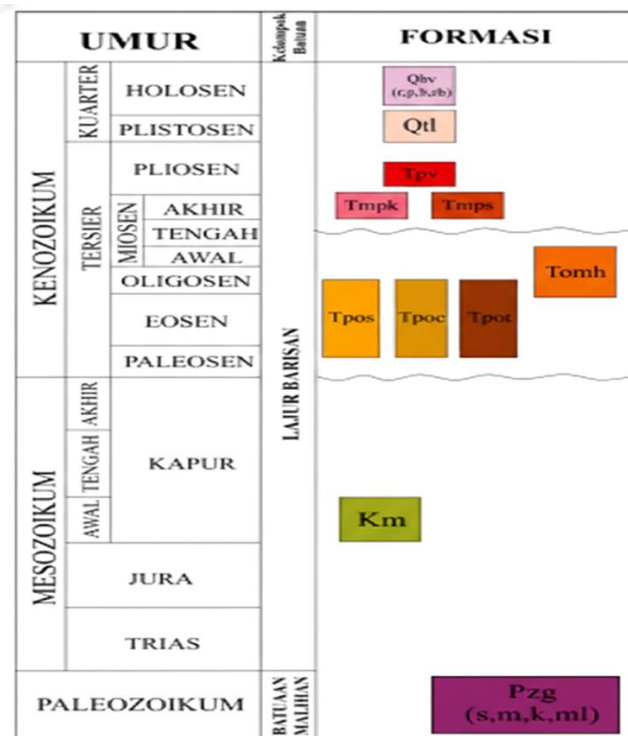
Gambar 2. Peta fisiografi Lampung (Modifikasi Mangga dkk., 1994)

Pada pembagian fisiografi wilayah Lampung, daerah penelitian termasuk Lajur Bukit Barisan pada Zona Pegunungan dengan morfologi berupa pegunungan dan kerucut gunungapi (**Gambar 2**). Batuan yang menyusun morfologi ini termasuk jenis batuan malihan dan batuan beku serta batuan vulkanik muda (Mangga dkk, 1993). Jajaran Bukit Barisan memiliki topografi beraneka ragam yang dominan 9 perbukitan kasar mencapai 500 m di atas muka laut, terdiri dari gunungapi Tersier

dan Kuarter serta batuan terobosan (Mangga dkk, 1994). Pada lokasi penelitian, seluruhnya tersusun oleh produk hasil gunungapi yang memiliki kenampakan morfologi berupa perbukitan yang curam.

2.3 Stratigrafi Daerah Penelitian

Untuk mengetahui umur pada setiap formasi yang ada di daerah penelitian, diperlukan skala waktu geologi untuk menggambarkan prakiraan yang lebih terukur. Stratigrafi pada daerah penelitian memiliki umur batuan yang bervariasi. Pada Alluvium (Qa) tersusun pada zaman holosen dengan periode kuarter. Sementara Endapan Gunungapi Gunung Betung (Qhv) tersusun pada zaman holosen juga dengan periode kuarter dan terbentuk sedikit lebih lama daripada Alluvium (Qa). Selanjutnya pada Formasi Lampung (QTI) terbentuk mulai dari zaman pliosen akhir hingga pleistosen dengan periode peralihan dari tersier ke kuarter. Lalu pada Formasi Tarahan (Tpot) diperkirakan terbentuk pada zaman paleosen hingga zaman oligosen awal dengan periode tersier. Sementara itu pada Sekis Way Galih dan Kuarsit Sidodadi (Pzgz) masing-masing terbentuk pada era paleozoikum.



Gambar 3. Stratigrafi regional batuan malihan dan lajur barisan pada lembar peta geologi Tanjungkarang (Mangga dkk., 1993).

Berdasarkan korelasi satuan stratigrafi batuan disebutkan bahwa Formasi paling tua pada daerah penelitian adalah Formasi Tarahan (Tpot). Selanjutnya, terendapkan secara luas satuan Formasi Lampung (QTI), dan yang terakhir terendapkannya produk gunungapi muda (Qhv) pada saat Holosen. Berikut merupakan formasi daerah penelitian yang tertera sebagai berikut:

1. Formasi Tarahan (Tpot)

Formasi Tarahan tersusun oleh batuan tuf padu, breksi dengan sisipan rijang, breksi tufaan dengan sedikit lava andesit basal. Formasi ini diendapkan secara sejajar bersama Formasi Sabu dan Formasi Campang.

2. Formasi Lampung (QTI)

Formasi Lampung merupakan satuan batuan piroklastik yang tersebar luas di daerah Lampung. Sebelum namanya Formasi Lampung, Formasi ini awalnya bernama tuf Lampung dimana endapannya terbentuk di darat, daerah fluvial dan muara. Formasi ini tersusun dari batuan tuf riolitik, tuf padu, tuf berbatu apung, batu lempung tufan dan batu paris tufan. Diperkirakan ketebalan formasi ini sekitar 200 meter.

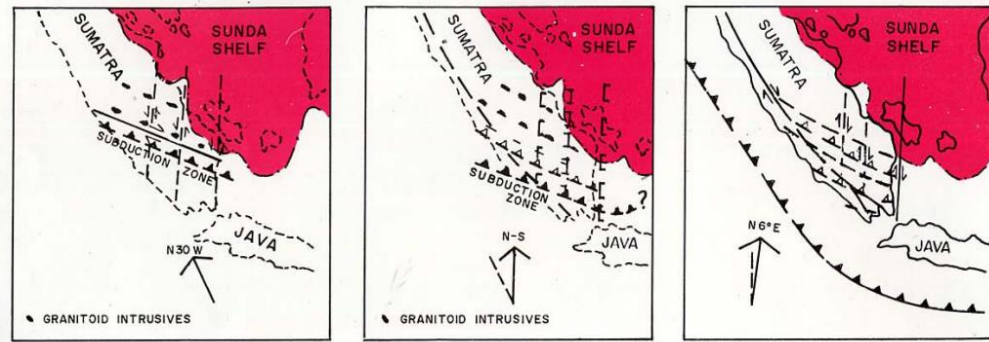
3. Endapan Gunungapi Muda (Qhv)

Endapan Gunungapi Muda tersusun oleh batuan lava andesit-basal, tuf dan breksi yang bersumber dari Gunung Ratai, Gunung Pesawaran, Gunung Betung dan Gunung Rajabasa. Formasi ini berumur Holosen dan tersebar di sekitar gunung asal sumber endapan.

2.4 Struktur dan Tektonik Regional

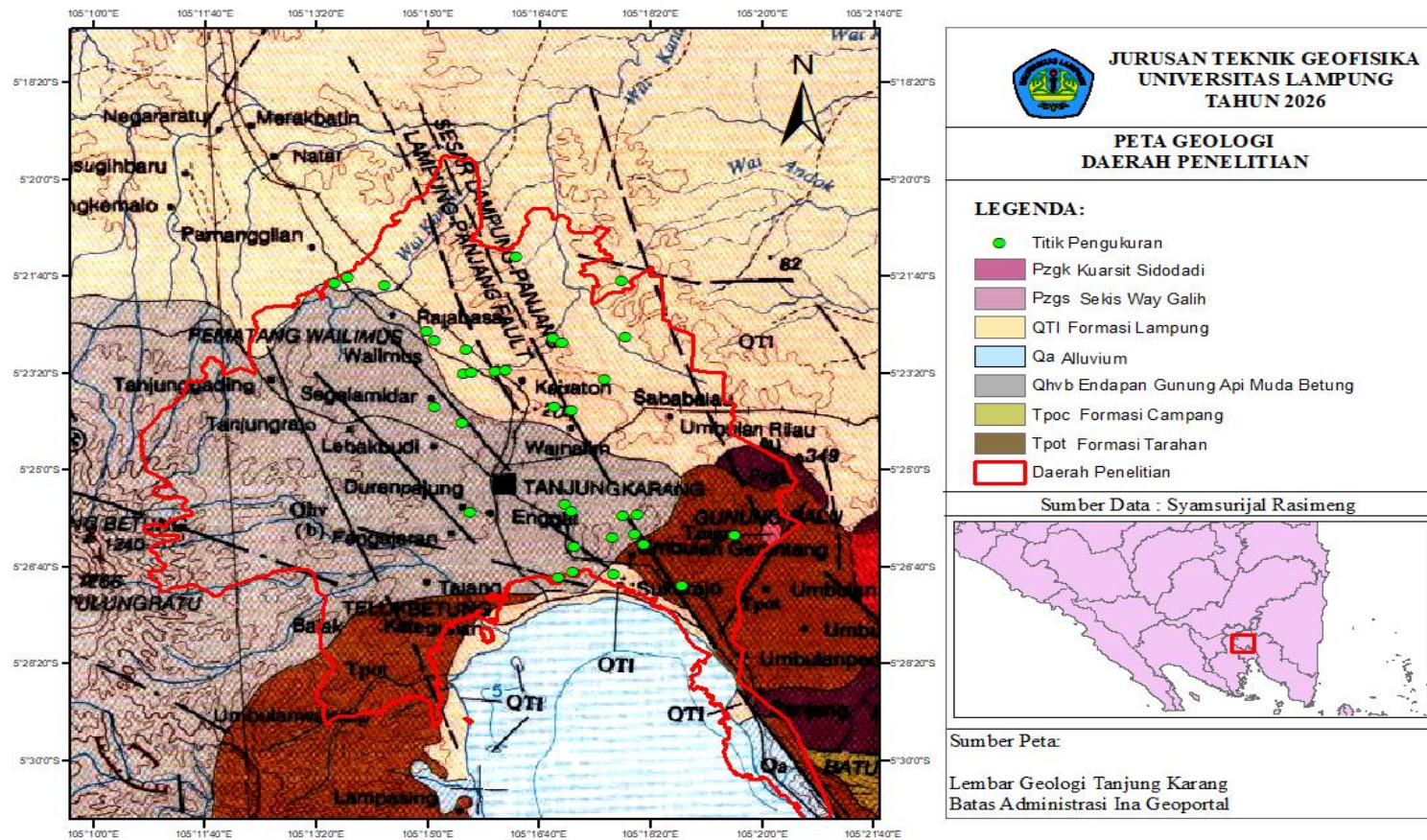
Secara umum, Sumatera bagian selatan yang mencakup daerah Lampung memiliki perkembangan struktur meliputi peristiwa – peristiwa tektonik sejak Paleozoikum Akhir sampai Holosen. Beberapa struktur seperti sesar dan lipatan pada umumnya merupakan produk kala Tersier Akhir – Kuartar Awal. Salah satu peristiwa tektonik yang terjadi adalah peristiwa *subduksi* yang memiliki penunjaman ke bawah Sumatera selama Tersier Awal hingga *regresi* telah menimbulkan busur magma yang luas di sepanjang Pegunungan Barisan dan terjadi tumbukan antar busur dengan Sumatera bagian barat (Hamilton, 1989).

Selama Eosen, terjadi peristiwa tumbukan antara lempeng India dan Eurasia, serta terjadi pengangkatan kembali gerakan lempeng yang bersamaan. Eosen Akhir terjadi lagi peristiwa penunjaman perluasan busur belakang, sementara pada Oligosen Akhir terjadi pengangkatan yang dibuktikan dengan adanya ketidak selarasan.



Gambar 4. Tatanan tektonik Sumatera bagian Selatan (Pulunggono, 1992)

Singkatnya perkembangan struktur geologi Sumatera bagian Selatan telah mengalami seperti pada **Gambar 4**. (a) Fase kompresional zaman Jura Akhir – Kapur Awal, (b) Fase ekstensional zaman Kapur Akhir – Tersier Awal, (c) Fase kompresional zaman Miosen Tengah - Resen (Pulunggono, 1992).



Gambar 5. Peta geologi daerah penelitian

Daerah Lampung tidak terlepas dari hubungannya dengan sesar tektonik aktif Sumatera yang dikenal dengan Sesar Semangko. Panjang sesar aktif tersebut sekitar 1.700 km yang terbagi menjadi 11 segmen segmen utama. Lampung terpotong oleh patahan – patahan besar memanjang berarah barat laut – tenggara. Keberadaan struktur geologi yang berupa sesar dan kekar dapat dengan mudah ditemukan tetapi struktur perlipatan tidak ditemukan di daerah ini karena sebagian besar penyusun batuan daerah ini merupakan batuan yang tidak mudah terlipatkan seperti lava, tuf, breksi, dan produk vulkanik lainnya.

Berdasarkan peta geologi regional Lembar Tanjungkarang (Mangga dkk., 1993), struktur regional yang berkembang pada daerah penelitian berupa indikasi Sesar Menganan dari kemenerusan Sesar Menganan Tanjungkarang yang berada pada timur laut daerah penelitian dan gawir pada Formasi Tarahan berada pada barat daya daerah penelitian.

2.5 Vulkanisme Pulau Sumatera dan Lampung

Kegiatan magmatisme dan vulkanisme di sebagian besar wilayah Indonesia, terutama dari Pulau Sumatera, Pulau Jawa, hingga Nusa Tenggara, berkaitan dengan penunjaman kerak Samudera India di bawah kerak Benua Asia. Magma yang terbentuk itu mempunyai kecenderungan untuk bergerak naik ke permukaan bumi. Ketika magma mencapai permukaan, akan terjadi erupsi gunungapi (Bronto, 2010).

Berdasarkan catatan waktu terakhir dari suatu erupsi gunungapi, Tipe gunungapi dapat dibagi menjadi 3 (Koesoemadinata, 1979), yaitu:

1. Tipe A, merupakan tipe gunungapi yang mengalami letusan sejak tahun 1600.
2. Tipe B, merupakan tipe gunungapi yang mengalami letusan sebelum tahun 1600.
3. Tipe C, merupakan tipe gunungapi yang tidak memiliki catatan letusan, tetapi masih membentuk manifestasi aktivitas vulkanik seperti fumarola atau solfatara.

Berdasarkan pada bentuk tubuhnya, aktivitasnya dan tatanan tektoniknya, serta material yang dihasilkannya, gunung api dibedakan dalam 3 tipe (Mulyaningsih & Sanyoto, 2012), yaitu:

1. Tipe komposit (*strato*) adalah gunung api yang tubuhnya tersusun oleh material hasil erupsinya yang bersusunan secara berlapis-lapis yang dihasilkan selama aktivitasnya (MacDonald, 1972). Material yang menyusunnya adalah piroklastika, koheren lava dan lahar. Tubuh gunung api komposit terdapat rusuk-rusuk yang dibentuk oleh batuan beku intrusi dangkal, seperti intrusi gang, sill, retas, lakolit dan lapolit. Gunung api komposit dengan afinitas magma basa intermediet memiliki durasi waktu aktif hingga 1,3 juta tahun dan intermediet asam dapat mencapai 1,8 juta tahun (Ferrari dkk., 1995)
2. Gunung api tipe perisai terbentuk pada daerah pemekaran lantai samudera, dengan tipe magma ultra basa. Aktivitasnya didominasi oleh erupsi-erupsi efusif dengan lava yang sangat encer, dengan durasi waktu aktif hingga 6,2 juta tahun (Ferrari, 1995)
3. Gunung api tipe maar (*monogenetik*) terbentuk hanya oleh sekali erupsi, biasanya erupsinya berlangsung secara eksplosif, menghasilkan material fragmental dengan volume yang besar. Karena hanya berlangsung sekali, maka geomorfologinya sering membentuk cekungan lingkaran atau setengah lingkaran (Mulyaningsih & Sanyoto, 2012).

Pulau Sumatera terbentuk sebagai hasil dari interaksi antara kerak Benua Sundaland dengan kerak Samudra Hindia. Proses tersebut membagi Pulau Sumatera menjadi 3 fase tektonik yaitu koalisi antara blok Sibumasu dan Indo-China, Sesar mendatar antara blok Sibumasu dan blok Sumatra Barat dan Pengangkatan antar blok Sumatra Barat dan Woyla (Barber & Milsom, 2005).

Sesar aktif Semangko merupakan rangkaian struktur sesar geser yang menghasilkan zona lemah sehingga menjadi jalan keluarnya magma pada aktivitas vulkanisme yang menghasilkan jajaran pegunungan barisan (Ramdhani, 2021).

Hal tersebut memicu terjadinya aktivitas magmatisme dan vulkanisme di Sumatra sejak Tersier hingga saat ini (Mangga dkk., 1994).

Lampung merupakan provinsi yang terletak di bagian selatan Pulau Sumatera yang memiliki morfologi pegunungan dan perbukitan pada bagian barat. Morfologi tersebut termasuk kedalam busur vulkanik. Salah satu gunungapi yang terletak di Provinsi Lampung dan termasuk kedalam busur vulkanik ialah Gunung Betung. Gunung Betung merupakan gunungapi *strato* dengan tipe gunungapi C.

2.6 Sesar Lampung - Panjang

Sesar Lampung–Panjang merupakan salah satu struktur geologi utama yang terdapat di wilayah Kota Bandar Lampung dan sekitarnya. Sesar ini memiliki arah dominan barat laut–tenggara (NW–SE) dan memanjang dari daerah Panjang hingga ke arah barat laut Kota Bandar Lampung (Sulandari et al., 2023). Struktur kelurusan ini tampak jelas pada citra morfologi dan peta anomali medan magnet, menunjukkan adanya zona patahan yang cukup panjang dan kontinu di bawah permukaan (Rasimeng et al., 2023).

Selain arah utama NW–SE, ditemukan juga beberapa kelurusan sekunder berarah timur laut–barat daya (NE–SW), yang kemungkinan merupakan Sesar antitetik atau Sesar pengiring dari struktur utama (Tarigan & Ekawati, 2020). Keberadaan kelurusan ini mendukung interpretasi bahwa Sesar Lampung–Panjang merupakan bagian dari sistem sesar kompleks yang berkembang di bagian selatan Pulau Sumatra.

Sebaran seismisitas di daerah Lampung dari tahun 1960 hingga 2000 menunjukkan ada 3 lokasi pusat gempa, yang pertama berada di dekat Teluk Lampung yang berdekatan dengan Sesar Lampung - Panjang, yang kedua berada di lepas pantai yang berkaitan dengan lajur Sesar Sumatra Segmen Semangko dan yang terakhir berada di bagian barat yang bertepatan dengan lajur zona subduksi (Huda & Munir, 2017).

Struktur sesar ini juga memengaruhi kondisi geomorfologi daerah sekitarnya, yang dicirikan oleh bentuk lahan bergelombang dan adanya perbedaan elevasi mencolok antara sisi utara dan selatan sesar (Tarigan & Ekawati, 2020). Kondisi ini memperkuat dugaan bahwa sesar Lampung–Panjang masih aktif secara tektonik.

Sesar Lampung–Panjang memiliki peran penting dalam dinamika geologi Lampung bagian selatan. Selain berpotensi menjadi sumber gempa lokal, struktur ini juga memengaruhi kestabilan lereng dan risiko gerakan massa di sepanjang jalurnya. Daerah dengan morfologi perbukitan seperti Gunung Sulah dan Gunung Banten menunjukkan anomali magnetik rendah serta indikasi pelapisan batuan yang terpotong oleh sesar (Rasimeng et al., 2023).

Penelitian zonasi gerakan massa di sepanjang jalur sesar ini menunjukkan bahwa area sekitar jalur sesar memiliki potensi longsor tinggi karena kombinasi faktor morfologi, litologi, dan aktivitas tektonik (Wahyudi et al., 2023). Oleh karena itu, keberadaan sesar Lampung–Panjang perlu diperhatikan dalam perencanaan tata ruang dan mitigasi bencana di Kota Bandar Lampung.

2.7 Studi Terdahulu

Daerah penelitian ini berada di wilayah administrasi Kota Bandar Lampung, Provinsi Lampung, yang berada pada Kecamatan Teluk Betung Selatan, Kecamatan Tanjung Karang Pusat, Kecamatan Rajabasa. Secara stratigrafi penelitian ini berada pada Satuan Gunung Api Muda (Qhv) Terdiri dari lava andesit- basa, bereksi dan tuf. Pengukuran metode seismik untuk mitigasi bencana alam ini dengan menggunakan teknik metode (*multi-channel analysis of surface waves*) atau MASW. Hasil dari penelitian tersebut yaitu *Site class* S1 yang berada pada timur dan selatan Kota Bandar Lampung dengan kandungan alluvium dengan variasi ketebalan yang tinggi. *Site class* B dengan jenis tanah keras terletak pada titik pengukuran TB_15 dengan rata-rata nilai V_S 589,09 m/s dan *site class* S1 dengan jenis tanah lunak terletak pada titik pengukuran KT_01 dengan rata-rata nilai V_S 223,16 m/s. Daerah selatan Kota Bandar Lampung meliputi Kecamatan Teluk

Teluk Betung memiliki tingkat kerawanan yang tinggi saat terjadi guncangan gempa bumi dikarenakan adanya lapisan *poor consistency* (Rasimeng dkk., 2017).

Pengukuran mikrotremor dilakukan di Bandar Lampung pada 135 titik pengukuran dengan *accelerograf tipe strong motion* Ref-Tek 130-SMHR (3 komponen). Sebaran nilai frekuensi dominan $1,33 < f_0 < 5$ Hz tersebar di wilayah barat dan timur Kota Bandar Lampung. Bila dilihat dari satuan morfologi wilayah Bandar Lampung, wilayah tersebut merupakan satuan morfologi dataran rendah, perbukitan bergelombang dan pegunungan. Frekuensi dominan ini tersebar di perbukitan bergelombang dan lereng pegunungan. Selain itu, meliputi beberapa Kecamatan yaitu Sukarame, Sukabumi, Betung Barat, Kemiling, dan Kedaton Utara. Wilayah tersebut menurut Kanai termasuk tipe 2 dengan indikasi ketebalan sedimen 5-10 meter. Persebaran frekuensi dominan dengan nilai > 5 Hz tersebar di daerah perbukitan di lereng perbukitan berbatu di Kecamatan Kemiling dan lereng perbukitan berbatu di Teluk Betung Timur yang merupakan daerah pertambangan batu, sehingga menghasilkan nilai frekuensi dominan yang tinggi. Dengan demikian, menurut Kanai, daerah tersebut termasuk tipe 1, dengan indikasi ketebalan sedimen kurang dari 5 meter. Berdasarkan metode HVSR, Kota Bandar Lampung mempunyai sebaran frekuensi dominan yang beragam, yaitu frekuensi dominan rendah sampai dengan frekuensi dominan tinggi. Namun didominasi oleh jenis tanah sangat lunak dengan frekuensi dominan $< 1,33$ Hz. Hal ini menunjukkan Kota Bandar Lampung memiliki kerentanan yang tinggi terhadap gempa bumi. Berdasarkan analisis peta frekuensi dominan, wilayah yang mempunyai risiko paling tinggi adalah Kecamatan Panjang, Bumiwaras, Telukbetung Utara, Teluk Betung Selatan, Telukbetung Timur, Tanjungkarang Pusat, Tanjungkarang Barat, Rajabasa, Enggal, Langkapura, Kedamaian, Wayhalim, dan Kedaton (Haerudin dkk., 2020).

Daerah penelitian secara geografis berada di Kota Bandar Lampung, Provinsi Lampung. Penelitian ini dilakukan di area pembangunan RSP Unila, dengan melakukan pengukuran metode mikrotremor sebanyak 10 titik dengan 2 lintasan. Pengukuran di lapangan menggunakan alat Reftek Seismometer dengan durasi pengukuran 20-30 menit. Hasil dari penelitian tersebut yaitu memiliki nilai

frekuensi dominan berkisar antara 0,65-1,2 Hz yang mengindikasikan ketebalan sedimen per- mukaannya lebih dari 30 meter. Daerah penelitian mempunyai nilai periode dominan di antara 0,6–1,5 sekon dan dengan indikasi karakter jenis batuan sedimennya sangat lunak berupa batuan alluvial, yang terbentuk dari sedimentasi delta, lumpur. Nilai amplifikasi 3,33–5,62 kali dan merupakan daerah dengan kategori resiko sedang dan daerah yang rentan ketika terjadi gempa bumi ditandai dengan lapisan sedimen yang tebal dan lunak serta nilai amplifikasi menengah (Hesti dkk., 2021).

Pengukuran data mikrotremor dilakukan di Kecamatan Tanjung Karang Timur yang merupakan salah satu kecamatan di Bandar Lampung, Ibukota Provinsi Lampung. Metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr) dapat diaplikasikan pada perekaman mikrotremor untuk mengekstrak informasi yang berguna mengenai gempa bumi dan rekayasa geoteknik. EMD menghasilkan beberapa IMF dan deret waktu residual. Kami menyimpulkan bahwa semakin tinggi angka IMF, semakin rendah frekuensi dominan. IMF tidak dapat dikaitkan sebagai sumber *osilasi* tunggal karena hasilnya menunjukkan bahwa IMF mengandung lebih dari satu puncak frekuensi. EMD tidak dapat menguraikan frekuensi sinyal sintesis yang memiliki beberapa frekuensi yang nilainya saling berdekatan. Penghapusan IMF 1 yang dihasilkan oleh metode EMD dapat meningkatkan kualitas data mikrotremor karena penghapusan beberapa data *transien*. *Transien* ini dapat dikaitkan dengan *noise* pada frekuensi yang lebih tinggi yang berasal dari lokal. Hal ini juga dapat menurunkan *deviasi* standar maksimum kurva HVSr. Setelah dilakukan metode HVSr untuk menghilangkan data IMF 1 dan IMF 2, baik frekuensi dominan maupun faktor amplifikasi mengalami penurunan. Hal ini juga menunjukkan bahwa data IMF 1 yang dihilangkan memiliki perubahan yang lebih kecil baik untuk frekuensi fundamental maupun faktor amplifikasi dibandingkan dengan data IMF 2 yang dihilangkan (Ipmawan dkk., 2021).

Penelitian di daerah bandar lampung yang bertujuan untuk mendeteksi struktur geologi dan cekungan airtanah di wilayah Selatan Kota Bandar Lampung sebanyak 83 titik pengukuran. Metode inversi yang digunakan dalam penelitian ini adalah PSO. Algoritma ini dipilih karena merupakan pendekatan global yang menghindari

terjebak pada solusi lokal minimum serta relatif cepat dan stabil. Terkait hal tersebut, struktur V_S yang diperoleh dari inversi kurva HVSR ditampilkan dalam model dua dimensi (2D) baik secara lateral maupun vertikal (*cross section*). Berdasarkan hasil inversi yang telah dilakukan, profil kurva V_S rata-rata terhadap kedalaman menunjukkan nilai yang semakin besar seiring dengan bertambahnya kedalaman. Pada kedalaman V_S dangkal (0–5 m), kecepatannya sangat rendah, yaitu kurang dari 330 m/s, yang menunjukkan bahwa terdiri dari lapisan/lapisan lunak (*weathered layer*). Lapisan batuan keras ($V_S > 1250$ s) terlihat pada kedalaman > 100 m. Berdasarkan model lateral 2D, Kota Bandar Lampung terbagi menjadi dua zona batuan dengan arah batas barat laut-tenggara. Bagian Utara – Tengah - Timur memiliki anomali V_S yang lebih tinggi, berkisar antara 30 hingga 100 m. Dengan demikian, wilayah Selatan – Tengah - Barat merupakan cekungan airtanah dengan ketebalan lapisan sedimen > 100 m (Zaenudin dkk., 2024).

III. TEORI DASAR

3.1 Gempabumi

Gempabumi adalah getaran atau guncangan pada permukaan bumi yang disebabkan oleh getaran energi bawah permukaan akibat patahan aktif, aktivitas gunung api, subduksi antar lempeng bumi dan runtuhannya atau tanah longsor. Gempabumi diklasifikasikan menjadi dua kelompok, dimana gempabumi vulkanik terjadi karena adanya aktivitas magma tinggi dan memicu erupsi yang dapat menimbulkan gempabumi. Sedangkan gempabumi tektonik terjadi karena adanya aktivitas tektonik seperti pergeseran antar lempeng secara mendadak dengan skala kecil hingga sangat besar (Suharno dan Darmawan, 2018).

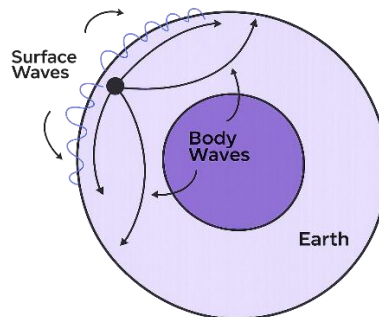
Permukaan bumi terdiri dari beberapa lempeng tektonik yang merupakan bagian dari litosfer yang padat, yaitu segmen keras dari kerak bumi. Lempeng-lempeng ini berada di atas astenosfer yang cair dan panas, memungkinkan mereka bergerak bebas dan saling berinteraksi. Interaksi ini menghasilkan getaran yang disebut gempa bumi. Selain pergerakan lempeng, terdapat juga patahan atau retakan pada permukaan bumi yang dikenal sebagai Sesar (*fault*) yang dapat menyebabkan gempa bumi (Damayanti, 2022)

3.2 Gelombang Seismik

Gelombang seismik adalah gelombang mekanik yang merambat di dalam bumi dan memerlukan medium untuk merambat. Gelombang ini biasanya terjadi akibat *deformasi* struktur bawah permukaan bumi karena tekanan atau tarikan, yang sering disebabkan oleh aktivitas vulkanik, ledakan buatan, atau gempa bumi. Gelombang

bumi. Gelombang seismik, juga dikenal sebagai gelombang elastik, membawa energi yang menjalar ke segala arah di seluruh bagian bumi. Gelombang ini disebut elastik karena *osilasi* partikel medium terjadi akibat interaksi antara *gradien stress* dan gaya elastik. Gelombang seismik ini di klasifikan menjadi dua yaitu gelombang badan (*body waves*) yang menjalar di dalam bumi dan gelombang permukaan (*surface waves*) yang menjalar hanya pada permukaan bumi (Arintalofa dkk., 2020).

Dalam penerapannya di bidang geofisika, penggunaan gelombang seismik memberikan kontribusi yang signifikan terhadap kebutuhan penyelidikan permukaan. Penggunaan gelombang seismik yang merambat secara mekanis dalam suatu medium dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu gelombang badan (gelombang primer /*compression waves*) dan gelombang sekunder/*shear waves*) dan gelombang permukaan (gelombang *rayleigh* /gelombang *love*). Ketika energi mekanik diterapkan pada permukaan suatu medium, kedua jenis gelombang tersebut merambat dengan besaran energi, bentuk perpindahan partikel gelombang, dan arah rambat yang berbeda (Rosyidi, 2006).



Gambar 6. Gelombang badan dan gelombang permukaan (Ammon dkk., 2005)

3.2.1 Gelombang Badan

Gelombang badan merupakan gelombang yang menjalar dalam media elastis dan arah perambatannya ke seluruh bagian dalam bumi. Berdasarkan arah penjalarnya gelombang ini dibedakan menjadi gelombang primer (*P*) dan gelombang sekunder (*S*). Gelombang *P* disebut dengan gelombang *longitudinal* yang dapat merambat melalui medium padat dan cair seperti lapisan batuan air atau

lapisan cair bumi (Elnashai dan Sarno, 2008). Gelombang Badan terbagi atas gelombang primer (P) dan gelombang sekunder (S) yang keduanya saling berkaitan untuk mendapatkan rasio V_p/V_s . Kecepatan gelombang-p dari material dikenal sebagai V_p , yang didapatkan persamaannya berdasarkan bentuk modulus geser (G) dan poisson ratio (σ) sebagai berikut:

$$V_p = \sqrt{\frac{G(2-2\sigma)}{\rho(1-\sigma)}} \quad (1)$$

Ketika poisson ratio (ν) mendekati 0,5, maka nilai V_p dapat mendekati tak terhingga. Sementara itu, kecepatan gelombang s dari material disebut dengan V_s yang merupakan representasi dari gelombang *torsional*.

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

Dimana keterkaitan antara kecepatan gelombang s (V_s) dan modulus geser (G) telah banyak digunakan dalam uji lapangan. Setelah didapatkan persamaan untuk gelombang p dan gelombang s, keduanya dilakukan distribusi untuk mendapatkan V_p / V_s .

$$\frac{V_p}{V_s} = \sqrt{\frac{2-2\sigma}{1-\sigma}} \quad (3)$$

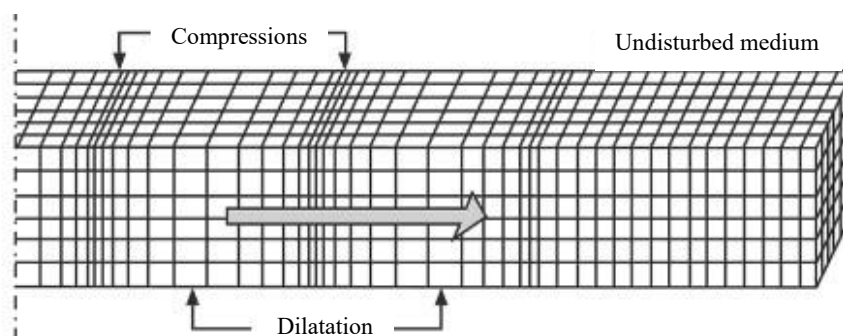
Secara sederhana, hanya ada dua jenis gelombang yang bisa merambat di dalam benda padat elastis yang tidak terbatas, yaitu gelombang badan (gelombang-P dan gelombang-S). Gelombang P merambat tanpa menyebabkan putaran pada material dan memiliki kecepatan tertentu. Sementara itu, Gelombang S menyebabkan *deformasi* atau perubahan bentuk, dan kecepatannya berbeda dibandingkan Gelombang P. Perbedaan utama antara keduanya terletak pada jenis *deformasi* yang ditimbulkan dan kecepatan rambatnya. Kecepatan Gelombang P melebihi kecepatan Gelombang S dengan jumlah bergantung pada *kompresibilitas* benda tersebut. Untuk *poisson ratio* yang umum pada kondisi geologi yaitu 0,3, dengan rasio V_p / V_s berada di nilai 1,87 (Kramer, 1996). Hubungan antara kecepatan gelombang primer (P) dan gelombang sekunder (S) pada berbagai kondisi lingkungan dan litologi digunakan untuk menentukan hubungan non-linier pada kerak bumi.

$$V_p = 0,9409 + 2,0947V_s^1 - 0,8206V_s^2 + 0,2683V_s^3 - 0,0251V_s^4 \quad (4)$$

Dimana V_p dan V_s dalam satuan km/s. Persamaan diatas dapat digunakan untuk berbagai kondisi litologi (kecuali batuan kaya kalsium, mafik, gabro, dan serpentinit) dengan nilai V_s valid diantara 0 – 4,5 km/s. Persamaan tersebut cenderung non-linear sehingga rasio V_p/V_s bisa saja sangat tinggi jika nilai $V_s < 1$ km/s (Brocher, 2005).

a. Gelombang Primer

Gelombang P merambat di media apapun (padat, cair, gas). Pergerakan partikel melalui suatu medium terjadi searah dengan arah rambat gelombang. Gelombang P mendorong dan menarik Batu seperti gelombang suara yang mendorong dan menarik udara (**Gambar 7.**). Gelombang ini mempunyai kecepatan rambat paling cepat dibandingkan gelombang seismik lainnya. Gelombang ini disebabkan oleh tekanan. mempunyai kecepatan yang lebih cepat, sehingga akan sampai lebih cepat dibandingkan gelombang S. Kecepatan gelombang primer adalah $\pm 5-7$ km/s dalam kerak bumi, >8 km/s dalam mantel dan inti bumi, serta $\pm 1,5$ km/s dalam air, dan $\pm 0,3$ km/s di udara (Kiswiranti, 2019)

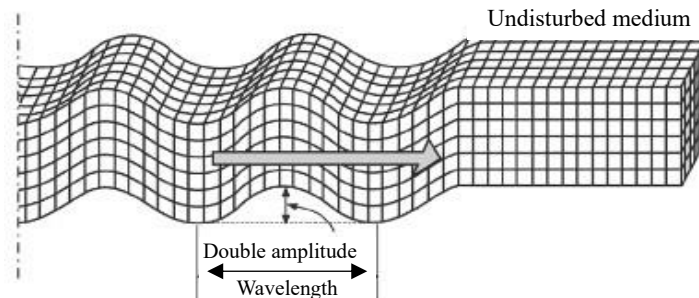


Gambar 7. Gelombang primer (Elnashai dan Sarno, 2008)

b. Gelombang Sekunder

Gelombang S hanya dapat merambat melalui media padat. Arah getaran partikel tegak lurus terhadap arah rambat (**Gambar. 8**), dan bentuknya berubah tanpa mengubah volume. Gelombang seismik, bersama dengan gelombang P, merambat ke segala arah dari pusat gempa melalui lapisan litosfer dengan kecepatan 4 hingga 7 km/s. Karena gelombang ini tidak dapat

merambat melalui cairan, maka gelombang tersebut tidak terdeteksi di inti bumi bagian luar, namun dapat menembus inti bumi bagian dalam. Kecepatan gelombang sekunder adalah $\pm 3-4$ km/s dalam kerak bumi, $>4,5$ km/s dalam mantel bumi, dan $2,5-3$ km/s dalam inti bumi (Kiswiranti, 2019).



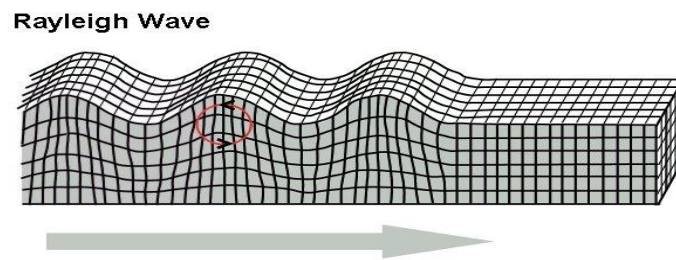
Gambar 8. Gelombang sekunder (Elnashai dan Sarno, 2008)

3.2.2 Gelombang Permukaan

Dalam Susilawati (2008), gelombang permukaan ini ada pada batas permukaan medium. Berdasarkan sifat gerak partikel media elastik, gelombang permukaan ialah gelombang kompleks dengan frekuensi rendah dan amplitude besar yang merambat melalui efek permukaan bebas ketika ada perbedaan sifat elastik (Kiswiranti, 2019).

a. Gelombang *Rayleigh*

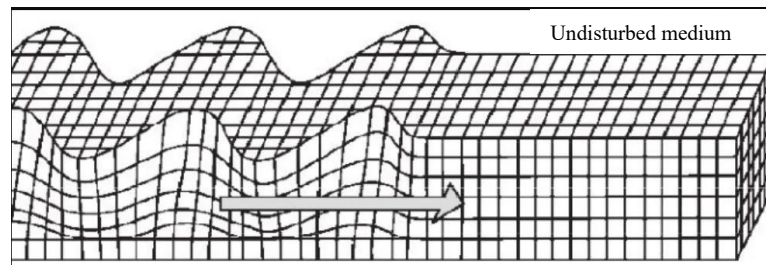
Gelombang *Rayleigh* merupakan gelombang yang terpandu pada permukaan bebas (*free boundary*) medium berlapis maupun homogen. Gelombang ini memiliki kecepatan $\pm 2 - 4,2$ km/s di dalam bumi dengan arah rambat bergerak tegak lurus terhadap arah rambat serta searah bidang datar (*eliptik retrograd*). Gelombang *Rayleigh* merupakan gelombang permukaan yang terjadi akibat adanya interferensi gelombang pantul P dan SV yang sudutnya melebihi sudut kritis sehingga amplitudonya akan berkurang terhadap kedalaman (Kiswiranti, 2019).



Gambar 9. Gelombang *rayleigh* (Elnashai dan Sarno, 2008)

b. Gelombang *Love*

Dalam Hidayati (2010), Gelombang *Love* ialah gelombang yang arah rambat dari partikelnya bergetar melintang terhadap arah penjarannya seperti gelombang SH, tetapi amplitudonya berkurang terhadap kedalaman. Gelombang tersebut terbentuk akibat adanya interferensi gelombang pantul SH pada suatu lapisan di dekat permukaan bumi. Kecepatan gelombang ini pada permukaan bumi adalah $\pm 2-4,4$ km/s dan termasuk ke dalam gelombang *transversal* (Kiswiranti, 2019).



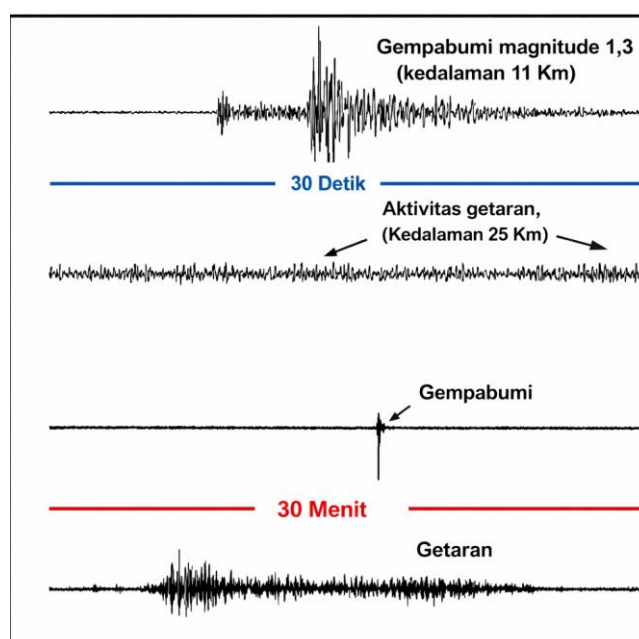
Gambar 10. Gelombang *love* (Elnashai dan Sarno, 2008)

3.3 Mikrotremor

Mikrotremor dalam Kanai (1983) merupakan getaran tanah yang sangat kecil dan terus menerus yang disebabkan oleh berbagai jenis getaran seperti lalu lintas, angin, dan aktivitas manusia. Kajian dengan menggunakan mikrotremor memungkinkan penentuan sifat-sifat lapisan tanah berdasarkan parameter periodik dominan dan faktor penguatan gelombang (amplifikasi). Mikrotremor mempunyai frekuensi lebih tinggi dibandingkan frekuensi gempa. Perekaman dengan mikrotremor yakni *array based (f-k methods, SPAC/Spatial Auto Correlation*, dan

Refraction Microtremor) serta *HVSR/Nakamura Methods* (Arintalofa dkk., 2020).

Mikrotremor pertama kali diperkenalkan oleh Aki dan Kanal (1957) dengan tujuan mempelajari dan menentukan sifat-sifat batuan sedimen, struktur tanah bawah permukaan, terkait dengan daerah dinamis titik pengukuran. Mikrotremor dapat digunakan untuk merancang bangunan tahan gempa dengan mengetahui frekuensi alami tanah setempat untuk menghindari resonansi. Selain itu, mikrotremor juga dapat digunakan untuk menentukan jenis tanah berdasarkan kekerasannya. Mikrotremor dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis berdasarkan rentang periodiknya. Tipe pertama adalah mikrotremor berdurasi pendek dengan periode kurang dari 1 detik dan berasosiasi dengan struktur bawah permukaan dangkal dengan ketebalan sedimen beberapa puluh meter. Sedangkan tipe kedua adalah mikrotremor berdurasi panjang dengan periode lebih dari 1 detik, yang berasosiasi dengan struktur tanah yang lebih dalam dan menandakan adanya *basement* yang terbuat dari batuan keras (Mirzaoglu dan Dikmen, 2003)



Gambar 11. Perbedaan sinyal tremor dan gempabumi (Haerudin dkk., 2019)

Mikrotremor dapat dipengaruhi oleh aktivitas manusia yang bisa memicu adanya getaran, namun hal tersebut berpengaruh sangat rendah terhadap mikrotremor dengan frekuensi dibawah 0,1 Hz dan sebaliknya. Sementara sumber mikrotremor yang berasal dari alam umumnya memiliki frekuensi dibawah 1 Hz

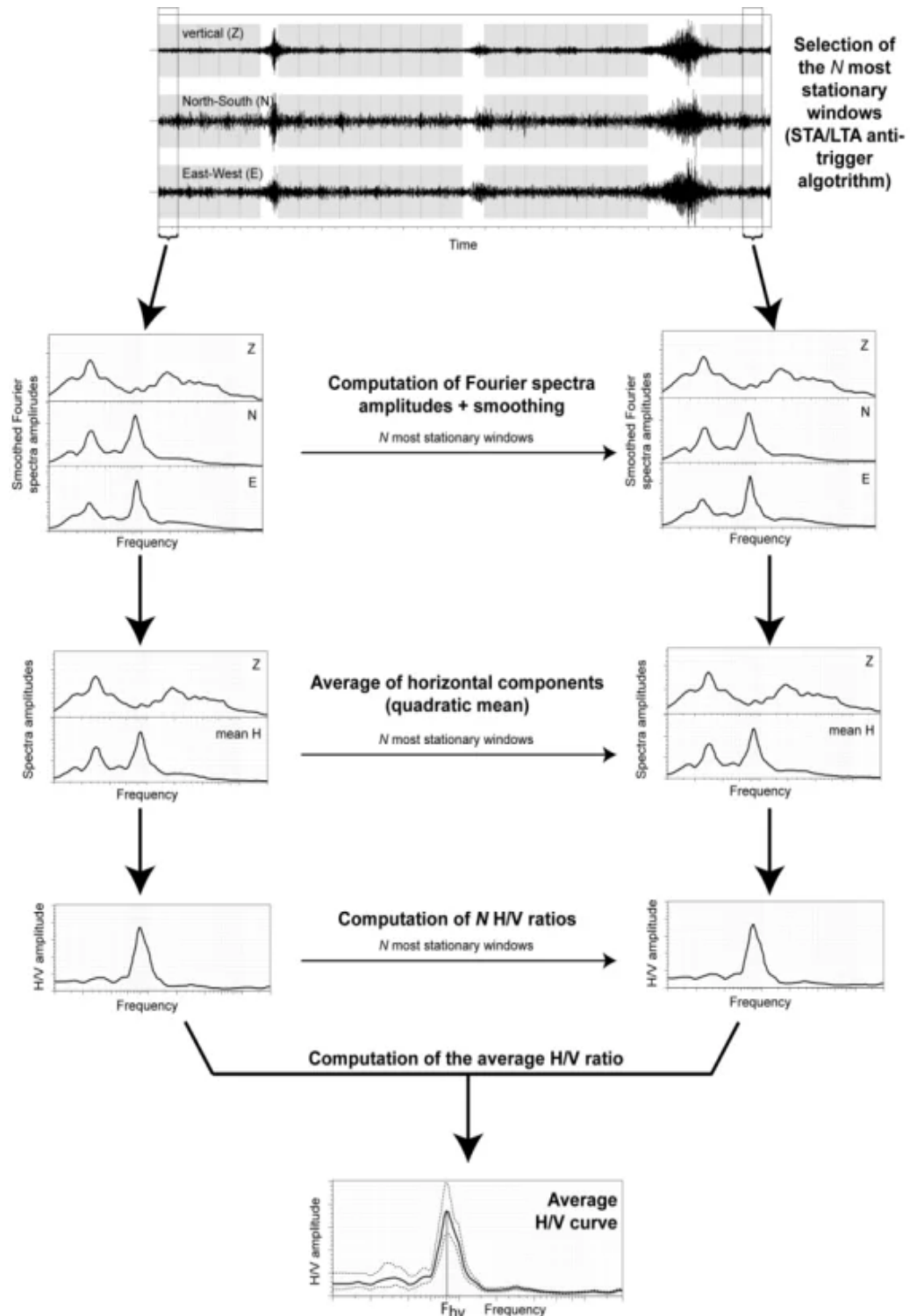
dan sebaliknya. Sementara sumber mikrotremor yang berasal dari alam umumnya memiliki frekuensi dibawah 1 Hz (gelombang laut, kondisi meteorologi luas). Pada frekuensi sedang antara 1-5 Hz, sumber mikrotremor berasal dari alam (kondisi meteorologi lokal) dan aktivitas manusia (kepadatan penduduk), serta pada frekuensi tinggi > 5 Hz sumber utamanya dipengaruhi oleh manusia (Haerudin dkk., 2019).

3.4 HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*)

Dalam menentukan karakterisasi lapisan bawah permukaan dapat dilakukan dengan pendekatan metode HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*). Metode yang dikembangkan pada 1971 oleh Nogoshi dan Irigashi ini, pada akhirnya disempurnakan oleh Nakamura (1989) kemudian lebih dikenal dengan Metode Nakamura. Metode ini efektif digunakan untuk mengetahui lapisan permukaan bawah tanah dalam skala luas sehingga digunakan untuk mengolah hasil perekaman dari seismogram. HVSR memberikan hasil informasi mengenai *site effect* suatu wilayah berdasarkan interpretasi kurva H/V yang memberikan informasi kerentanan terhadap bahaya gempabumi (Narotama, 2011). Metode HVSR merupakan metode dari pengukuran gempa mikro (mikrotremor) untuk mendapatkan frekuensi dominan, frekuensi resonansi dan periode pada bawah permukaan. Dengan menggunakan metode ini dapat menentukan pergerakan tanah karena gempabumi dengan berbagai jangkauan amplitude mikrotremor. Penggunaan Metode HVSR apabila di kombinasikan dengan Metode MASW akan menciptakan akurasi tinggi pada nilai amplifikasi tanah (Rasimeng, 2023).

Teknik H/V dikembangkan dengan menghubungkan penyelidikan lubang bor dan juga hasil perekaman gerak yang kuat dengan mempertimbangkan aspek geologi dalam berbagai kondisi. Hipotesis pada kebisingan *ambien* dalam komponen vertikal tetap menjaga karakteristik sumber terhadap sedimen permukaan bawah tanah yang dipengaruhi oleh gelombang *rayleigh* pada lapisan sedimen dan sebab itu dapat digunakan untuk menghilangkan efek dan sumber gelombang *rayleigh* dari komponen *horizontal*. Pada dasarnya ini efektif untuk mengidentifikasi frekuensi dasar lapisan sedimen dengan amplifikasi yang lebih realistis. Selain itu, teknik ini menjelaskan pada frekuensi puncak kurva H/V

gelombang *rayleigh*, energi yang dihasilkan sangat minim hampir mendekati nol. Energi dari gelombang *rayleigh* mencapai maksimum ketika frekuensi mendekati kurva H/V sehingga puncak H/V tidak dapat dijelaskan oleh gelombang *rayleigh* (Nakamura, 2000).



Gambar 12. Deskripsi perhitungan rasio H/V (www.geopsy.org)

Secara umum mikrotremor tersusun atas banyak gelombang dimana gelombang *rayleigh* menjadi utamanya yang periode puncak rasio H/V sebagai dasar untuk periode gelombang geser (*S-waves*). Rasio H/V pada mikrotremor ialah perbandingan dari dua komponen yang memberikan nilai teoritis. Nakamura (2000) menjelaskan bahwa HVSR digunakan untuk menentukan faktor nilai periode dominan dan amplifikasi dari suatu wilayah sebagai perkiraan dari periode puncak rasio H/V mikrotremor (Sababurrohman, 2020).

Site effect (T_{SITE}) permukaan sedimen umumnya ditentukan oleh faktor amplifikasi pada lapisan sedimen memiliki gerakan horizontal dan vertikal yang bersentuhan langsung dengan batuan dasar, masing-masing dilambangkan dengan T_H dan T_V .

$$T_{SITE} = \frac{T_H}{T_V} \quad (5)$$

Besar amplifikasi horizontal dinyatakan dengan persamaan:

$$T_V = \frac{S_{HS}}{S_{HB}} \quad (6)$$

Besar amplifikasi vertikal dinyatakan dengan persamaan:

$$T_V = \frac{S_{VS}}{S_{VB}} \quad (7)$$

S_{HS} dan S_{VS} merupakan spektrum dari komponen gerak horizontal serta vertikal di permukaan tanah. Sementara S_{HB} dan S_{VB} merupakan spektrum dari komponen gerak horizontal serta vertikal pada dasar tanah.

Dengan gelombang *rayleigh* yang mendominasi dalam pengukuran mikrotremor dibanding gelombang lainnya, maka pengaruh gelombang *rayleigh* diambil dari faktor komponen horizontal dan vertikal. Pada pengukuran mikrotremor besar komponennya bernilai sama saat rentang frekuensi 0,2-20,0 Hz, sehingga rasio spektrum di komponen pada dasar tanah dinyatakan dengan persamaan:

$$\frac{S_{HB}}{S_{VB}} \approx 1 \quad (8)$$

Hasil dari *substitusi* persamaan diatas menjadi dasar perhitungan HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) yang dinyatakan dalam persamaan:

$$HVSR = T_{SITE} = \sqrt{\frac{f(S_{utara-selatan})^2 + (S_{barat-timur})^2}{S_{vertikal}}} \quad (9)$$

3.5 Frekuensi Dominan

Frekuensi dominan merupakan frekuensi yang nilainya sering muncul sehingga dikenal sebagai nilai frekuensi pada lapisan bawah permukaan pada wilayah dan nilai frekuensi tersebut dapat menunjukkan faktor tertentu seperti karakteristik serta jenis dari batuan di wilayah dengan geologi tertentu. Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Lachet dan Brad (1994) dengan uji simulasi menggunakan 6 model struktur geologi sederhana dan kombinasi variasi kontras kecepatan gelombang geser serta ketebalan lapisan soil. Hasil menunjukkan adanya besaran nilai puncak frekuensi yang berubah terhadap perbandingan kondisi geologi (Arifin dkk., 2014).

$$f_0 = \frac{\bar{v}_S}{4H} \quad (10)$$

Dimana \bar{v}_S dan H masing masing merupakan rata-rata kecepatan gelombang geser dan kedalaman lapisan sedimen.

Tabel 1. Klasifikasi tanah berdasarkan nilai frekuensi dominan oleh Kanai (BMKG, 1998)

Klasifikasi Tanah		Frekuensi Dominan (Hz)	Klasifikasi Kanai	Deskripsi
Tipe	Jenis			
Tipe IV	Jenis II	6,7 - 20	Batuan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan <i>hard</i> , <i>sand</i> dan <i>gravel</i>	Ketebalan sedimen permukaannya sangat tipis, di dominasi batuan keras
Tipe III	Jenis I	4 - 10	Batuan alluvial dengan ketebalan 5m. Terdiri dari <i>sandy-</i>	Ketebalan sedimen permukaannya masuk dalam

			<i>gravel, sandy hard clay, loam, dll</i>	kategori menengah 5-10 m
Tipe II	Jenis I	2,5 -4	Batuan alluvial dengan ketebalan >5m. Terdiri dari <i>sandy-gravel, sandy hard clay, loam, dll</i>	Ketebalan sedimen permukaannya masuk dalam kategori tebal, sekitar 10-30m
Tipe I	Jenis I	< 2,5	Batuan alluvial yang terbentuk dari sedimentasi delta, <i>top soil, lumpur, dll.</i> Dengan ketebalan 30m atau lebih	Ketebalan sedimen permukaannya sangatlah tebal

3.6 Amplifikasi

Amplifikasi merupakan pembesaran gelombang seismik yang disebabkan oleh perbedaan antar lapisan yang signifikan. Dengan kata lain, gelombang seismik mengalami pemuaihan ketika merambat melalui medium satu ke medium lain yang lebih lunak dari medium yang dilaluinya sebelumnya. Di sisi lain, frekuensi alami berkaitan erat dengan ketebalan lapisan sedimen. Konsep dasar fenomena amplifikasi gelombang seismik oleh adanya batuan sedimen yang berada diatas *basement* dengan perbedaan kecepatan dan *densitas* pada lapisan sedimen, kecepatan pada lapisan *basement* yang lebih dominan (Haerudin dkk., 2019).

$$A_0 = \frac{\rho_b V_b}{\rho_v V_s} \quad (11)$$

Dengan A_0 merupakan faktor amplifikasi, ρ_b dan ρ_v berturut-turut merupakan *densitas* pada batuan dasar dan batuan lunak, serta V_b dan V_s berturut-turut merupakan kecepatan rambat gelombang pada batuan dasar dan batuan lunak.

Tabel 2. Klasifikasi berdasarkan nilai amplifikasi (Ratdomopurbo, 2008)

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	$A_0 \geq 9$

Nakamura (2000) menyatakan bahwa nilai faktor penguatan (amplifikasi) tanah berkaitan dengan perbandingan kontras *impedansi* lapisan permukaan dengan lapisan di bawahnya. Bila perbandingan kontras *impedansi* kedua lapisan tersebut tinggi maka nilai faktor penguatan juga tinggi, begitu pula sebaliknya.

3.7 Inversi HVSR

Inversi gelombang *rayleigh* merupakan suatu proses yang dilakukan untuk mendapatkan parameter *elastis kurva dispersi* (kurva eliptisitas) yang sebelumnya tidak diketahui. Tingkat keakuratan proses ini terlihat pada error (*missfit*). Semakin kecil nilai error dari proses iterasi maka semakin baik pula profil kecepatan gelombang geser yang dihasilkan (Damayanti, 2022).

Metode *ellipticity curve* merupakan metode yang menggunakan kurva HVSR berdasarkan gelombang body untuk menentukan parameter kecepatan gelombang geser (V_s) pada titik pengukuran mikrotremor. Metode ini mengambil beberapa parameter seperti gelombang primer, gelombang sekunder, *poisson ratio*, dan *densitas*. Metode *ellipticity curve* dapat mengekstraksi sifat fisik permukaan yang tidak dapat diperoleh dengan metode HVSR. Shearer (2009) menjelaskan bahwa metode ini mirip dengan konsep gelombang *rayleigh*, gelombang ini memiliki pengurangan energi rambat yang kecil dibandingkan gelombang seismik lainnya, sehingga sangat cocok untuk mengidentifikasi struktur tanah. Perambatan gelombang ini tersebar melalui batas-batas lapisan material bumi. *Dispersi* gelombang *rayleigh* bertujuan untuk memperoleh nilai kecepatan gelombang geser permukaan (V_s) pada titik permukaan. Dalam menentukan transformasi inversi gelombang *rayleigh*, pendekatan nilai data eksperimental dilakukan dengan

melakukan perulangan (iterasi) untuk memperoleh hasil terbaik. Metode *ellipticity curve* dimulai dengan mengetahui nilai parameter seperti gelombang P (V_p), gelombang S (V_s), *poisson ratio* (σ), dan densitas (ρ) (Fathullah, 2020).

Proses inversi didasarkan pada *Monte Carlo*, oleh karena itu, level ini diklasifikasikan sebagai jenis inversi nonlinier dengan pendekatan global acak. Nilai *misfit* terbaik merupakan nilai yang relatif kecil ($0 \leq misfit < 1$) dan nantinya digunakan sebagai model terbaik (*estimate model*) sebagai hasil dari proses inversi HVSR (Hakim, 2019). Perhitungan *misfit* yang sesuai dilakukan dari model pengamatan menggunakan parameter seperti sebelumnya. (Sambridge, 1999) dengan persamaan:

$$misfit = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{D_i - M_i}{\sigma_i} \right)^2} \quad (12)$$

Keterangan:

misfit : Ketidakcocokan Model

N : Jumlah Data

D_i : Data Inversi

M_i : Model Struktur Tanah

σ_i : Standar Deviasi

3.8 Kecepatan Gelombang Geser (V_s)

V_s merupakan nilai kecepatan gelombang geser dan dapat digunakan untuk menggambarkan litologi permukaan. Oleh karena itu dapat menggunakan cara alternatif seperti pengukuran mikrotremor menggunakan metode pemodelan *ellipticity curve* dari hasil kurva H/V. Dengan menggunakan pengukuran mikrotremor relatif efisien dan memangkas waktu sehingga nilai V_s akan lebih cepat untuk didapatkan (Darmawan, 2023). Adapun setelah didapatkan nilai V_s pada tiap titik pengukuran dapat dilakukan klasifikasi berdasarkan SNI 1726 tahun 2012 seperti pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Klasifikasi tanah berdasarkan nilai V_s (Badan Standardisasi Nasional, 2012)

Klasifikasi Tanah	V_s (m/s)
SA (Batuan Keras)	> 1500
SB (Batuan)	750 – 1500
SC (Tanah Keras, Sangat Padat, Batuan Lunak)	350 – 750
SD (Tanah Sedang)	175 – 350
SE (Tanah Lunak)	< 175

Tabel 4. Kecepatan gelombang pada beberapa medium batuan (Burger, 1992)

Medium Batuan	V_s (m/s)
<i>Weather Layered</i>	800 – 900
<i>Soil</i>	175 – 550
<i>Alluvium</i>	300 – 1200
<i>Clay</i>	600 – 1500
<i>Sand (Unsaturated)</i>	120 – 600
<i>Sand (Saturated)</i>	470 - 1300
<i>Sand and Gravel (Unsaturated)</i>	235 - 300
<i>Sand and Gravel (Saturated)</i>	300 – 900
<i>Glacial Till Saturated</i>	235 – 600
<i>Glacial Till Unsaturated</i>	900 – 1500
<i>Granite</i>	3000 – 3500
<i>Basalt</i>	3200 – 3800
<i>Metamorphick Rock</i>	2000 – 4000
<i>Sandstone and Shale</i>	1200 - 2700
<i>Limestone</i>	1200 - 3600

Berbagai jenis batuan memiliki rentang kecepatan gelombang yang berbeda, meskipun beberapa jenis bisa menunjukkan nilai kecepatan yang hampir sama. Setiap lapisan batuan memiliki tingkat kekerasan yang berbeda, sehingga mempengaruhi kemampuannya untuk kembali ke bentuk awal setelah diberi gaya.

Perbedaan elastisitas ini menyebabkan gelombang merambat dengan kecepatan berbeda di setiap lapisan batuan (Firnanza, 2017).

Tabel 5. Klasifikasi nilai batuan vulkanik berdasarkan kecepatan gelombang (Gardner dan House, 1987)

Jenis Batuan	<i>P Wave Velocity (m/s)</i>	<i>S Wave Velocity (m/s)</i>
<i>Soil</i>	< 400	< 150
<i>Weathered Layer</i>	700 – 1200	300 – 500
<i>Tuff</i>	1300 – 1900	870 – 1100
<i>Silicic Tuf</i>	2000 – 4150	830 – 1400
<i>Andesite</i>	5230 - 6400	3060 - 5320

IV. METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Waktu dan tempat penelitian Tugas Akhir ini dilakukan pada:

Tempat : Laboratorium Pengolahan dan Pemodelan Data Geofisika (PPDG),
Teknik Geofisika, Universitas Lampung

Alamat : Gedung Teknik Geofisika, Jl. Prof Sumantri Brojonegoro No 1.
Gedong Meneng, Kec. Rajabasa, Kota Bandar Lampung, Lampung

Waktu : Agustus 2025 - Februari 2026

4.2 Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 6 dan Tabel 7**.

Tabel 6. Data Penelitian

No.	Data	Sumber Data
1	Data Mikrotremor	Data ini berupa hasil pengukuran mikrotremor sebanyak 29 stasiun titik pengukuran Daerah Bandar Lampung.
2	Peta Lembar Geologi	Peta geologi yang digunakan dalam penelitian ini bersumber dari peta Geologi Lembar Tanjung Karang.

Tabel 7. Software yang digunakan dalam penelitian

No.	Software	Fungsi
1	Laptop	Digunakan dalam pengolahan data penelitian
2	<i>Software pass2sac</i>	Untuk mengkonversi data penelitian
3	<i>Software Geopsy 3.5.2</i>	Digunakan untuk mengolah data mikrotremor yaitu untuk mendapatkan nilai frekuensi dominan dan amplifikasi
4	<i>Software Dinver</i>	Digunakan untuk inversi kurva HVSR, estimasi struktur kecepatan gelombang geser (V_s), penentuan kedalaman batuan dasar dan pembuatan <i>ellipticity curve</i> .
5	<i>Software Surfer23</i>	Digunakan untuk mengolah data mikrotremor yaitu dalam membuat peta kontur sebaran nilai frekuensi dominan, amplifikasi, periode dominan dan indeks kerentanan seismic dan V_s
6	<i>Software ArcGis10.8</i>	Berfungsi dalam pembuatan peta lokasi penelitian, peta geologi, peta sebaran frekuensi natural, amplifikasi dan V_s serta analisis SIG lainnya
7	<i>Software Microsoft Excel 2021</i>	Digunakan untuk menghitung nilai inversi kurva ground profile dan V_s

4.3 Jadwal Kegiatan

Jadwal kegiatan selama kegiatan penelitian terhitung mulai bulan Agustus 2025 di deskripsikan dalam **Tabel 8.**:

Tabel 8. Waktu pelaksanaan kegiatan

	Jenis Kegiatan	Aug 25				Sept 25				Okt 25				Nov 25				Des 25				Jan 26			
		Minggu Ke-																							
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Studi Literatur	■	■	■	■																				
2	Persiapan Data Mikrotremor	■	■																						
3	Pengolahan Data Mikrotremor		■	■	■	■	■																		
4	Penyusunan Laporan dan Bimbingan Usul		■	■	■																				
5	Seminar Usul				■																				
6	Bimbingan Hasil					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
7	Seminar Hasil																							■	
8	Revisi dan Persiapan Sidang Komprehensif																							■	
9	Sidang Komprehensif																								■

4.4 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian yang dilakukan pada penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

4.4.1 HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*)

4.4.1.1 *Import Signal*

Tahapan awal ketika mengolah data mikrotremor dengan menggunakan software *Geopsy3.5.2*. Import signal memuat data mikrotremor yang berisi komponen sinyal hasil dari akuisisi lapangan dan dalam software *Geopsy* bisa di import dengan bermacam jenis format. Daerah penelitian terdiri atas format *microseed (.mseed)* dan juga *Seismic Analytics Code (SAC)*.

4.4.1.2 *Cutting Signal*

Tahapan selanjutnya yang penting dilakukan pada data mikrotremor ialah *cutting signal*. Sinyal tersebut di potong (*cutting*) untuk proses *quality control* dalam memastikan data pengukuran lapangan yang memiliki *noise* di awal dan akhir pada alat pengukuran dan lain-lain tidak dilibatkan untuk pengolahan data.

4.4.1.3 *Toolls HVSR*

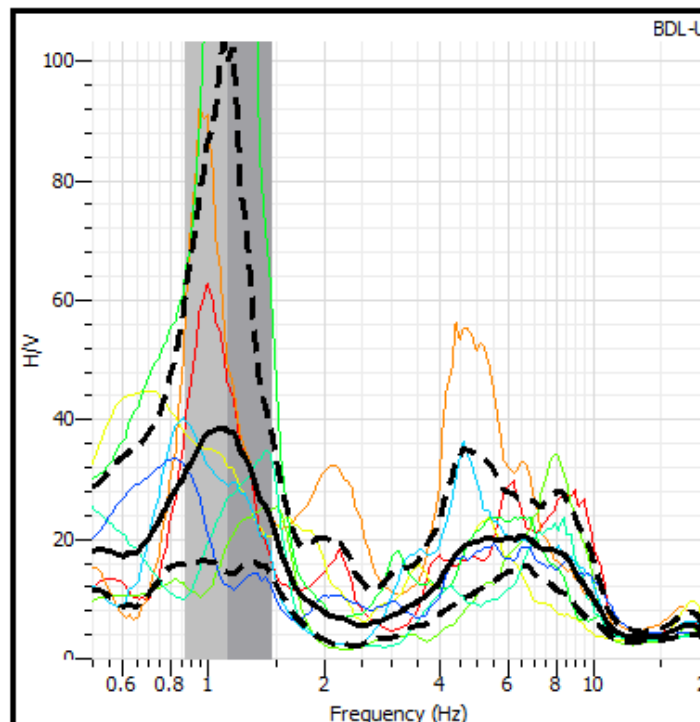
Pada tahapan ini terdapat penyesuaian beberapa parameter untuk menghasilkan kurva H/V yang terbaik berdasarkan data mikrotremor. Parameter harus disesuaikan supaya tidak ada *noise* dalam *windowing signal*. Beberapa parameter yang harus diubah dan disesuaikan diantaranya ialah *time*, *processing*, dan *output*. Penyesuaian tersebut tertera pada **Gambar 13**. dan memiliki output kurva H/V.

Tabel 9. Parameter STA/LTA

No.	Parameter	Simbol	Satuan	Keterangan
1	<i>Short Term Average Window</i>	STA	s	Panjang jendela waktu pendek untuk perhitungan rata-rata amplitudo sesaat
2	<i>Long Term Average Window</i>	LTA	s	Panjang jendela waktu panjang untuk perhitungan rata-rata amplitudo latar belakang
3	<i>STA/LTA Ratio Threshold</i>	-	-	Nilai ambang batas rasio STA terhadap LTA untuk mendeteksi perubahan signifikan pada sinyal
4	<i>Sampling Rate</i>	Fs	Hz	Jumlah sampel data per detik yang digunakan dalam analisis
5	<i>Window Overlap</i>	-	%	Persentase tumpang tindih antar jendela waktu analisis
6	<i>Window Length HVSR</i>	Tw	s	Panjang segmen data yang digunakan untuk menghitung spektrum HVSR
7	<i>Smoothing Type</i>	-	-	Jenis metode perataan spektrum (mis. Konno-Ohmachi, <i>moving average</i>)
8	<i>Frequency Range</i>	f	Hz	Rentang frekuensi yang digunakan dalam perhitungan HVSR
9	<i>Peak Frequency</i>	f_0	Hz	Frekuensi dominan hasil HVSR (frekuensi resonansi tanah)
10.	<i>HVSR Amplitude</i>	A_0	-	Nilai maksimum rasio horizontal terhadap vertikal pada frekuensi puncak

4.4.1.4 Kurva H/V

Tahapan ini merupakan hasil dari pengolahan HVSR yang telah dilakukan dengan *software Geopsy* dan menghasilkan kurva. Kurva tersebut biasanya memiliki informasi berupa nilai frekuensi dominan (f_0) dan juga *spektrum* amplifikasi. Setelah informasi kurva di dapatkan, simpan kurva tersebut dengan format file yang ditentukan (.hv) untuk di analisis lebih lanjut melalui *software Dinver* dalam proses inversi HVSR.

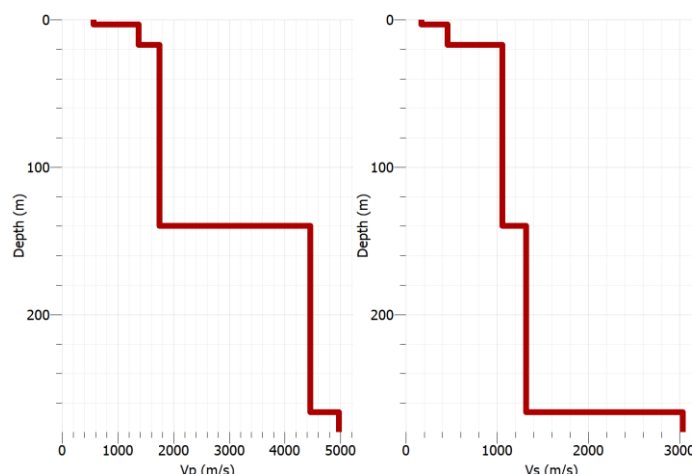


Gambar 13. Kurva H/V di titik UL01

4.4.2 Inversi HVSR menggunakan metode *Ellipticity Curve*

Proses inversi dilakukan berdasarkan kurva HVSR yang dihasilkan melalui prosesi data mikrotremor. Metode inversi menggunakan *ellipticity curve* didasari oleh algoritma *Monte-Carlo* berupa pendekatan data berulang (iterasi) untuk mencapai model terbaik menggunakan *software Dinver*. Parameter inversi *ellipticity curve* mencakup *compression waves* (V_p), *shear waves* (V_s), *poisson ratio* (σ) serta *density* (ρ).

Input parameter tersebut bertujuan untuk menyesuaikan kondisi yang dihasilkan pada kurva HVSR dengan geologi daerah penelitian untuk mendapatkan tingkat ketidakcocokan model (*misfit*) yang rendah. Akurasi dengan nilai *misfit* terbaik merupakan nilai yang relatif kecil ($0 \leq \text{misfit} < 1$) untuk menghasilkan pemodelan 1D HVSR. Hasil akhir pemodelan berupa *ground profile ellipticity curve* dengan informasi nilai V_s per kedalaman (*depth*).



Gambar 14. *Ground profile* inversi HVSR

4.4.3 Penentuan nilai frekuensi dominan dan amplifikasi

Frekuensi dominan dan amplifikasi diperoleh dari puncak tertinggi HVSR yang terdapat pada kurva HVSR. Frekuensi dominan HVSR bergantung oleh kedalaman *bedrock*, dimana frekuensi dominan berbanding terbalik dengan ketebalan sedimen dan berbanding lurus dengan kecepatan gelombang geser. Setelah diketahui nilai frekuensi dominan dan amplifikasi dari setiap titiknya, selanjutnya kita dapat membuat peta sebaran f_0 dan A_0 menggunakan software *surfer23* dan *arcgis10.8*.

4.4.4 Penentuan nilai kecepatan gelombang geser

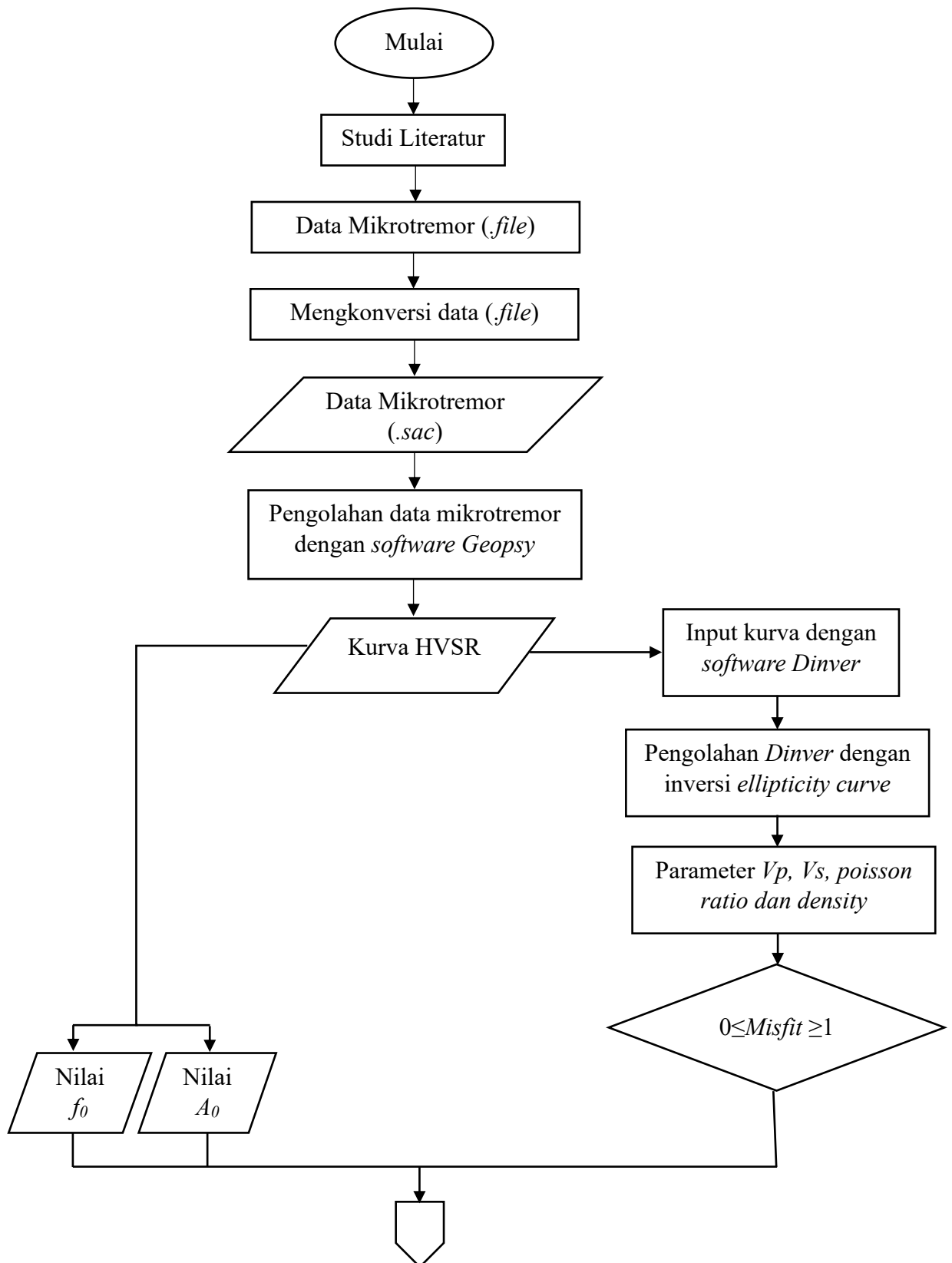
Nilai V_s pada daerah penelitian di dapatkan berdasarkan hasil pengolahan data mikrotemor dengan Metode HVSR dan Inversi HVSR. V_s di dapatkan dari hasil *ground profiles* Inversi HVSR yang menampilkan besaran nilai V_s berdasarkan kedalamannya.

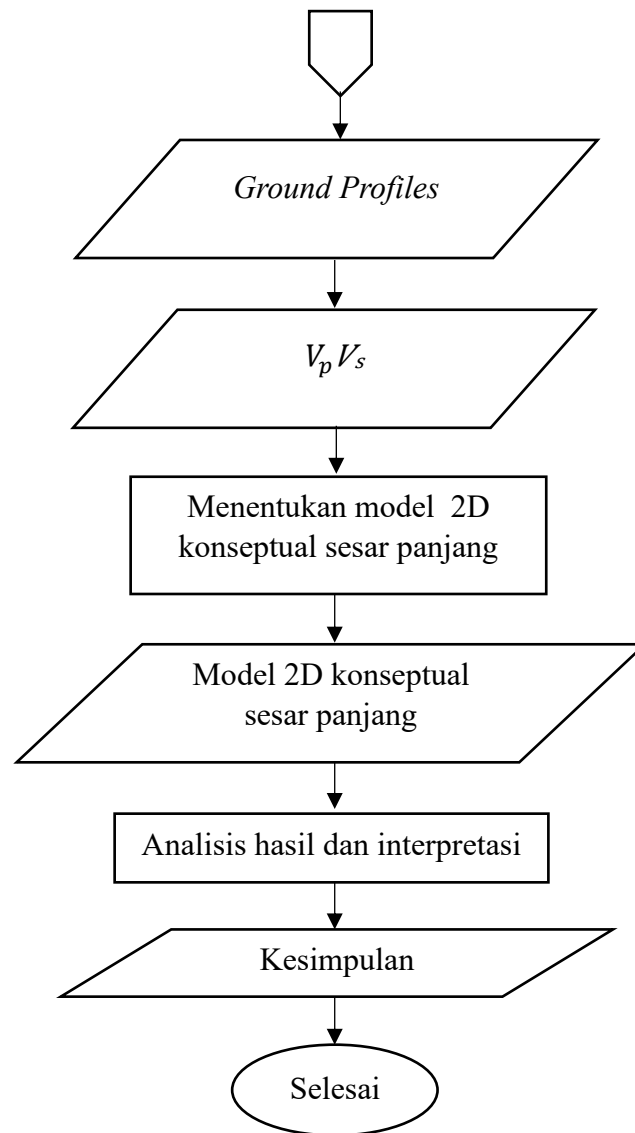
4.4.5 Penentuan model 2D konseptual Sesar Panjang

Hasil dari *ground profile* dan nilai V_s dijadikan model 2D konseptual Sesar Panjang dengan menentukan dari nilai jarak antar titik, ketebalan lapisan, kedalaman lapisan serta nilai V_s dari beberapa lapisan dari titik pengukuran agar menghasilkan penampang strukurur bawah permukaan Sesar Panjang.

4.5 Diagram Alir

Adapun diagram alir selama penelitian tugas akhir ini tercantum dalam Gambar 15.





Gambar 15. Diagram Alir

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 KESIMPULAN

Kesimpulan pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Karakteristik bawah permukaan berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser (V_s) yang menunjukkan adanya variasi sifat fisik tanah dan batuan hingga kedalaman ± 150 – 200 m. Nilai V_s rendah hingga menengah berkorelasi dengan satuan tuf dan sedimen vulkanik dari Formasi Lampung (Qtl), sedangkan nilai V_s menengah hingga tinggi mencerminkan satuan Formasi Tarahan (Tpot) dan Endapan Gunungapi Muda Gunung Betung yang lebih kompak.
2. Rata-rata nilai kecepatan gelombang geser (V_s) pada lapisan dangkal, nilai V_s rata-rata berkisar ± 300 – 500 m/s (warna biru–biru kehijauan) yang merepresentasikan tanah lunak hingga sedang berupa endapan vulkanik muda dan material rombakan. Pada lapisan menengah, nilai V_s rata-rata meningkat menjadi ± 600 – 1000 m/s (warna hijau–hijau kekuningan) yang diinterpretasikan sebagai material vulkanik yang lebih terkompaksi. Sementara itu, pada lapisan dalam, nilai V_s rata-rata mencapai ± 1500 – 2500 m/s (warna kuning–merah) yang mencerminkan keberadaan batuan dasar yang keras.
3. Hasil inversi penampang 2D nilai kecepatan gelombang geser (V_s) mengindikasikan keberadaan sesar panjang yang memotong lintasan penelitian. Indikasi ini ditunjukkan oleh kontras V_s yang tajam secara lateral, berupa zona V_s rendah ± 300 – 600 m/s yang menerus dari lapisan

dangkal hingga menengah dan berada di atas batuan V_s tinggi ± 1500 – 2500 m/s. Pola tersebut mencerminkan zona hancuran sesar dan menunjukkan bahwa struktur yang teridentifikasi bersifat memanjang serta berpengaruh terhadap konfigurasi bawah permukaan di wilayah Bandar Lampung.

6.2 SARAN

Saran pada penelitian ini yaitu penelitian selanjutnya disarankan untuk menambah jumlah dan kerapatan titik pengukuran, khususnya di sekitar jalur sesar dan batas antar formasi geologi, agar variasi lateral nilai V_s dapat teridentifikasi dengan lebih detail dan akurat. Diperlukan integrasi metode geofisika lain, seperti MASW, refraksi seismik, atau data bor geoteknik, guna memvalidasi hasil interpretasi V_s dan memperkuat penentuan litologi serta kedalaman batuan dasar.

DAFTAR PUSTAKA

- Ammon, C. J., Ji, C., Thio, H. K., Robinson, D., Ni, S., Hjørleifsdóttir, V., Kanamori, H., Lay, T., Das, S., Helmberger, D., Ichinose, G., Polet, J., & Wald, D. (2005). Rupture process of the 2004 Sumatra–Andaman earthquake. *Science*, 308(5725), 1133–1139. <https://doi.org/10.1126/science.1112260>
- Arifin, S. S., Mulyatno, B. S., Marjiyono, & Setianegara, R. (2014). Penentuan Zona Rawan Guncangan Bencana Gempabumi Berdasarkan Analisis Nilai Amplifikasi Hvsrmikrotremor dan Analisis Periode Dominan daerah Liwa dan Sekitarnya. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, 2(1), 30–40.
- Arintalofa, V., Yulianto, G., & Harmoko, U. (2020). Analisa Mikrotremor Menggunakan Metode HVSR untuk Mengetahui Karakteristik Bawah Permukaan Manifestasi Panas Bumi Diwak dan Derekan Berdasarkan Nilai Vp. *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, 1(2), 54–61. <https://doi.org/10.14710/jebt.2020.9276>
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). *Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung*. Diakses melalui www.bsn.go.id pada 1 April 2025.
- Barber, A.J., Crow, M.J., & Milsom, J.S. (2005). *Sumatra: Geology, Resources and Tectonic Evolution*. Geological Society of London, Memoir No. 31.
- BMKG. (1998). Sumberdaya Geologi. *Buletin Meteorologi dan Geofisika No. 4*.
- Brocher, T. M. (2005). Empirical relations between elastic wavespeeds and density in the Earth's crust. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 95(6), 2081–2092. <https://doi.org/10.1785/0120050077>
- Bronto, S. (2010). Identifikasi Gunung Api Purba Pendul di Perbukitan Jiwo, Kecamatan Bayat, Kabupaten Klaten – Jawa Tengah. *Jurnal Sumber Daya Geologi*, 20, 3–13.
- Burger, R. H. (1992). *Exploration Geophysics of The Shallow Subsurface*. New Jersey: Prentice Hall.

- Damayanti, M. (2022). Analisis Ketebalan Lapisan Sedimen dan Struktur Bawah Permukaan Menggunakan Ensemble Empirical Mode Decomposition (EEMD) Metode Mikroseismik di Wilayah Yogyakarta. *Skripsi*. UPN Veteran Yogyakarta.
- Elnashai, S. A., & Sarno, D. L. (2008). *Fundamental of Earthquake Engineering*. Wiley.
- Fathullah, H. I. (2020). Litologi Bawah Permukaan Berdasarkan Kecepatan Gelombang Geser Dengan Metode Ellipticity Curve Di Kecamatan Bayat Kabupaten Klaten. *Skripsi*. Universitas Negeri Yogyakarta.
- Ferrari, L., Pasquaré, G., Venegas-Salgado, S., & Romero-Rios, F. (1995). *Magmatismo y tectónica en la Sierra Madre del Sur de México y su relación con la evolución de la margen occidental de Norteamérica*. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín 95, 1-45.
- Firnanza, E. (2017). Penentuan Litologi Lapisan Bawah Permukaan Berdasarkan Model Kecepatan 2D Tomografi Seismik Refraksi Untuk Geoteknik Jalan Tol. *Skripsi*. Universitas Lampung, Lampung.
- Gardner, J. N., & House, L. (1987). *Seismic Hazard Investigations at Los Alamos National Laboratory, 1984 to 1985*. California: Los Alamos Laboratory.
- Haerudin, N., Alami, F., & Rustadi. (2019). *Mikroseismik, Mikrotremor dan Microearthquake dalam Ilmu Kebumihan*. Pusaka Media.
- Haerudin, N., Rustadi, R., Alami, F., & Yogi, I. B. S. (2020). The effect site analysis based on microtremor data using the horizontal to vertical spectral ratio (HVSR) method in Bandar Lampung City. *Journal of Physics: Conference Series*, 1572(1), 012075. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1572/1/012075>
- Hakim, A. C. (2019). Penentuan Ground Profile Dan Peak Surface Acceleration (PSA) Dengan Metode Inversi Mikrotremor Single Station Untuk Zonasi Bahaya Gempabumi Pulau Lombok. *Skripsi*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Jawa Timur.
- Hamilton, W.B. (1989). Convergent-Plate Tectonics Viewed from the Indonesian Region. In A.M.C. Sengör (Ed.), *Tectonic Evolution of the Tethyan Region* (pp. 159-274). Dordrecht: Springer.
- Harijono, S. W. B., 2010. *InaTEWS, Indonesia Tsunami Early Warning System: Konsep dan Implementasi*. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Indonesia.
- Hesti, Suharno, Mulyasari, & R.Hidayatika. (2021). Berdasarkan Data Mikrotremor Di Area Rumah Analysis of Sediment Characteristic Based on Microtremor Data in Area of Rumah Sakit. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, 07(02), 150–159.
- Hidayati, S. (2010). *Pengenalan Seismologi Gunungapi*. Bandung: Diklat Kebencanaan Geologi.

- Huda, A. M. M., & Munir, B. (2017). Analisa pola sesar di daratan selatan Sumatera berdasarkan event gempa tahun 1960-2000. *Jurnal Sains Terapan*, 3(2), 48-52. <https://doi.org/10.32487/jst.v3i2.259>
- Ipmawan, V. L., Permanasari, I. N. P., & Suhendi, C. (2021). Improving Quality of Microtremor Data with Application of Empirical Mode Decomposition Method, Case Study: East Tanjung Karang, Bandar Lampung. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 830(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/830/1/012058>
- Kanai, K., 1983. *Seismology in Engineering*. Tokyo University. Japan.
- Kiswiranti, D. (2019). *Seismologi (Dasar-dasar Seismologi dan Aplikasinya)*. IST AKPRIND.
- Koesoemadinata, R. P. (1979). *Data Dasar Gunung Api Indonesia*. Bandung: Direktorat Vulkanologi.
- Kramer, S. L. (1996). *Geotechnical earthquake engineering*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Lachet, C., & Bard, P.-Y. (1994). Numerical and theoretical investigations on the possibilities and limitations of the Nakamura's technique. *Journal of Physics of the Earth*, 42(4), 377–397.
- Macdonald, G. A. (1972). *Volcanoes*. Prentice-Hall.
- Mangga, A. S., Amirudin, Suwarti, T., Gafoer, S., & Sidarto. (1993). *Peta Geologi Lembar Tanjung Karang, Sumatera, skala 1:250.000*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Mangga, A. S., Djamal, B., Sanyoto, P., Sudana, D., & Gafoer, S. (1994). *Peta Geologi Lembar Lombok, Nusa Tenggara Barat, skala 1:250.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung, Indonesia.
- Metrikasari, R., & Choiruddin, A. (2020). Pemodelan risiko gempa bumi di Pulau Sumatera menggunakan model inhomogeneous Neyman-Scott Cox process. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 9(2), D102–D107. <https://doi.org/10.12962/j23373520.v9i2.52318>
- Mirzaoglu, M., & Dikmen, Ü. (2003). Application of Microtremors to Seismic Microzoning Procedure. *Journal Of The Balkan Geophysical Society*, 6(3), 143–156. <https://www.researchgate.net/publication/268359370>
- Motamed, M., Situmorang, R., & Nasution, N. (2007). Analisis indeks kerentanan seismik lapisan tanah berdasarkan parameter amplifikasi dan frekuensi dominan. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, 2(3), hlm. 45–53.
- Mulyaningsih, S., & Sanyoto, S. (2012). Geologi Gunung Api Merapi; Sebagai Acuan Dalam Interpretasi Gunung Api Komposit Tersier di Daerah Gunung Gede-Imogiri, Daerah Istimewa Yogyakarta. *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST) Periode III*, B-242.

- Nakamura, Y. (1997). Seismic vulnerability indices for ground and structure using microtremor. *Paper presented at the World Congress on Railway Research, Florence, November 1997.*
- Nakamura, Y. (2000). Clear Identification Of Fundamental Idea Of Nakamura's Technique And Its Applications. *Proceedings of the 12th world conference on earthquake engineering, 2656, 1–8.*
- Nakamura, Y. (2008). On The H/V Spectrum. *Proceedings of the 14th world conference on earthquake engineering.*
- Narotama, B. J. (2011). Identifikasi efek tapak Kota Pekalongan menggunakan horizontal to vertical spectral ratio. *Skripsi.* Universitas Diponegoro. Undip Institutional Repository. <https://eprints.undip.ac.id/28485/>
- Plummer, M.A., & Phillips, F.M. (2003). A 2-D numerical model of snow/ice energy balance and ice flow for paleoclimatic interpretation of glacial geomorphic features. *Quaternary Science Reviews, 22(14-15), 1389–1406.*
- Pulunggono, A., Haryo, S. A., & Kosuma, C. G. (1992). *Pre-Tertiary and Tertiary fault systems as a framework of the South Sumatra Basin.* In *Proceedings of the 21st Annual Convention, Indonesian Petroleum Association* (pp. 339–360).
- Ramdhani, A. (2021). Identifikasi struktur bawah permukaan dan petroleum system dengan pemodelan 2.5D data gravitasi pada Lapangan Banyuasin, Sumatera Selatan. *Skripsi.* Universitas Negeri Jakarta.
- Rasimeng, S. (2023). Zonasi Wilayah Rawanbencana Kegempaan Menggunakan Metode Seismik MASW (Multichannel Analysis of Surface Wave) dan HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) Studi Kasus: Kota Bandar Lampung. *Disertasi.* Universitas Lampung.
- Rasimeng, S., Laksono, A., & Rustadi, R. (2017). Interpretasi 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 (JGE), 3(No.3), 3–14.* <http://repository.lppm.unila.ac.id/34623/1/2017>
- Ratdomopurbo, A. (2008). *Pedoman mikrozonasi* [Materi kursus].
- 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, 1(1).* Universitas Bengkulu.
- Rosyidi, S. P. A. (2006). Kajian Metode Analisis Gelombang Seismik Permukaan (SASW) untuk Pengembangan Teknik Evaluasi Perkerasan Lentur dan Kaku di Indonesia. *Jurnal Media Komunikasi Teknik Sipil, 14(3).*
- Sababurrohmah, A. (2020). Analisis efek tapak lokal berdasarkan data mikrotremor menggunakan metode horizontal to vertical spectral ratio (studi kasus: PT Solusi Bangun Indonesia Tuban Plant). *Skripsi.* Institut Teknologi Sepuluh Nopember..

- Sambridge, M. (1999). Geophysical inversion with a neighbourhood algorithm - I. Searching a parameter space. *Geophysical Journal International*, 138(2), 479–494. <https://doi.org/10.1046/j.1365-246X.1999.00876.x>
- Shearer, P. (2009). *Introduction to Seismology 2nd Edition*. Cambridge: University Press, 268-271.
- Suharno, S., & Darmawan, I. G. B. (2018). *Mitigasi bencana alam*. Graha Ilmu.
- Sulandari, B., Suteja, A., Hadibroto, H., Nurmaliah, Budi Setyanta, & Garniwa, A. (2023). Deliniasi struktur Sesar Lampung-Panjang dan identifikasi potensi sumberdaya alam berdasarkan anomali magnet daerah Bandar Lampung. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 24(4), 195–203.
- Sunardi, B. (2019). Vs30 Mapping and Soil Classification in The Southern Part of Kulon Progo Using Rayleigh Wave Ellipticity Inversion. *JGISE: Journal of Geospatial Information Science and Engineering*, 1(2), 58–64. <https://doi.org/10.22146/jgise.39780>
- Susilawati. (2008). *Penerapan Penjalaran Gelombang Seismik Gempa Pada Penelaahan Struktur Bagian Dalam Bumi*. Karya Ilmiah Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. USU. Medan.
- Tarigan, Y., & Ekawati, G. M. (2020). Analisis struktur sesar dan pemodelan pada daerah Lampung bagian selatan menggunakan metode gayaberat. *Skripsi*. Institut Teknologi Sumatera.
- Warnana, D.D., Soemitro, R.A.A., & Utama, W. (2011). Fast, simultaneous and robust estimation of natural frequencies and damping ratios of buildings using microtremor measurements. *International Journal of Basic & Applied Sciences*, 11(4), 73-78.
- Wibowo, N. B., & Huda, I. (2020). Analysis Of Amplification, Seismic Vulnerability Index And Soil Clasification Based On Vs30 In Yogyakarta. *Buletin Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika*, 1(2), 21–31. <http://usgs.maps.arcgis.com/apps/we>
- Zaenudin, A., Farduwin, A., Boy Darmawan, 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>