

**ANALISIS KERENTANAN TANAH DAN KETEBALAN LAPISAN
SEDIMEN MENGGUNAKAN METODE *HORIZONTAL TO VERTICAL
SPECTRAL RATIO* (HVSr) DI KABUPATEN MUSI BANYUASIN,
SUMATERA SELATAN**

(Skripsi)

Oleh

**Dwi Miftahuljanah.S
2015051036**



**JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

**ANALISIS KERENTANAN TANAH DAN KETEBALAN LAPISAN
SEDIMEN MENGGUNAKAN METODE *HORIZONTAL TO VERTICAL
SPECTRAL RATIO* (HVSr) DI KABUPATEN MUSI BANYUASIN,
SUMATERA SELATAN**

**Oleh
DWI MIFTAHULJANAHS**

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
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

ANALISIS KERENTANAN TANAH DAN KETEBALAN LAPISAN SEDIMEN MENGGUNAKAN METODE *HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO* (HVSr) DI KABUPATEN MUSI BANYUASIN, SUMATERA SELATAN

Oleh

Dwi Miftahuljanah.S

Telah dilakukan penelitian tentang kerentanan tanah dan ketebalan lapisan lunak di daerah Tungkal Jaya Kabupaten Musi Banyuasin dengan tujuan untuk menentukan nilai frekuensi dominan (f_0), amplifikasi (A_0), periode dominan (T_0), indeks kerentanan tanah (K_g) dan ketebalan sedimen (H), menganalisis nilai frekuensi dominan, nilai faktor amplifikasi, indeks kerentanan tanah dan ketebalan lapisan sedimen pada daerah penelitian, serta menganalisis penampang lapisan lunak dan lapisan keras pada daerah penelitian. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode *Horizontal To Vertical Spectral Ratio* (HVSr) yang dapat mengidentifikasi resiko bencana gempa melalui analisis parameternya. Hasil dari penelitian ini mendapatkan nilai frekuensi dominan berkisar 2 Hz sampai 18 Hz, amplifikasi berkisar 1.6 kali sampai 5.2 kali, periode dominan berkisar 0.04 sekon sampai 0.38 sekon, indeks kerentanan tanah berkisar 0.2 cm/s^2 sampai 3.2 cm/s^2 dan ketebalan lapisan sedimen berkisar 3 meter sampai 27 meter. Daerah penelitian mempunyai resiko gempa bumi yang rendah. Berdasarkan korelasi setiap parameter tersebut maka daerah penelitian memiliki nilai frekuensi dominan yang tinggi dan nilai amplifikasi yang rendah serta nilai indeks kerentanan tanah yang rendah. Berdasarkan komparasi nilai frekuensi dominan dan ketebalan lapisan lunak maka penentuan zona rekomendasi lokasi pembangunan yang paling aman dan ekonomis dilakukan dengan pertimbangan: kerentanan tanah yang rendah dan ketebalan sedimen yang tipis. Dari analisa diperoleh daerah yang paling aman dan ekonomis berada di barat laut, barat, tengah, selatan dan timur tenggara.

Kata kunci : HVSr, Musi Banyuasin, Kerentanan Tanah, Ketebalan Sedimen

ABSTRACT

ANALYSIS OF SOIL VULNERABILITY AND SEDIMENT LAYER THICKNESS USING HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO (HVSR) METHOD IN MUSI BANYUASIN DISTRICT, SOUTH SUMATRA

By

Dwi Miftahuljanah.S

Research has been carried out on soil vulnerability and soft layer thickness in the Tungkal Jaya area, Musi Banyuasin Regency with the aim of determining the values of dominant frequency (f_0), amplification (A_0), dominant period (T_0), soil vulnerability index (K_g) and sediment thickness (H), analyzing the dominant frequency value, amplification factor value, soil vulnerability index and sediment layer thickness in the research area, as well as analyzing the cross-section of the soft layer and hard layer in the research area. The method used in this research is the Horizontal To Vertical Spectral Ratio (HVSR) method which can identify the risk of earthquake disasters through parameter analysis. The results of this research obtained dominant frequency values ranging from 2 Hz to 18 Hz, amplification ranging from 1.6 times to 5.2 times, dominant period ranging from 0.04 seconds to 0.38 seconds, soil vulnerability index ranging from 0.2 Cm/s^2 to 3.2 Cm/s^2 and sediment layer thickness ranging from 3 meters to 27 meters. The study area has a low risk of earthquakes. Based on the correlation of each parameter, the research area has a high dominant frequency value and a low amplification value as well as a low soil vulnerability index value. Based on a comparison of dominant frequency values and soft layer thickness, the safest and most economical development location recommendation zone is determined by considering: low soil vulnerability and thin sediment thickness. From the analysis it was found that the safest and most economical areas were in the northwest, west, center, south and east southeast.

Keywords: HVSR, Musi Banyuasin, Soil Vulnerability, Sediment Thickness

Judul Skripsi

**: ANALISIS KERENTANAN TANAH DAN
KETEBALAN LAPISAN SEDIMEN
MENGUNAKAN METODE *HORIZONTAL
TO VERTICAL SPECTRAL RATIO* (HVSr) DI
KABUPATEN MUSI BANYUASIN,
SUMATERA SELATAN**

Nama Mahasiswa

: Dwi Miftahuljanah.S

Nomor Pokok Mahasiswa

: 2015051036

Program Studi

: Teknik Geofisika

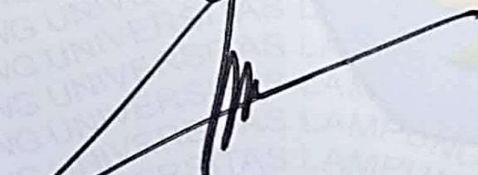
Fakultas

: Teknik

MENYETUJUI

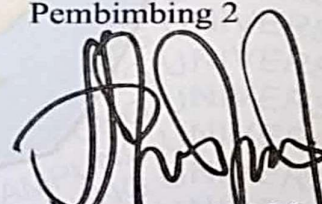
1. Komisi Pembimbing

Pembimbing 1



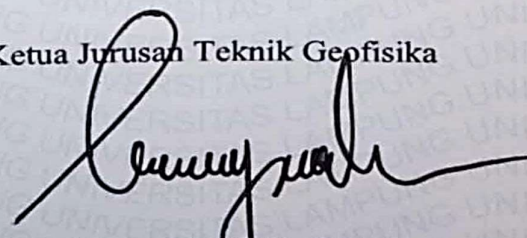
Prof. Dr. Ir. Muh Sarkowi, S.Si., M.Si., IPU.
NIP. 197112101997021001

Pembimbing 2



Dr. Agustya Adi Martha, M.T
NIP. 198508292007011002

2. Ketua Jurusan Teknik Geofisika



Dr. Karyanto, S.Si., M.T.
NIP. 196912301998021001

MENGESAHKAN

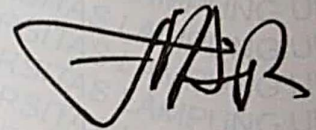
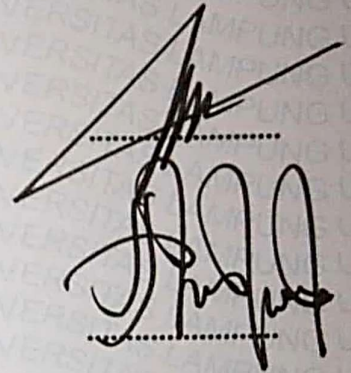
1. Tim Penguji

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

Sekretaris : Dr. Agustya Adi Martha, M.T.

Penguji

Bukan Pembimbing : Prof. Ir. Suharno, M.Sc., Ph.D. IPU. ASEAN Eng.



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.)
NIP. 197509282001121002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 26 Juli 2024

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa apa yang tertulis di dalam skripsi ini dengan judul “Analisis Kerentanan Tanah Dan Ketebalan Lapisan Sedimen Menggunakan Metode *Horizontal To Vertical Spectral Ratio* (Hvsv) Di Kabupaten Musi Banyuasin, Sumatera Selatan” adalah hasil kerja saya sendiri yang berdasarkan pengetahuan dan data yang telah saya dapatkan. Karya ini tidak berisi material yang telah dipublikasikan sebelumnya atau dengan kata lain bukanlah hasil plagiat karya orang lain.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari terdapat kecurangan dalam karya ini, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 30 Juli 2024
Penulis,



Dwi Miftahuljanah.S
NPM 2015051036

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Dwi Miftahuljanah.S, lahir di Tebenan pada tanggal 28 Oktober 2002 sebagai anak kedua dari tiga bersaudara, dari pasangan Bapak Indra Mora Siregar dan Ibu Harmiyati. Penulis telah menempuh pendidikan di Sekolah Dasar di SD Negeri 3 Betung yang diselesaikan pada tahun 2014, lalu melanjutkan ke jenjang Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 1 Betung yang diselesaikan pada tahun 2017, kemudian menempuh Pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 1 Betung yang diselesaikan pada tahun 2020. Pada tahun 2020 Penulis diterima pada Perguruan Tinggi Negeri sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN). Penulis aktif di organisasi kemahasiswaan seperti Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika Bhuwana Universitas Lampung (Anggota Bidang Sains dan Teknologi) pada periode 2022 – 2023. Ditahun 2022 juga, penulis mengikuti UKM Sains dan Teknologi Universitas Lampung (Anggota Departemen Manajemen Sumber Daya) serta Dewan Perwakilan Mahasiswa Fakultas Teknik (DPMFT) Universitas Lampung (Komisi II Peraturan Perundang-undangan). Penulis mengikuti kegiatan Studi Independen *AI For StartUps* (AI4S) yang diselenggarakan oleh *Power Academy powered by Power Commerce Asia* (PT Mitra Semeru Indonesia) dengan *Orbit Future Academy* pada 18 Agustus – 31 Desember 2022. Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) pada Januari – Februari 2023 di Desa Dadimulyo, Kecamatan Wonosobo, Kabupaten Tanggamus, Lampung. Penulis melaksanakan Kerja Praktik (KP) pada Tahun 2023 pada Juli – Agustus di Kantor Pusat Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG)

Jakarta dengan judul “Pengolahan Data Mikrotremor Menggunakan Metode *Horizontal To Vertical Spectral Ratio* (HVSr) Di Kabupaten Cianjur, Jawa Barat”. Pada akhir masa studi penulis melakukan penelitian untuk memperoleh gelar sarjana teknik dengan judul “**Analisis Kerentanan Tanah Dan Ketebalan Lapisan Sedimen Menggunakan Metode *Horizontal To Vertical Spectral Ratio* (Hvsr) Di Kabupaten Musi Banyuasin, Sumatera Selatan**”.

PERSEMBAHAN

Aku Persembahkan Karyaku ini Untuk Allah SWT

**Kedua Orang Tua Tercinta dan Tersayangku
Kakak dan Adik Tersayangku
Serta Keluarga Besarku**

**Teknik Geofisika Universitas Lampung 2020
Keluarga Besar Teknik Geofisika Universitas Lampung
Almamater Tercinta Universitas Lampung**

Semua yang terlibat dalam proses pembuatan dan penyusunan skripsi ini,
saya ucapkan terima kasih

MOTTO

“Man Jadda Wajadda”

(Siapa yang bersungguh-sungguh maka akan berhasil)

**"Semua hal butuh proses, karena di setiap proses ada pembelajaran. Jika dipercepat, Allah ingin kita bersyukur.
Jika diperlambat, Allah ingin kita bersabar."**

“Whatever you are, be a good one”
(Apa pun dirimu, jadilah orang yang baik).”

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis haturkan kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya-lah saya dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**ANALISIS KERENTANAN TANAH DAN KETEBALAN LAPISAN SEDIMEN MENGGUNAKAN METODE *HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO* (HVSr) DI KABUPATEN MUSI BANYUASIN, SUMATERA SELATAN**”. Skripsi ini dibuat untuk memenuhi tugas akhir perkuliahan dan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana di Program Studi Teknik Geofisika Fakultas Teknik Universitas Lampung. Selain itu, skripsi ini juga dibuat sebagai salah satu wujud implementasi dari ilmu yang didapatkan selama masa perkuliahan di Program Studi Teknik Geofisika Fakultas Teknik Universitas Lampung. Penulis menyadari bahwa skripsi masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis berharap dapat belajar lebih banyak lagi dalam mengimplementasikan ilmu yang didapatkan. Skripsi ini tentunya tidak lepas dari bimbingan, masukan, dan arahan dari berbagai pihak. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan bagi para pembaca pada umumnya.

Bandar Lampung, 30 Juli 2024

Penulis,

Dwi Miftahuljanah.S
NPM. 2015051036

SANWACANA

Puji syukur senantiasa penulis haturkan kepada Allah *Subhanahu Wa Ta'ala* yang maha kuasa karena berkat rahmat dan hidayah serta karunia-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat menyusun skripsi dengan judul “Analisis Kerentanan Tanah Dan Ketebalan Lapisan Sedimen Menggunakan Metode *Horizontal To Vertical Spectral Ratio* (Hvsr) Di Kabupaten Musi Banyuasin, Sumatera Selatan”. Tak lupa pula shalawat serta salam yang selalu tercurahkan kepada junjungan kita nabi besar Muhammad *Shallallahu 'alaihi wassallam* yang menjadi tauladan bagi kita. Terima kasih penulis sampaikan kepada semua pihak yang telah terlibat secara langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan skripsi ini. Penulis pun menyadari masih terdapat kekurangan di dalam skripsi ini.

Pada kesempatan kali ini penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih yang sebesar- besarnya kepada:

1. Allah SWT yang selalu mempermudah dan meridhoi segala urusan penulis (seorang hamba) sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini, “Syukur Alhamdulillah”.
2. Ibu Harmiyati, ibuku tercinta yang menjadi tujuan hidupku. Perempuan yang paling aku muliakan dan perempuan yang paling tangguh serta pantang menyerah dalam hidup ini.
3. Bapak Indra Mora Siregar, ayahku tercinta yang menjadi Super Heroku setiap saat. Tidak pernah berhenti menyayangiku, mendukungku dan memberiku perhatian dari aku kecil hingga sampai saat ini.
4. Kepada diriku sendiri, Dwi Miftahuljanah.S yang sudah mampu menyelesaikan tanggung jawab skripsi ini. Terimakasih sudah tumbuh menjadi pribadi yang kuat, tangguh dan pantang menyerah seperti Ibu dan Ayah.

5. Kedua saudara tersayangku, Kakak Eka Rahma Nanda dan Adik Nabil Al'Aziz Siregar. Terimakasih sudah tumbuh, bermain dan berkembang bersamaku sejak kecil. Semoga kita bertiga menjadi orang yang sangat sukses, amin. Dan terkhusus untuk adik kecilku tersayang (Adik Nabil), semoga bertumbuh menjadi laki-laki yang berani, pekerja keras, jujur, pantang menyerah dan bertanggung jawab, amin.
6. Keluarga besar tercinta yang terus memberikan doa, dorongan, dan motivasi sejak kecil hingga sampai saat ini.
7. Bapak Dr. Karyanto, S. Si., M. T. selaku Ketua Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung, terimakasih atas kesediannya untuk meluangkan waktu dalam memberikan arahan selama perkuliahan.
8. Bapak Prof. Dr. Ir. Muh Sarkowi, S.Si., M.Si., IPU. selaku dosen pembimbing pertama, terimakasih atas kesediannya untuk meluangkan waktu dalam memberikan bimbingan, arahan, kritik, masukan serta motivasi dengan penuh kesabaran dalam pengerjaan skripsi ini.
9. Bapak Dr. Agustya Adi Martha, M.T. selaku pembimbing kedua, terimakasih atas kesediannya untuk meluangkan waktu dalam memberikan bimbingan, arahan, kritik, masukan serta motivasi dengan penuh kesabaran dalam pengerjaan skripsi ini.
10. Bapak Prof. Ir. Suharno, M.Sc.,Ph.D. IPU. ASEAN Eng. selaku dosen penguji yang telah meluangkan waktunya, serta senantiasa memberikan saran dan masukan serta kritik yang berarti bagi penulis.
11. Bapak Rudy Zefrianto S., S.T., M.T.. selaku dosen pembimbing akademik yang telah memberikan arahan serta motivasi kepada penulis selama menjadi mahasiswa Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung.
12. Para dosen-dosen Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung yang penulis hormati terima kasih untuk semua ilmu yang telah diberikan.
13. Sahabat seperjuangan di bangku perkuliahan Cindi Fintasari Saragih Jawak, Sri Devi Rezeki, Winda Aprilia Rosa dan Saiful Bahri yang saya sayangi telah kebersamai dalam empat tahun ini. Terima kasih telah menjadi teman berbagi cerita keluh kesah, suka dan duka, membantu penulis

dalam mengerjakan skripsi serta tak pernah henti memberikan dukungan dan saling menyemangati.

14. Keluarga besar Teknik Geofisika 2020 (Patakis), terima kasih telah membantu, memberikan semangat, dukungan, dan terima kasih untuk kebersamaan kalian.
15. Serta semua pihak yang terlibat, penulis mengucapkan banyak terima kasih.

Bandar Lampung, 30 Juli 2024
Penulis

Dwi Miftahuljanah.S
NPM. 2015051036

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	iii
<i>ABSTRACT</i>	iv
HALAMAN PERSETUJUAN	v
HALAMAN PENGESAHAN.....	vi
PERNYATAAN.....	vii
RIWAYAT HIDUP	viii
PERSEMBAHAN.....	x
MOTTO	xi
KATA PENGANTAR.....	xii
SANWACANA	xiii
DAFTAR ISI.....	xvi
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR GAMBAR.....	xx
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Lokasi Daerah Penelitian.....	5
2.2 Geologi Regional Lokasi Penelitian.....	5
2.3 Statigrafi Lokasi Penelitian	8
2.4 Tektonik Sumatera Selatan.....	9
2.5 Seismisitas	12
2.6 Penelitian Terdahulu.....	14

III. LANDASAN TEORI.....	16
3.1 Gempa Bumi.....	16
3.2 Teori Gelombang.....	18
3.2.1 Gelombang Transversal	18
3.2.1 Gelombang Transversal	19
3.3 Gelombang Seismik	20
3.3.1 Gelombang Badan.....	21
3.2.2 Gelombang Permukaan	22
3.4 Mikrotremor	23
3.4.1 Frekuensi Dominan.....	26
3.4.2 Periode Dominan	28
3.4.3 Faktor Guncangan Tanah (Amplifikasi)	29
3.4.4 Indeks Kerentanan Tanah	31
3.4.5 Ketebalan Sedimen	34
IV. METODOLOGI.....	37
4.1 Tempat dan Waktu Penelitian	37
4.2 Bahan dan Alat	37
4.3 Prosedur Penelitian.....	38
4.3.1 Pengolahan Data Mikrotremor	38
4.3.2 Penentuan Nilai Frekuensi Dominan dan Amplifikasi	42
4.3.3 Perhitungan Periode Dominan	43
4.3.4 Perhitungan Indeks Kerentanan Tanah	43
4.3.5 Perhitungan Ketebalan Sedimen	44
4.3.6 Overlay Peta.....	44
4.4 Jadwal Kegiatan	44
4.5 Diagram Alir.....	46
V. HASIL DAN PEMBAHASAN	47
5.1 Analisis Frekuensi Dominan (f_0)	47
5.2 Analisis Faktor Amplifikasi (A_0).....	52
5.3 Analisis Periode Dominan (T_0).....	57
5.4 Analisis Kerentanan Tanah (K_g).....	61
5.5 Analisis Ketebalan Lapisan Sedimen (H).....	65

5.6	Profile Ketebalan Lapisan Lunak	69
5.7	Hubungan HVSR Dengan Geoteknik.....	77
VI.	KESIMPULAN DAN SARAN.....	80
6.1	Kesimpulan.....	80
6.2	Saran.....	81
	DAFTAR PUSTAKA	82
	LAMPIRAN.....	88

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Kalisifikasi tanah berdasarkan nilai frekuensi dominan mikrotremor oleh Kanai.....	27
Tabel 2. Klasifikasi tanah Kanai – Omote Nakajima	28
Tabel 3. Klasifikasi tanah berdasarkan Zhao	29
Tabel 4. Tabel pembagian zona amplifikasi tanah	31
Tabel 5. Klasifikasi nilai kerentanan gempa	34
Tabel 6. Tipe profil tanah atau klasifikasi kelas tanah berdasarkan standar UBC (<i>Uniform Building Code</i>) dan EC8 (<i>Eurocode 8</i>) didasarkan pada nilai V_{s30}	36
Tabel 7. Bahan penelitian	37
Tabel 8. <i>Software</i> yang digunakan dalam penelitian.....	38
Tabel 9. Pelaksanaan kegiatan penelitian.....	45
Tabel 10. Klasifikasi nilai f_0 pada daerah penelitian	48
Tabel 11. Klasifikasi nilai A_0 pada daerah penelitian.....	53
Tabel 12. Klasifikasi nilai T_0 pada daerah penelitian	57
Tabel 13. Klasifikasi nilai K_g pada daerah penelitian.....	62
Tabel 14. Klasifikasi nilai H pada daerah penelitian.....	66

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Lokasi penelitian.....	6
Gambar 2. Peta geologi lokasi penelitian	7
Gambar 3. Stratigrafi regional cekungan Sumatera Selatan.....	8
Gambar 4. Cekungan di daerah Sumatra	10
Gambar 5. Peta seismisitas Indonesia 2023	13
Gambar 6. Pertemuan lempeng tektonik	17
Gambar 7. Pada bagian a) merupakan gelombang longitudinal dan pada bagian b) merupakan gelombang transversal.....	19
Gambar 8. Perambatan gelombang dalam suatu medium	20
Gambar 9. Penjalaran gelombang seismik	20
Gambar 10. Gelombang- <i>P</i>	21
Gambar 11. Gelombang- <i>S</i>	22
Gambar 12. Ilustrasi gelombang <i>rayleigh</i>	22
Gambar 13. Ilustrasi gelombang <i>love</i>	23
Gambar 14. Perbedaan sinyal tremor dan gempa bumi.....	24
Gambar 15. Konsep dasar amplifikasi gelombang seismik.....	30
Gambar 16. <i>Surface ground deformation</i>	32
Gambar 17. Menginput data	39
Gambar 18. Kotak dialog <i>table</i> dan <i>graphic</i>	39
Gambar 19. Tools <i>H/V</i>	40
Gambar 20. <i>Windowing</i> data	41
Gambar 21. Kotak dialog <i>H/V</i>	41
Gambar 22. Contoh cara penentuan nilai frekuensi dominan dan amplifikasi...	42
Gambar 23. Diagram alir	46

Gambar 24. Peta persebaran frekuensi dominan (f_0)	51
Gambar 25. Peta persebaran nilai faktor amplifikasi (A_0)	56
Gambar 26. Peta persebaran nilai periode dominan (T_0).....	60
Gambar 27. Peta persebaran nilai indeks kerentanan tanah (K_g).....	64
Gambar 28. Peta persebaran nilai Ketebalan lapisan sedimen (H).....	68
Gambar 29. (a) Penampang ketebalan lapisan lunak pada <i>line</i> 1 (b) Kontur topografi titik pengukuran (c) Kontur ketebalan lapisan lunak	69
Gambar 30. (a) Penampang ketebalan lapisan lunak pada <i>line</i> 2 (b) Kontur topografi titik pengukuran (c) Kontur ketebalan lapisan lunak	71
Gambar 31. (a) Penampang ketebalan lapisan lunak pada <i>line</i> 3 (b) Kontur topografi titik pengukuran (c) Kontur ketebalan lapisan lunak	73
Gambar 32. (a) Penampang ketebalan lapisan lunak pada <i>line</i> 4 (b) Kontur topografi titik pengukuran (c) Kontur ketebalan lapisan lunak	75
Gambar 33. Zona rekomendasi pembangunan infrastruktur	77
Gambar 34. Komparasi kerentanan tanah daerah penelitian	79

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia dilewati tiga pertemuan lempeng aktif yaitu lempeng Eurasia, lempeng Indo-Australia, dan lempeng Pasifik. Kawasan Indonesia bagian barat terjadi interaksi antara lempeng Eurasia dan lempeng Indo-Australia yang membentang di sebelah barat Pulau Sumatera menerus ke selatan Pulau Jawa hingga Nusa Tenggara (Supartoyo dan Abdurahman, 2008). Letak Indonesia pada tiga lempeng aktif tersebut menjadi salah satu indikasi bahwa Indonesia memiliki potensi gempa bumi yang cukup besar (Irsyam, dkk, 2010).

Gempa bumi adalah bencana alam yang paling banyak terjadi di Indonesia. Hal ini disebabkan Indonesia berada di jalur cincin gunung api Asia Pasifik yang merupakan jalur rawan terjadi aktivitas seismik, berada pada daerah yang sering terjadi gempa dan aktivitas vulkanik (National Geographic, 2017). Gempa bumi merupakan suatu kejadian alami yang sampai saat ini belum dapat diprediksi waktu, kapan dan seberapa kuat intensitas Gempa bumi yang akan terjadi secara akurat. Gempa bumi menjadi salah satu bencana yang perlu diwaspadai karena selain tidak dapat diprediksi, Gempa bumi juga dapat menimbulkan kerusakan yang parah bahkan dapat menimbulkan korban jiwa.

Kabupaten Musi Banyuasin, terletak di Provinsi Sumatera Selatan, Indonesia, merupakan sebuah wilayah yang kaya akan keragaman geologi. Secara geologi, Kabupaten Musi Banyuasin terletak di bagian tenggara Pulau Sumatera, yang merupakan bagian dari Sabuk *Fold* Belakang Sumatera

(*Sumatra Back-Arc Fold Belt*) dan wilayah yang terpengaruh oleh aktivitas tektonik dari Cekungan Sumatera Selatan (*South Sumatra Basin*). Wilayah ini terbentuk oleh serangkaian proses geologi selama jutaan tahun.

Secara umum, geologi Musi Banyuasin didominasi oleh formasi batuan sedimen, yang meliputi batu pasir, batu lempung, dan batu gamping. Formasi-formasi ini terbentuk dari pengendapan material sedimen di dasar laut, sungai, dan danau selama periode geologis yang panjang. Selain itu, Kabupaten Musi Banyuasin juga terletak di dalam cincin api pasifik, yang merupakan wilayah dengan aktivitas vulkanik dan seismik yang tinggi. Meskipun tidak terdapat gunung berapi aktif di wilayah ini, aktivitas tektonik yang terkait dengan cincin api pasifik dapat menyebabkan gempa bumi yang signifikan di wilayah tersebut.

Sebagai wilayah yang didominasi oleh batuan sedimen, maka perlu dilakukan pemahaman terkait ketebalan lapisan sedimen dan kerentanan tanah. Ketebalan lapisan sedimen merupakan salah satu faktor yang memengaruhi terjadinya *local site effect*, yaitu bahasan tentang pengaruh kondisi geologi lokal daerah sekitar terhadap getaran tanah yang terjadi akibat gempa bumi. Nakamura (2000) menyatakan bahwa nilai faktor penguatan (amplifikasi) tanah berkaitan dengan perbandingan kontras impedansi lapisan permukaan dengan lapisan di bawahnya. Semakin besar perbandingan kontras impedansi kedua lapisan tersebut maka nilai faktor amplifikasinya juga semakin tinggi. Nilai amplifikasi yang tinggi berpotensi menimbulkan kerusakan disekitarnya, sehingga informasi mengenai ketebalan lapisan sedimen pada suatu daerah memiliki peran yang penting dalam mitigasi bencana gempa bumi.

Menurut Nakamura ketebalan lapisan sedimen dipengaruhi deformasi lapisan tanah yang dapat merepresentasikan ketebalan lapisan lapuk di atas batuan dasar, sedangkan kerentanan lapisan tanah bermanfaat untuk memprediksi zona lemah saat terjadi gempa bumi dan rekahan tanah akibat gempa bumi (Daryono, 2011). Ketebalan lapisan sedimen merupakan suatu bagian yang

perlu diperhatikan dalam penentuan lokasi pembangunan, karena akan berpengaruh terhadap ketahanan dan keamanan bangunan.

Salah satu kajian yang bisa dilakukan untuk mengetahui distribusi ketebalan lapisan sedimen dan kerentanan tanah di suatu daerah yaitu dengan menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr). Metode ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi resiko bencana gempa bumi berdasarkan gambaran kondisi geologi di wilayah tersebut melalui analisis parameter frekuensi dominan (f_0), faktor amplifikasi (A_0), periode dominan (T_0), kerentanan tanah (K_g) dan ketebalan sedimen (H).

Ketebalan sedimen memengaruhi amplifikasi (perbesaran gelombang gempa bumi) di daerah tersebut, karena gelombang gempa bumi yang merambat di bawah tanah akan teramplifikasi apabila melewati sedimen yang cukup tebal. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi dan gambaran yang dapat dipertimbangkan sebagai referensi penataan bangunan dan pengembangan wilayah dimasa yang akan datang.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan nilai frekuensi dominan (f_0), amplifikasi (A_0), periode dominan (T_0), indeks kerentanan tanah (K_g) dan ketebalan sedimen (H)
2. Menganalisis nilai frekuensi dominan dan periode dominan pada daerah penelitian
3. Menganalisis nilai faktor amplifikasi dan indeks kerentanan tanah pada daerah penelitian
4. Menganalisis nilai ketebalan lapisan sedimen pada daerah penelitian
5. Menganalisis penampang lapisan lunak dan lapisan keras pada daerah penelitian

1.3 Batasan Masalah

Adapun Batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Data yang digunakan merupakan data sekunder hasil dari pengukuran HVSR sebanyak 50 titik pengukuran di daerah Kabupaten Musi Banyuasin
2. Daerah penelitian terbatas yaitu hanya sekitar 0,15 km² dari total luas wilayah Musi Banyuasin 14.265,96 km²
3. Penelitian ini dilakukan untuk penyediaan informasi berupa peta nilai frekuensi dominan, amplifikasi, periode dominan, kerentanan tanah dan ketebalan sedimen yang dapat digunakan sebagai parameter dalam penentuan daerah rawan gempa bumi

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah dapat memberikan informasi tentang kondisi geologi dari daerah penelitian, sebagai informasi tentang parameter HVSR apa saja yang dapat berpengaruh pada kerawanan gempa di daerah penelitian seperti nilai frekuensi dominan, amplifikasi, periode dominan, kerentanan tanah dan ketebalan sedimen. Diharapkan penelitian ini dapat dijadikan suatu referensi ataupun acuan pada penelitian selanjutnya.

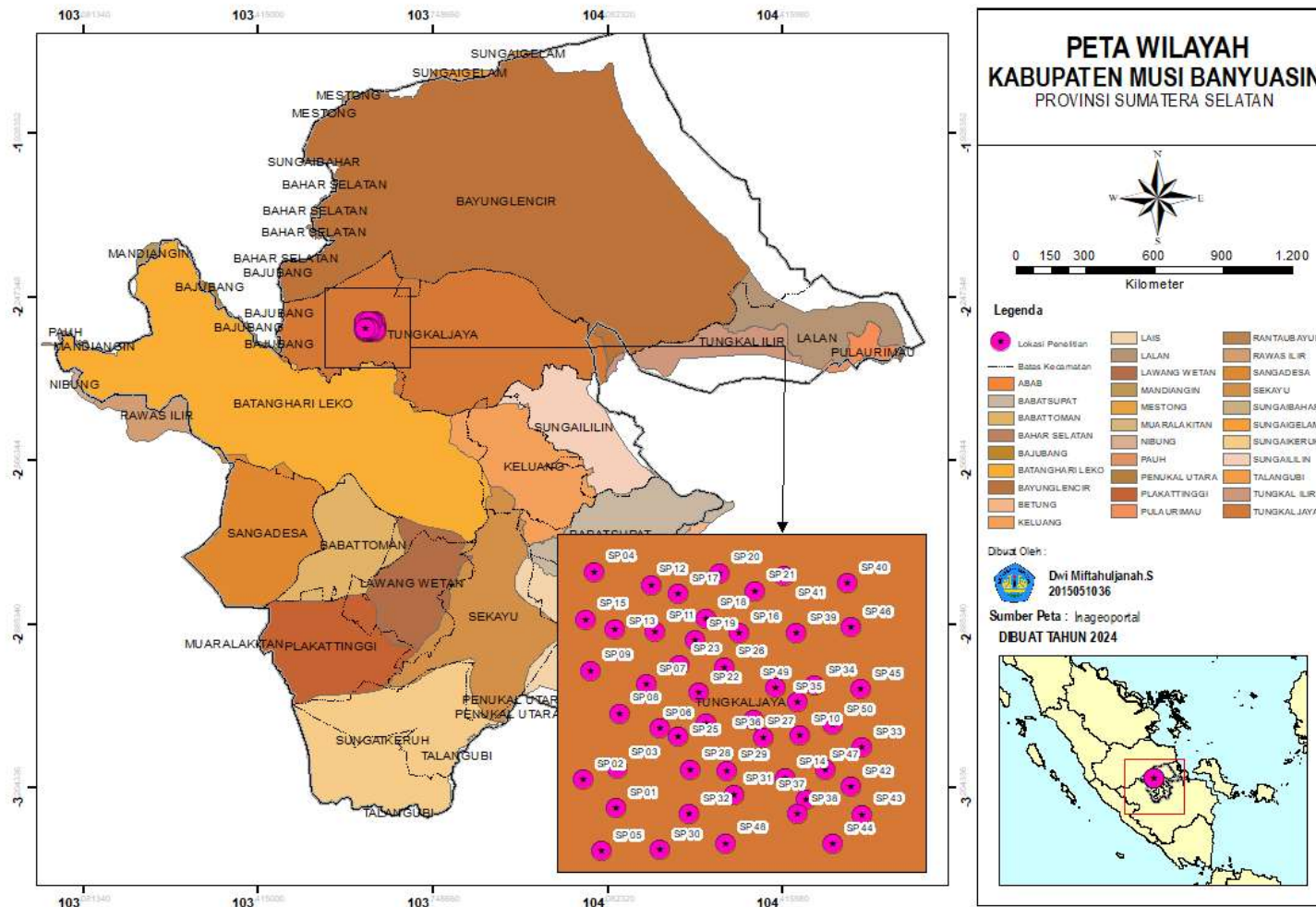
II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Lokasi Daerah Penelitian

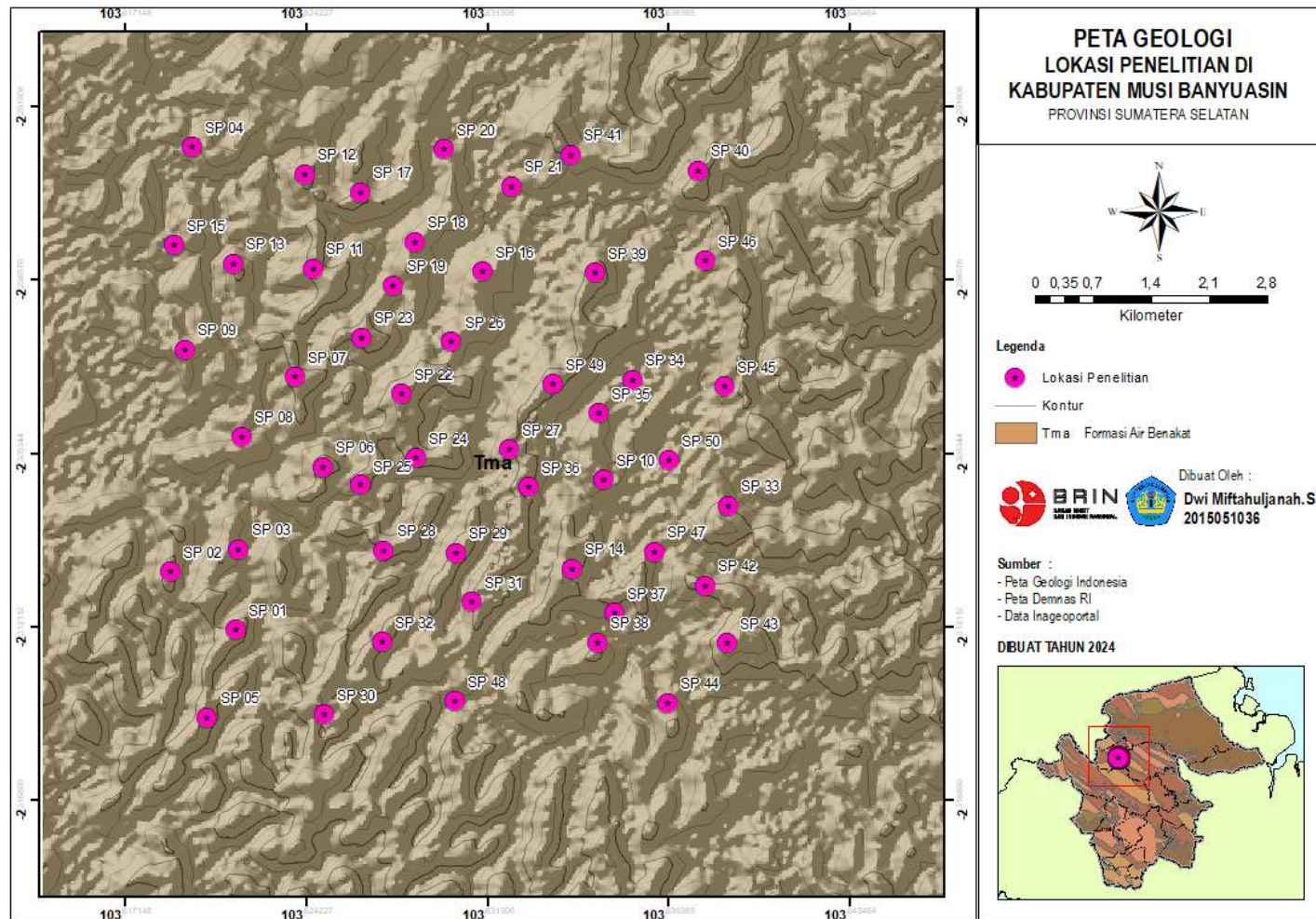
Lokasi penelitian secara administratif terletak di Kecamatan Tungkal Jaya, Kabupaten Musi Banyuasin, Provinsi Sumatera Selatan. Lokasi penelitian ini terletak pada koordinat geografis $2^{\circ} 29'42''$ LS – $2^{\circ} 31'55''$ LS dan $103^{\circ} 61'89''$ BT– $103^{\circ} 64'07''$ BT. Luasan dari daerah penelitian adalah sekitar $0,15 \text{ km}^2$ dari total luas wilayah Musi Banyuasin $14.265,96 \text{ km}^2$. Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada **Gambar 1**.

2.2 Geologi Regional Lokasi Penelitian

Kabupaten Banyuasin, yang terletak di Provinsi Sumatera Selatan, Indonesia, memiliki geologi yang menarik. Terletak dalam cekungan Sumatera Selatan, wilayah ini adalah bagian dari struktur geologi kompleks Pulau Sumatera. Pada penelitian ini, titik lokasi penelitian terletak di Formasi Air Benakat. Formasi Air Benakat adalah formasi geologi yang signifikan di cekungan Sumatera Selatan, terdiri dari batuan sedimen seperti batupasir, batulempung, dan batugamping, yang ditemukan pertama kali di desa Air Benakat, Kabupaten Muara Enim, Sumatera Selatan. Dengan rentang usia dari Trias Akhir hingga Miosen Awal, formasi ini menjadi salah satu sumber utama minyak dan gas bumi di wilayah tersebut karena memiliki porositas dan permeabilitas yang tinggi. Potensi sumber daya alam di Kabupaten Banyuasin meliputi minyak dan gas bumi yang diekstraksi dari cekungan Sumatera Selatan, serta batu bara dan tambang emas. Peta geologi pada penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 1. Lokasi penelitian



Gambar 2. Peta geologi lokasi penelitian

2.3 Statigrafi Lokasi Penelitian

Stratigrafi daerah cekungan Sumatra Selatan secara umum dapat dikenal satu *megacycle* (daur besar) yang terdiri dari suatu transgresi dan diikuti regresi. Formasi yang terbentuk selama fase transgresi dikelompokkan menjadi Kelompok Telisa (Formasi Talang Akar, Formasi Baturaja, dan Formasi Gumai).. Pada penelitian ini, titik lokasi berada dalam formasi Air Benakat. Kelompok Palembang diendapkan selama fase regresi (Formasi Air Benakat, Formasi Muara Enim, dan Formasi Kasai), sedangkan Formasi Lemat dan older Lemat diendapkan sebelum fase transgresi utama. Pada penelitian ini, titik lokasi berada dalam formasi Air Benakat Stratigrafi Cekungan Sumatra Selatan menurut (Susilawati dan Ward, 2006) adalah sebagai berikut :

KALA	KELOMPOK	FORMASI	LITOLOGI	PEMERIAN	KETEBALAN (m)
Kuarter	Palembang	Aluvium		kerakal, kerikil, pasir, lempung, bongkah batuan	0-20
Pliosen		Kasai		batu apung, tuf asam tuf, batulempung tufan dan aglomerat	50-100
		Muara Enim		batulempung dan batubara	450-750
Akhir		Air Benakat		batulempung kebiruan dan batupasir glaukonitik	800-1000
Miosen	Telisa	Gumai		batulempung hijau-biru dengan batupasir pembawa nodul batugamping tipis setempat dan serpih	300-450
Tengah				hamparan batugamping dan serpih fasies terumbu	40-160
Oligosen		Baturaja		batupasir dan batupasir serpihan kompak, batubara tipis	200-860
		Talang Akar		batulempung merah, tuf and batupasir setempat mengeras oleh intrusi	0-637
Eosen		Lahat			
Pra-Tersier				sekis, filit, batusabak, marmer	

tuf batulempung batupasir batugamping batubara
 intrusi sekis, filit, batusabak, marmer

Lokasi Penelitian

Gambar 3. Stratigrafi regional cekungan Sumatera Selatan (Susilawati dan

Ward, 2006)

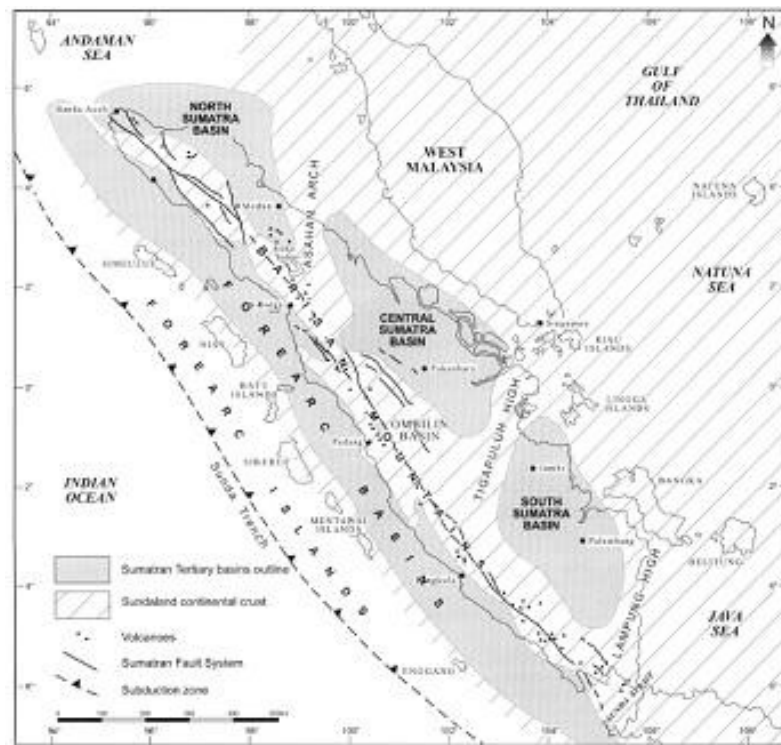
Formasi Lower Palembang (Air Benakat) diendapkan selama awal fase siklus regresi. Komposisi dari formasi ini terdiri dari batupasir glaukonitan, batulempung, batulanau, dan batupasir yang mengandung unsur karbonatan. Pada bagian bawah dari Formasi Lower Palembang kontak dengan Formasi Telisa. Ketebalan dari formasi ini bervariasi dari 3300 – 5000 kaki (sekitar 1000 – 1500 m). Fauna-fauna yang dijumpai pada Formasi Lower Palembang ini antara lain *Orbulina Universa d'Orbigny*, *Orbulina Suturalis Bronimann*, *Globigerinoides Subquadratus Bronimann*, *Globigerina Venezuelana Hedberg*, *Globorotalia Peripronda Blow & Banner*, *Globorotalia Venezuelana Hedberg*, *Globorotalia Peripronda Blow & Banner*, *Globorotalia mayeri Cushman & Ellis*, yang menunjukkan umur Miosen Tengah N12-N13. Formasi ini diendapkan di lingkungan laut dangkal.

2.4 Tektonik Sumatera Selatan

Pulau Sumatra terletak di baratdaya dari Kontinen *Sundaland* dan merupakan jalur konvergensi antara Lempeng Hindia-Australia yang menyusup di sebelah barat Lempeng Eurasia/*Sundaland*. Konvergensi lempeng menghasilkan subduksi sepanjang Palung Sunda dan pergerakan lateral menganan dari Sistem Sesar Sumatra. Pulau Sumatra diinterpretasikan dibentuk oleh kolisi dan *suturing* dari mikrokontinen di Akhir Pra-Tersier (Pulunggono dan Cameron, 1984; dalam Barber dkk, 2005). Sekarang Lempeng Samudera Hindia subduksi di bawah Lempeng Benua Eurasia pada arah N20°E dengan rata-rata pergerakannya 6 – 7 cm/tahun.

Karakteristik Awal Tersier Sumatra ditandai dengan pembentukan cekungan-cekungan belakang busur sepanjang Pulau Sumatra, yaitu Cekungan Sumatra Utara, Cekungan Sumatra Tengah, dan Cekungan Sumatra Selatan. Cekungan Sumatera Selatan terbentuk melalui serangkaian proses geologis yang berlangsung selama jutaan tahun. Proses dimulai dengan subduksi lempeng tektonik, di mana lempeng Indo-Australia menunjam di bawah lempeng Eurasia, menyebabkan terakumulasinya material sedimen dari erosi daratan dan hasil aktivitas vulkanik di dasar laut

sepanjang tepi cekungan. Material ini kemudian mengalami diagenesis, di mana tekanan dan panas tinggi menyebabkan kompaksi dan pembentukan batuan sedimen seperti batupasir, batulempung, dan batugamping. Selama periode subduksi ini juga terjadi deformasi tektonik yang signifikan, termasuk pergeseran lateral, perlipatan, dan patahan, yang menciptakan struktur geologi kompleks seperti sesar dan lipatan. Aktivitas vulkanik terus berlanjut, menambahkan material vulkanik ke dalam cekungan yang kemudian mengalami proses serupa. Selain itu, panas dan tekanan tinggi di dalam kerak bumi juga menyebabkan metamorfisme pada batuan di sekitar cekungan, menghasilkan batuan metamorfik seperti batuan granulit. Proses-proses ini terus berlanjut hingga masa kini, membentuk cekungan Sumatera Selatan yang kaya akan sumber daya alam dan memiliki struktur geologi yang kompleks.



Gambar 4. Cekungan di daerah Sumatra (Barber dkk, 2005)

Konfigurasi cekungan pada daerah Sumatra berhubungan langsung dengan kehadiran dari subduksi yang menyebabkan *non-volcanic fore-*

arc dan *volcano-plutonik back-arc*. Sumatra dapat dibagi menjadi 5 bagian (Darman dan Sidi, 2000):

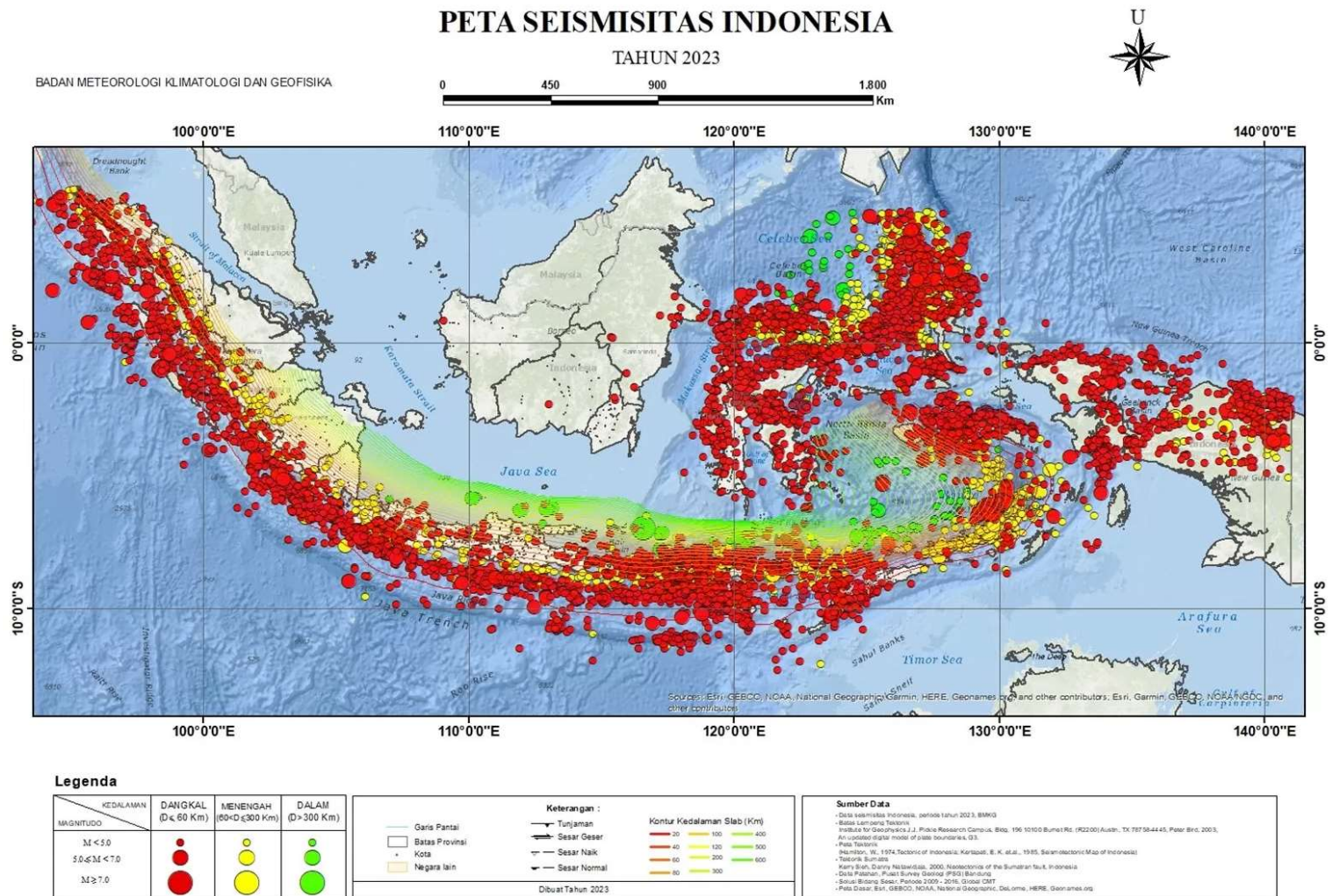
1. *Sunda outer-arc ridge*, berada sepanjang batas cekungan *fore-arc* Sunda dan yang memisahkan dari lereng *trench*.
2. Cekungan *Fore-arc* Sunda, terbentang antara akresi non-vulkanik punggung *outer-arc* dengan bagian di bawah permukaan dan vulkanik *back-arc* Sumatra.
3. Cekungan *Back-arc* Sumatra, meliputi Cekungan Sumatra Utara, Tengah, dan Selatan. Sistem ini berkembang sejalan dengan depresi yang berbeda pada bagian bawah Bukit Barisan
4. Bukit Barisan, terjadi pada bagian axial dari pulaunya dan terbentuk terutama pada Perm-Karbon hingga batuan Mesozoik.
5. *Intra-arc* Sumatra, dipisahkan oleh *uplift* berikutnya dan erosi dari daerah pengendapan terdahulu sehingga memiliki litologi yang mirip pada *fore-arc* dan *back-arc basin*.

Tatanan tektonik Cekungan Sumatra Selatan dibatasi oleh batuan Pra-Tersier Perbukitan Barisan di bagian Baratdaya sebagai sumber sedimentasi Oligosen-Kuarter, pada bagian Timur dibatasi oleh Paparan Sunda yang merupakan bagian dari tinggian Bentong-Raub, Pegunungan Tigapuluh pada bagian Barat yang membatasinya terhadap Cekungan Sumatra Tengah, dan Tinggian Lampung pada bagian Tenggara yang membatasinya terhadap Cekungan Sunda (De Coster, 1974) dan (Barber dkk., 2005).

Perkembangan struktur maupun evolusi Cekungan Sumatra Selatan merupakan hasil interaksi dari ketiga arah struktur utama yaitu Pola Sumatra dengan arah Baratlaut-Tenggara, Pola Jambi dengan arah Timurlaut-Baratdaya, dan Pola Sunda dengan arah Utara-Selatan. Dengan dibatasi struktur geologi tersebut, maka Cekungan Sumatra Selatan diklasifikasi menjadi lima (5) sub cekungan yaitu Sub Cekungan Jambi, Palembang Utara, Palembang Selatan, Palembang Tengah, dan Bandarjaya (Bishop, 2001; Ginger & Fielding, 2005).

2.5 Sismisitas

Indonesia merupakan wilayah dengan sismisitas tertinggi di muka bumi. Hal tersebut ditunjukkan oleh gempa-gempa beberapa tahun terakhir ini yang melanda Indonesia. Kejadian gempa terjadi di dekat batas pertemuan antara lempeng Samudra yang menunjam masuk ke bawah lempeng benua diklasifikasikan sebagai zona subduksi. Pada penelitian ini lokasi terletak di Kabupaten Banyuasin yang merupakan bagian dari pulau Sumatera. Zona subduksi Sumatera merupakan wilayah yang paling sering melepaskan energi gempa bumi. Peta seismisitas Indonesia tahun 2023 menunjukkan aktivitas kegempaan di Indonesia memang sangat tinggi. Hampir seluruh wilayah Indonesia merupakan kawasan rawan gempa bumi yang diperlihatkan pada **Gambar 5**. Hal tersebut disebabkan oleh pergerakan relative antar lempeng tektonik di Indonesia dan aktivitas sesar-sesar regional regional maupun local sehingga ribuangempa terjadi setiap tahunnya (BMKG, 2010). Salah satunya wilayah Sumatera bagian Selatan memiliki seismisitas yang tinggi.



Gambar 5. Peta seismisitas Indonesia 2023 (BMKG, 2023)

2.6 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu terkait sedimentasi pada cekungan Sumatera telah dilakukan oleh (Setiadai dkk., 2010) dengan menggunakan metode gaya berat untuk mengetahui konfigurasi cekungan, baik secara lateral maupun vertikal, berdasarkan atas parameter fisik rapat massa (densitas) batuan. Analisis data gaya berat dilakukan dengan menggunakan metode analisis spektrum yang bertujuan untuk memperkirakan kedalaman sumber anomali dalam dan dangkal, dan kemudian untuk memisahkan anomali regional dan sisa (residual) digunakan metode *moving average*. Hasil analisis spektrum menunjukkan bahwa terdapat dua bidang diskontinuitas rapat massa di daerah Sumatra Selatan, yaitu pada kedalaman sekitar 3,05 km yang merefleksikan kedalaman rata-rata batuan alas, dan pada kedalaman 15,98 km yang mencerminkan kedalaman rata-rata bidang Moho.

Penelitian terdahulu terkait kegempaan yang terjadi di Sumatera Selatan telah dilakukan oleh (Maulidah dan Santosa., 2016) dengan menggunakan metode *Double Difference* untuk merelokasi gempa bumi. Wilayah yang direlokasi adalah Sumatera Selatan pada 1° - 4° LS dan 102° - 106° BT. Hasil relokasi dapat memberikan informasi tentang koordinat episenter yang lebih akurat. Tidak hanya koordinat episenter yang telah terelokasi dengan baik tetapi juga nilai kedalaman hiposenter. Pergeseran hiposenter menyebar ke segala arah dan tidak memiliki kecenderungan ke arah tertentu, namun demikian perubahan hiposenter terbanyak ke arah timur laut. Relokasi menggunakan hypoDD menunjukkan adanya peningkatan kualitas relokasi apabila dilihat dari hasil residual.

Penelitian terkait metode mikrotremor di Sumatera Selatan telah dilakukan oleh (Sutantio., 2018) yang dilakukan untuk untuk menentukan karakteristik dinamik tanah berupa frekuensi dominan dan faktor amplifikasi tanah. Berdasarkan hasil pengukuran dua karakteristik tersebut menunjukkan bahwa daerah penelitian memiliki nilai faktor amplifikasi, indeks Kg, PGA, dan GSS yang rendah. Hasil ini menunjukkan apabila terjadi gempa bumi di daerah penelitian maka efek kerusakan yang ditimbulkan oleh gempa bumi tersebut

akan relatif kecil. Nilai frekuensi dominan tanah berada dalam rentang nilai 1,12 Hz – 6,2 Hz. Dalam bidang geoteknik nilai ini dapat digunakan sebagai batas agar bangunan yang dibangun memiliki respon spektrum diluar rentang nilai tersebut untuk mencegah resonansi gelombang dari permukaan tanah menuju bangunan.

Penelitian lain juga dilakukan oleh (Yuliatmoko., 2020) yang membahas mengenai *seismic gap* Sumatera meggunakan anomaly gravitasi (gaya berat). Penelitian ini bertujuan untuk memetakan zona *seismic gap* dengan data seismik dan dianalisis dengan data anomaly gravitasi. Berdasarkan hasil analisis, Berdasarkan hasil analisis, zona *seismic gap* berada pada zona transisi anomaly gravitasi menengah ke rendah hal ini menandakan perbedaan densitas batuan di daerah transisi tersebut dan adanya punggungan bawah laut sehingga daerah tersebut mengalami locking stress. Gaya tekanan dari lempeng maupun dari aktivitas sesar lokal pada batuan tertahan dalam waktu yang cukup lama, sehingga berpotensi terjadinya gempa besar.

III. LANDASAN TEORI

3.1 Gempa Bumi

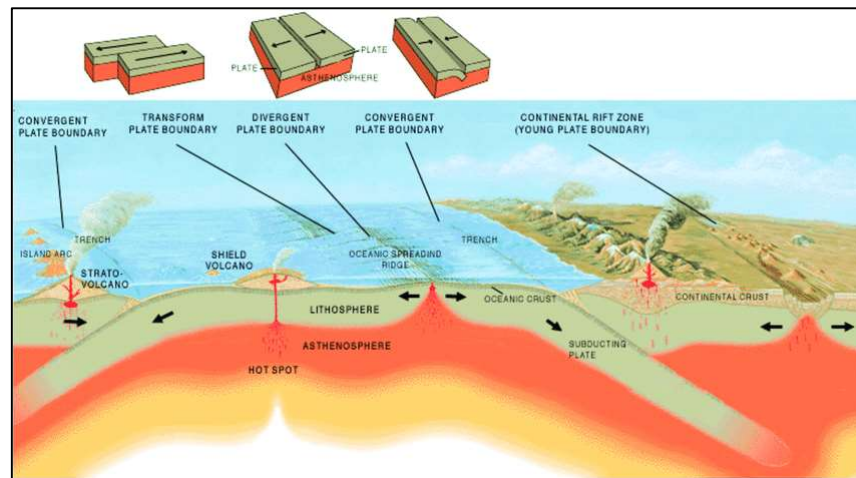
Gempa bumi merupakan salah satu hal yang dapat menimbulkan penyaluran gelombang seismik. Gempa bumi merupakan gejala alam yang disebabkan oleh pelepasan energi regangan elastis batuan yang disebabkan adanya deformasi batuan yang terjadi di litosfer. Deformasi batuan terjadi akibat adanya tekanan (*stress*) dan tarikan (*strain*) pada lapisan bumi. Tekanan atau tarikan yang terus menerus menyebabkan daya dukung pada batuan akan mencapai batas maksimum dan mulai terjadi pergeseran dan akhirnya terjadi patahan secara tiba-tiba. Energi *stress* yang tersimpan akan dilepaskan dalam bentuk getaran yang dikenal dengan sebutan gempa bumi (Fulki, 2011).

Gempa bumi adalah getaran asli bersumber di dalam bumi yang kemudian merambat ke permukaan bumi akibat rekahan bumi pecah dan bergeser dengan keras. Penyebab gempa bumi dapat berupa dinamika bumi (tektonik), aktivitas gunung api, akibat meteor jatuh, longsoran (di bawah muka air laut), ledakan bom nuklir di bawah permukaan (Nur, 2010). Gempa bumi adalah getaran bumi yang terjadi sebagai akibat dari terlepasnya energi yang terkumpul secara tiba-tiba dalam batuan yang mengalami deformasi. Besarnya gelombang yang beragam mulai dari yang sangat kecil sehingga sulit dirasakan hingga guncangan yang dahsyat, sehingga mampu meruntuhkan bangunan yang kokoh (Noor, 2005).

Gempa bumi dapat disebabkan oleh beberapa hal, antara lain: *tectonic force* yang berkaitan erat dengan pembentukan patahan (*fault*), interaksi antar lempeng pembentuk kulit bumi, gempa vulkanik yang berkaitan dengan

aktivitas gunung api jatuhnya atau runtuhnya massa batuan/tanah yang berukuran besar dan ledakan konvensional dan nuklir serta dampak tumbukan meteorit (Villavarde, 2009).

Batas lempeng tektonik dapat dibedakan atas tiga bentuk utama yaitu konvergen, divergen dan sesar mendatar. Pada bentuk konvergen lempeng yang satu relatif bergerak menyusup di bawah lempeng yang lain. Pada bentuk divergen kedua lempeng saling menjauh sehingga selalu terbentuk material baru dari dalam bumi yang menyebabkan munculnya pegunungan di dasar laut yang disebut punggung tengah samudera. Sedangkan pada tipe jenis sesar mendatar kedua lempeng saling bergerak mendatar. Sketsa jenis pertemuan lempeng tektonik dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 6. Pertemuan lempeng tektonik (Ibrahim, 2005)

Akibat pergerakan lempeng tektonik, maka di sekitar perbatasan lempeng akan terjadi akumulasi energi yang disebabkan baik karena tekanan, regangan ataupun gesekan. Energi yang terakumulasi ini jika melewati batas kemampuan atau ketahanan batuan akan menyebabkan patahnya lapisan batuan tersebut (Ibrahim, 2005).

Pergerakan lempeng selain memicu terjadi gempa bumi juga dapat menyebabkan terbentuknya sesar atau sebagai sumber gempa baru di sebagian besar wilayah Indonesia. Menurut Munir (2003) pergerakan kerak

bumi di sepanjang patahan menimbulkan guncangan yang kemudian merambat ke segala arah melalui materi-materi penyusun bumi. Ada beberapa jenis gempa bumi yang dapat diklasifikasi berdasarkan berbagai aspek. Menurut sumber terjadinya, gempa bumi dikelompokkan menjadi:

1. Gempa tektonik adalah gempa bumi yang berasal dari pergeseran lapisan-lapisan batuan sepanjang bidang sesar di dalam bumi.
2. Gempa vulkanik adalah gempa bumi yang berasal dari pergerakan magma karena aktivitas gunungapi.
3. Gempa longsor atau runtuh adalah gempa bumi yang terjadi karena aktivitas runtuh pada daerah pertambangan atau daerah tanah longsor.
4. Gempa buatan adalah gempa bumi yang terjadi karena adanya aktivitas manusia di kulit bumi yang menyebabkan getaran yang cukup kuat.

Berdasarkan kekuatannya atau magnitudo (M), gempa bumi dapat dibedakan:

1. Gempa bumi sangat besar dengan magnitudo lebih besar dari 8 SR.
2. Gempa bumi besar magnitudo antara 7 hingga 8 SR.
3. Gempa bumi merusak magnitudo antara 5 hingga 6 SR.
4. Gempa bumi sedang magnitudo antara 4 hingga 5 SR.
5. Gempa bumi kecil dengan magnitudo antara 3 hingga 4 SR.
6. Gempa bumi mikro magnitudo antara 1 hingga 3 SR.
7. Gempa bumi ultra mikro dengan magnitudo lebih kecil dari 1 SR (Ibrahim, 2005).

3.2 Teori Gelombang

Gelombang adalah perambatan yang bersumber dari gangguan pada suatu medium. Pada peristiwa rambatan tersebut tidak disertai dengan perpindahan tempat secara permanen dari materi medium. Gelombang menurut arah getarannya dibagi dalam dua bagian yaitu :

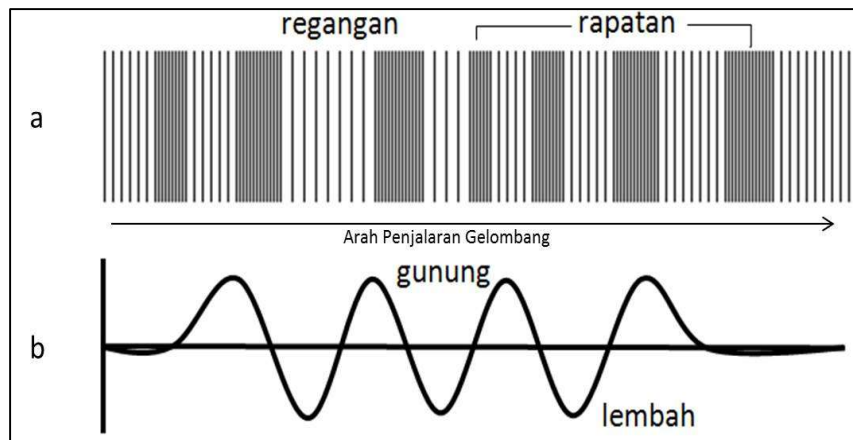
3.2.1 Gelombang Transversal

Gelombang Transversal adalah gelombang yang arah getarnya tegak lurus dengan arah perambatannya, sehingga bentuk dari gelombang ini terdapat bukit dan lembah gelombang. Gelombang ini membutuhkan material solid

untuk merambat dengan efektif, hal tersebut menyebabkan gelombang ini tidak efektif merambat pada material cair dan gas. Gelombang transversal relatif lebih lemah jika dibandingkan dengan gelombang longitudinal (Crawford, 1968). Contoh gelombang transversal seperti gelombang pada tali dan gelombang permukaan air.

3.2.2 Gelombang Longitudinal

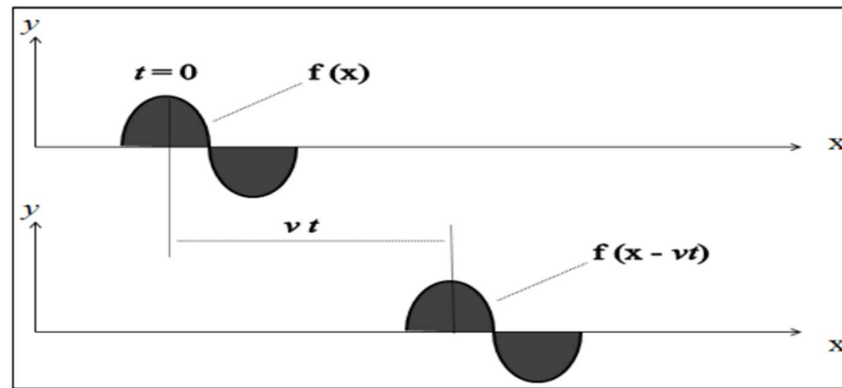
Gelombang longitudinal adalah gelombang yang arah getarannya berhimpit atau searah dengan arah rambatan gelombang. Gelombang ini tidak menunjukkan deretan bukit dan lembah, tetapi merupakan rapatan dan regangan. Gelombang ini juga disebut dengan gelombang kerapatan (*density waves*) karena kerapatan partikel berfluktuasi pada saat gelombang ini bergerak. Gelombang ini dapat menjalar pada material cair dan padat (Pain, 2021). Contoh gelombang ini seperti terdapat pada gelombang pegas. Pergerakan partikel kedua gelombang ini ditunjukkan pada berikut.



Gambar 7. Pada bagian a) merupakan gelombang longitudinal dan pada bagian b) merupakan gelombang transversal.

Gelombang adalah suatu gejala terjadinya perambatan suatu gangguan (*disturbance*) melewati suatu medium dimana setelah gangguan ini lewat keadaan medium akan kembali pada keadaan semula seperti sebelum gangguan itu datang. Misalkan gangguan ini merupakan suatu besaran sembarang y (berada pada sumbu Y pada koordinat kartesian) yang merambat

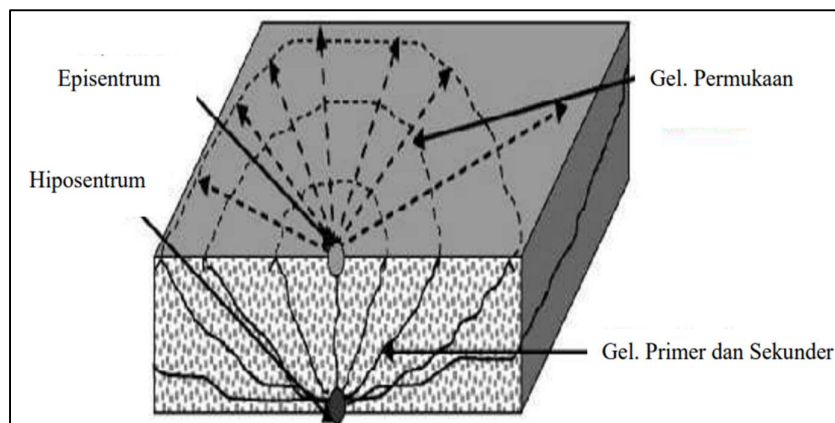
dalam suatu medium dengan kecepatan v sepanjang sumbu X seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 8. Perambatan gelombang dalam suatu medium

3.3 Gelombang Seismik

Gelombang seismik adalah gelombang yang merambat dari permukaan bumi berasal dari sumber aktivitas seismik seperti gempa bumi, erupsi gunung berapi, longsor, dan sebagainya. Ketika gempa terjadi, gelombang yang merambat melalui sekitar kerak bumi disebut gelombang seismik. Gelombang seismik merupakan gelombang yang merambat melalui bumi. Perambatan gelombang ini bergantung pada sifat elastisitas batuan. Gelombang seismik merupakan gelombang yang merambat melalui bumi. Perambatan gelombang ini bergantung pada sifat elastisitas batuan. Gelombang seismik termasuk dalam gelombang elastik karena medium yang dilalui yaitu bumi bersifat elastik.

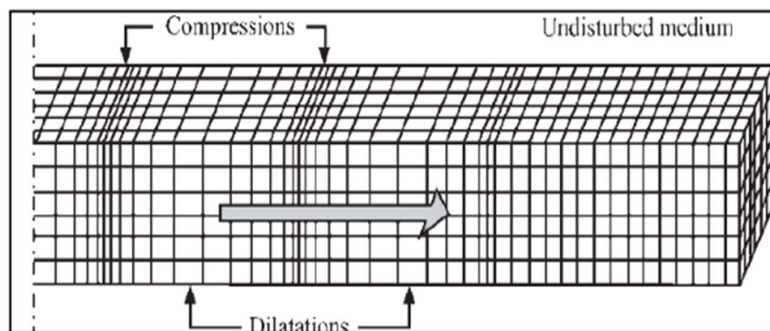


Gambar 9. Penjalaran gelombang seismik (Beiser dan Arthur, 1992)

Penjalaran gelombang tersebut diawali dari hiposentrum yang terletak di dalam lapisan bumi. Dari hiposentrum muncul gelombang primer dan sekunder yang dirambatkan ke segala arah. Episentrum adalah suatu data atau garis di permukaan bumi yang tepat berada di atas hiposentrum. Episentrum juga merupakan data atau garis dimana getaran pertama kali muncul atau terjadi di permukaan bumi. Dari episentrum kemudian gelombang permukaan dirambatkan secara horizontal ke segala arah.

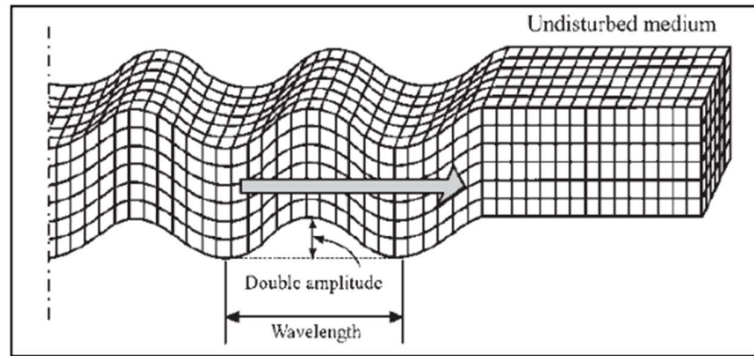
3.3.1 Gelombang Badan

Gelombang badan adalah gelombang yang menjalar dalam media elastik dan arah perambatannya keseluruhan bagian di dalam bumi. Berdasarkan gerak partikel pada media dan arah penjalarannya gelombang dapat dibedakan menjadi gelombang P dan gelombang S . Gelombang P disebut dengan gelombang kompresi/gelombang longitudinal. Gelombang ini memiliki kecepatan rambat paling besar dibandingkan dengan gelombang seismik yang lain, dapat merambat melalui medium padat dan cair, seperti lapisan batuan, air atau lapisan cair bumi.



Gambar 10. Gelombang- P (Elnashai dan Sarno, 2008)

Gelombang S disebut juga gelombang shear atau gelombang transversal. Gelombang ini memiliki cepat rambat yang lebih lambat bila dibandingkan dengan gelombang P dan hanya dapat merambat pada medium padat saja. Gelombang S tegak lurus terhadap arah rambatnya. Perambatan dari gelombang S ini disertai juga dengan gerakan berputar sehingga dapat lebih membahayakan dibandingkan gelombang P .

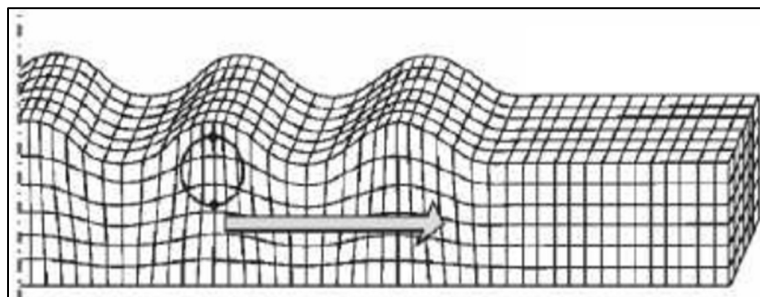


Gambar 11. Gelombang-S (Elnashai and Sarno, 2008)

3.3.2 Gelombang Permukaan

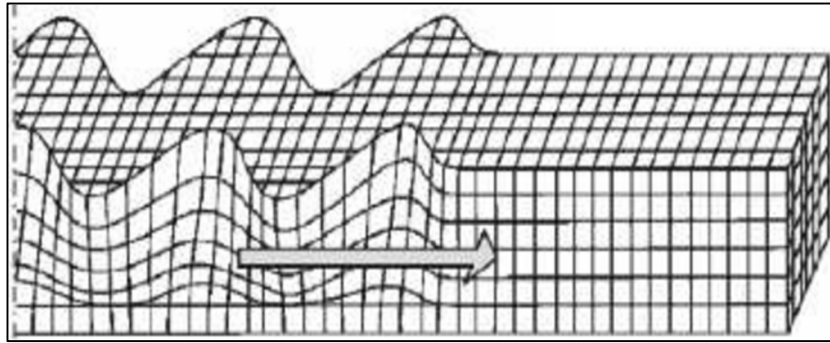
Gelombang permukaan merupakan gelombang seismik yang merambat secara paralel ke permukaan bumi tanpa adanya penyebaran energi ke dalam interior bumi. Berdasarkan pada sifat gerakan partikel media elastik, gelombang permukaan merupakan gelombang yang kompleks dengan frekuensi yang rendah dan amplitudo yang besar, yang menjalar akibat adanya efek *free surface* dimana terdapat perbedaan sifat elastik (Susilawati, 2008). Jenis dari gelombang permukaan ada dua yaitu gelombang *Reyleigh* dan gelombang *Love*.

Gelombang *Reyleigh* merupakan gelombang permukaan yang Orbit gerakannya elips tegak lurus dengan permukaan dan arah penjalarannya, seperti pada Gambar 11. Gelombang jenis ini adalah gelombang permukaan yang terjadi akibat adanya interferensi antara gelombang kompresi dengan gelombang geser secara konstruktif. Persamaan dari kecepatan gelombang *Reyleigh* (V_r) adalah sebagai berikut : $V_r = 0,92 \sqrt{Vs}$



Gambar 12. Ilustrasi gelombang *rayleigh* (Elnashai dan Sarno, 2008)

Gelombang *Love* merupakan gelombang permukaan yang menjalar dalam bentuk gelombang transversal yang merupakan gelombang *S* horizontal yang penjalarannya paralel dengan permukaannya (Gadallah dan Fisher, 2009) seperti pada Gambar 12.



Gambar 13. Ilustrasi gelombang *love* (Elnashai dan Sarno, 2008)

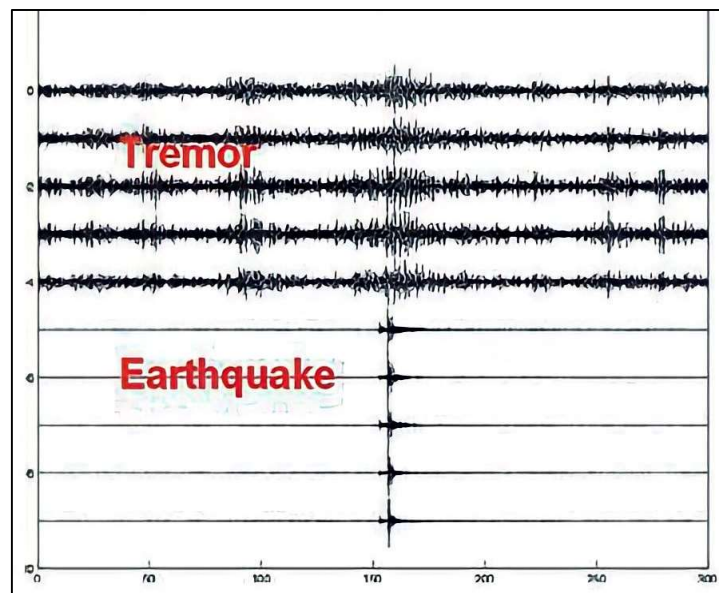
3.4 Mikrotremor

Mikrotremor atau biasa disebut dengan *ambient noise* adalah getaran tanah dengan amplitudo mikrotremor yang disebabkan oleh faktor alam ataupun faktor manusia. Peristiwa alam dapat berupa angin, guncangan tanah, gerakan tanah, Gempa bumi,, gelombang laut, sedangkan faktor manusia dapat berupa aktivitas manusia seperti aktivitas industri, bangunan, kendaraan dan lainlain. Karakteristik mikrotremor erat kaitannya dengan kondisi struktur tanah wilayah daerah penelitian untuk mengetahui keadaan bawah permukaan tanah. Dari pengukuran mikrotremor dapat diketahui sifat getaran dalam lapisan dibawah permukaan tanah (Nakamura, 2000).

Mikrotremor juga diartikan sebagai getaran harmonik alami tanah yang terjadi secara terus menerus, terjebak dilapisan sedimen permukaan, terpantulkan oleh adanya bidang batas lapisan dengan frekuensi yang tetap, disebabkan oleh getaran mikro di bawah permukaan tanah dan kegiatan alam lainnya. Penelitian mikrotremor dapat mengetahui karakteristik lapisan tanah berdasarkan parameter periode dominannya dan faktor penguatan gelombangnya (amplifikasi). Selain itu, juga menghitung efek karakteristik tanah dan karakteristik dinamika tanah ditinjau dari kecepatan gelombang

seismik dengan menitikberatkan pada variasi amplitude dan periode serta frekuensi terhadap waktu yang disebabkan oleh gempa bumi maupun sumber getaran yang lain (Gottschammer dan Surono, 1998).

Pada frekuensi rendah yaitu dibawah 1 Hz, sumber mikrotremor adalah alam. Gelombang laut menimbulkan *ambient vibration* dengan frekuensi sekitar 0,2 Hz sedangkan frekuensi sekitar 0,5 Hz dihasilkan oleh interaksi antara gelombang laut dan pantai. Pada frekuensi di bawah 0,1 Hz, mikrotremor diasosiasikan dengan aktivitas di atmosfer. Frekuensi tinggi, lebih dari 1 Hz bisa ditimbulkan oleh angin dan aliran air. Pada frekuensi tinggi yaitu lebih dari 1 Hz, sumber utamanya adalah aktifitas manusia seperti lalu lintas kendaraan, mesin dan lainnya (Takai dan Tanaka, 1961).



Gambar 14. Perbedaan sinyal tremor dan gempa bumi (Ibrahim dan Subardjo, 2004)

Dalam mikrotremor dikenal metode HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*). HVSR merupakan salah satu cara untuk memahami sifat struktur bawah permukaan tanpa menyebabkan gangguan pada struktur tersebut. Metode ini merupakan metode yang memperlihatkan hubungan antara struktur bawah permukaan tanah dengan perbandingan rasio spektrum Fourier dari sinyal mikrotremor komponen horizontal terhadap komponen

vertikalnya (Nakamura, 1989). Metode HVSR menghasilkan parameter penting yaitu nilai frekuensi natural dan faktor amplifikasi yang berkaitan dengan parameter fisik bawah permukaan.

Metode HVSR dapat menjelaskan fenomena frekuensi resonansi lapisan permukaan tanpa harus menggunakan referensi dari batuan *bedrock*, yaitu dengan melakukan pengukuran dan menghasilkan tiga komponen yaitu *vertical, horizontal utara-selatan dan horizontal timur-barat*. Dengan metode ini juga dapat melakukan identifikasi dari respon resonansi pada lembah sedimen atau cekungan yang berisi material sedimen. Metode ini merupakan metode yang efektif, murah dan ramah lingkungan yang dapat digunakan pada wilayah pemukiman.

Pada metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR) terdapat data komonen horizontal *EW* dan *NS* dan satu data komponen vertikal. Penggabungan kedua data horizontal, biasanya dilakukan berdasarkan kaidah *Phytagoras* dalam fungsi frekuensi. Secara matematis dinyatakan sebagai berikut :

$$R(f) = \frac{\sqrt{H_{EW}^2(f) - H_{NS}^2(f)}}{V_{UD}(f)} \quad (1)$$

Yang mana $R(f)$ adalah spektrum rasio HVSR, $H_{EW}^2(f)$ adalah spektrum komponen horizontal barat-timur, $H_{NS}^2(f)$ adalah spektrum komponen horizontal utara-selatan dan $V_{UD}(f)$ adalah spektrum komponen vertikal.

Faktor amplifikasi dari Gerakan horizontal dan vertikal di permukaan tanah sedimen berdasarkan pada gerakan seismik di permukaan tanah yang bersentuhan langsung dengan batuan dasar di area cekungan dilambangkan dengan T_H dan T_V (Nakamura, 2000). Besarnya faktor amplifikasi horizontal T_H adalah :

$$T_H = \frac{S_{HS}}{S_{HB}} \quad (2)$$

Dengan S_{HS} adalah spektrum dari komponen gerak horizontal di permukaan tanah dan S_{HB} adalah spektrum dari komponen gerak horizontal pada dasar lapisan tanah. Besarnya faktor amplifikasi vertikal T_V adalah :

$$T_V = \frac{S_{VS}}{S_{VB}} \quad (3)$$

Dengan S_{VS} adalah spektrum dari komponen gerak vertikal di permukaan tanah dan S_{VB} adalah spektrum dari komponen gerak vertikal pada dasar lapisan tanah.

Data mikrotremor tersusun atas beberapa jenis gelombang, tetapi yang utama adalah gelombang *Reyleigh* yang merambat pada lapisan sedimen diatas batuan dasar. Pengaruh dari gelombang *Reyleigh* pada rekaman mikrotremor besarnya sama untuk komponen vertikal dan horizontal saat rentang frekuensi 0,2-20,0 Hz, sehingga rasio spektrum antara komponen horizontal dan vertikal di batuan dasar mendekati nilai satu.

$$\frac{S_{VS}}{S_{VB}} \approx 1 \quad (4)$$

Karena rasio spektrum antara komponen horizontal dan vertikal di batuan dasar mendekati satu, sehingga hanya ada pengaruh yang disebabkan oleh struktur geologi lokal atau *site effect* (T_{SITE}) menunjukkan puncak amplifikasi pada frekuensi dasar dari suatu lokasi. Dengan melakukan pensubstitusian persamaan (2), (3) ke persamaan (4) maka diperoleh :

$$T_{SITE} = \frac{S_{HS}}{S_{HB}} \quad (5)$$

Persamaan tersebut menjadi dasar perhitungan rasio spektrum mikrotremor komponen horizontal terhadap komponen vertikalnya (HVSr), sehingga dapat dinyatakan dengan persamaan (5).

$$HVSr = T_{SITE} = \frac{\sqrt{(S_{utara-selatan})^2 + (S_{barat-timur})^2}}{V_{vertikal}} \quad (6)$$

3.4.1 Frekuensi Dominan

Frekuensi dominan adalah nilai frekuensi yang kerap muncul sehingga diakui sebagai nilai frekuensi dari lapisan batuan di wilayah tersebut sehingga nilai

frekuensi dapat menunjukkan jenis dan karakteristik batuan tersebut. Lachet dan Brad (1994) melakukan uji simulasi dengan menggunakan 6 model struktur geologi sederhana dengan kombinasi variasi kontras kecepatan gelombang geser dan ketebalan lapisan soil. Hasil simulasi menunjukkan nilai puncak frekuensi berubah terhadap variasi kondisi geologi (Lachet dan Brad, 1994).

Tabel 1. Kalisifikasi tanah berdasarkan nilai frekuensi dominan mikrotremor oleh Kanai (Dikutip dari Buletin Meteorologi dan Geofisika No.4, 1998)

Klasifikasi Tanah		Frekuensi Dominan (Hz)	Klasifikasi Kanai	Deskripsi
Tipe	Jenis			
Tipe IV	Jenis I	6,7 – 20	Batuan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan <i>Hard sandy, gravel</i> , dll	Ketebalan sedimen permukaannya sangat tipis, didominasi oleh batuan keras.
	Jenis II	4 – 6,7	Batuan <i>alluvial</i> , dengan ketebalan 5m. Terdiri dari <i>sandy-gravel, sandy hard clay, loam</i> , dll.	Ketebalan sedimen permukaannya masuk dalam kategori menengah 5 – 10m.
Tipe III	Jenis III	2,5 – 4	Batuan <i>alluvial</i> dengan ketebalan > 5m. Terdiri dari <i>sand-gravel, sand hard clay, laom</i> , dll	Ketebalan sedimen permukaan masuk dalam kategori tebal, sekitar 10 – 30m.
Tipe II			Batuan <i>alluvial</i> terbentuk dari sedimentasi	
Tipe I	Jenis IV	< 2,5	delta, <i>top soil</i> , lumpur, dll. Dengan kedalaman 30m atau lebih	Ketebalan sedimen permukaannya sangatlah tebal

3.4.2 Periode Dominan

Nilai periode dominan merupakan waktu yang dibutuhkan gelombang mikrotremor untuk merambat melewati lapisan endapan sedimen permukaan atau mengalami satu kali pemantulan terhadap bidang pantulnya permukaan, nilai periode dominan juga mengindikasikan karakter lapisan batuan yang berada disuatu wilayah. Dalam hal ini Kanai, Omote, dan Nakajima juga telah mengklasifikasikan tanah berdasarkan periode dominan tanah. Dan Zhao mengklasifikasikan tanah kedalam empat kelas yang mengacu pada *site classification* dari NEHRP (*National Earthquake Hazard Reduction Program*).

Tabel 2. Klasifikasi tanah Kanai – Omote Nakajima (Dikutip dari Buletin Meteorologi dan Geofisika No.4, 1998)

Klasifikasi Tanah Kanai	Omote- Nakajima	Periode (T_0) sekon	Keterangan	Karakter
Jenis I	Tipe A	0,05 – 0,15	Batuan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan pasir berkerikil keras.	Keras
Jenis II		0,15 – 0,25	Batuan <i>alluvial</i> dengan ketebalan 5m. Terdiri dari pasir berkerikil (<i>sandy gravel</i>), lempung keras (<i>sandy hard clay</i>), tanah liat, lempung (<i>loam</i>). Batuan <i>alluvial</i>	Sedang
Jenis III	Tipe B	0,25 – 0,40	hamper sama dengan jenis II hanya dibedakan oleh adanya formasi <i>bluff</i> . Batuan <i>alluvial</i> terbentuk dari sedimentasi delta, top soil, lumpur, humus,	Lunak
Jenis IV	Tipe C	>0,40	endapan delta atau endapan lumpur, yang tergolong kedalam tanah lembek dengan kedalaman 30m atau lebih.	Sangat lunak

Tabel 3. Klasifikasi tanah berdasarkan (Zhao dkk, 2004)

Klasifikasi Tanah <i>Site classes</i> (zhao)	NEHRP <i>class</i>	Periode Dominan (T_0)	Deskripsi
SC I	A	$\leq 0,2s$	<i>Rock / stiff soil</i>
SC II	B		
	C	$0,2s \leq T_0 < 0,4s$	<i>Hard soil (Keras)</i>
SC III	D	$0,4s \leq T_0 < 0,6s$	<i>Medium soil</i> (Sedang)
SC IV	E	$T_0 \geq 0,6s$	<i>Soft soil (Lunak)</i>

Nilai dari periode dominan pada suatu wilayah juga berkontribusi dengan wilayah amplifikasi pada wilayah tersebut. Periode dominan yang tinggi di suatu wilayah memperlihatkan kecenderungan suatu wilayah dalam mengalami amplifikasi atau penguatan guncangan yang tinggi sehingga akan rentan untuk mengalami kerusakan. Wilayah dengan nilai periode dominan yang tinggi umumnya ialah wilayah daratan yang tersusun oleh endapan permukaan. Akan tetapi, besarnya dari nilai periode dominan di wilayah endapan permukaan (*alluvial*) tidak mutlak sama. Ia memperlihatkan ketebalan alluvial di wilayah ini tidak sama (Gosar, 2007).

Nilai dari periode dominan (T_0) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$T_0 = \frac{1}{f_0} \quad (7)$$

Dengan :

T_0 = Periode dominan (s)

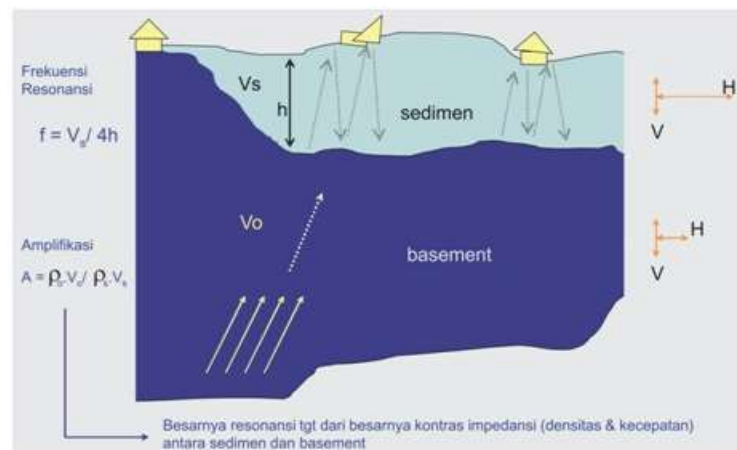
f_0 = Frekuensi dominan (Hz)

3.4.3 Faktor Guncangan Tanah (Amplifikasi)

Amplifikasi merupakan perbesaran gelombang seismik yang terjadi akibat adanya perbedaan yang signifikan antar lapisan, dengan kata lain gelombang seismik akan mengalami perbesaran, jika merambat pada suatu medium ke medium lain yang lebih lunak dibandingkan dengan medium awal yang dilaluinya. Semakin besar perbedaan itu, maka perbesaran yang dialami gelombang tersebut akan semakin besar (Arifin, 2014). Amplifikasi merupakan perbesaran gelombang seismik yang terjadi akibat adanya

perbedaan yang signifikan antar lapisan, dengan kata lain gelombang seismik akan mengalami perbesaran, jika merambat pada suatu medium ke medium lain yang lebih lunak dibandingkan dengan medium awal yang dilaluinya. Semakin besar perbedaan itu, maka perbesaran yang dialami gelombang tersebut akan semakin besar. 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 (Nakamura, 2000).

Nilai faktor penguatan (amplifikasi) tanah berkaitan dengan perbandingan kontras impedansi lapisan permukaan dengan lapisan di bawahnya dapat dilihat pada **Gambar 10**.



Gambar 15. Konsep dasar amplifikasi gelombang seismik (Haerudin dkk., 2019).

Apabila kontras impedansi kedua lapisan tersebut tinggi maka terjadi faktor penguatan yang tinggi pula, begitupun sebaliknya. Nilai amplifikasi tinggi menunjukkan kontras impedansi yang tinggi, yang artinya densitas (ρ) antar lapisan sangat berbeda. Dalam analisis resiko gempa bumi, kontras impedansi tinggi mengakibatkan resiko yang tinggi apabila terjadi gempa bumi. Nilai amplifikasi dipengaruhi oleh kecepatan gelombang. Apabila kecepatan gelombang semakin kecil maka amplifikasi semakin besar, dimana menunjukkan amplifikasi berhubungan dengan tingkat kepadatan batuan.

Berkurangnya kepadatan batuan dapat meningkatkan nilai amplifikasi karena pada batuan yang kurang padat (sedimen lunak) akan memperlama durasi gelombang menjalar ke lokasi tersebut dan memperbesar amplitudo gelombang, sehingga terjadi guncangan terhadap bangunan di atas permukaan. Hal ini yang dapat menyebabkan tingkat potensi resiko bencana gempa bumi semakin besar (Nakamura, 2000).

Amplifikasi berbanding lurus dengan nilai perbandingan spektral horizontal dan vertikalnya (H/V). Nilai amplifikasi bisa bertambah, jika batuan telah mengalami deformasi (pelapukan, pelipatan atau pesesaran) yang mengubah sifat fisik batuan. Pada batuan yang sama, nilai amplifikasi dapat bervariasi sesuai dengan tingkat deformasi dan pelapukan pada tubuh batuan tersebut (Marjiyono, 2010).

Tabel 4. Tabel pembagian zona amplifikasi tanah (Marjiyono, 2010)

Amplifikasi	Warna Dalam Peta	Keterangan Resiko
0 – 3	Hijau	Rendah
3 – 6	Biru	Sedang
6 – 9	Kuning	Tinggi
>9	Merah	Sangat Tinggi

Besar kecilnya amplifikasi atau penguatan gelombang dipengaruhi oleh densitas dan ketebalan lapisan sedimen, makin besar densitas dan makin tipis batuan, makin kecil pula kemampuan batuan memperbesar amplitudo gelombang. Untuk batuan yang mempunyai sifat fisik yang sama, maka makin tebal endapan sedimen akan makin besar juga nilai amplifikasinya. Daerah dengan lapisan sedimen lunak yang tebal memiliki nilai amplifikasi (pembesaran) yang besar sehingga meningkatkan kerawanan terhadap guncangan gempa bumi.

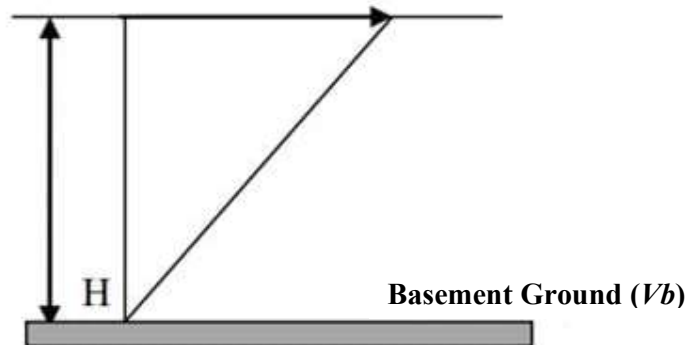
3.4.4 Indeks Kerentanan Tanah

Indeks kerentanan seismik (K_g) merupakan indeks yang menggambarkan tingkat kerentanan lapisan tanah permukaan terhadap deformasi saat terjadi gempa bumi (Nakamura, 2008). Indeks kerentanan seismik didapat dari pergeseran regangan permukaan tanah dan strukturnya saat terjadi

gempa bumi. Menurut Nakamura (2008), kerusakan yang diakibatkan oleh gempa bumi terjadi pada saat gaya gempa bumi melebihi batas dari regangan (*strain*) sehingga terjadi deformasi lapisan tanah permukaan.

Indeks kerentanan seismik merupakan indeks yang menunjukkan tingkat kerentanan lapisan permukaan tanah suatu wilayah terhadap deformasi tanah saat terjadi gempa bumi (Motamed dkk., 2007). Wilayah yang mempunyai indeks kerentanan seismik rendah berpotensi kecil mengalami kerusakan saat terjadi gempa bumi. Sementara itu, daerah yang memiliki indeks kerentanan seismik tinggi berpotensi besar mengalami kerusakan saat gempa bumi.

Daerah yang mempunyai indeks kerentanan seismik rendah berpotensi kecil untuk mengalami kerusakan saat terjadi gempa bumi, sedangkan daerah yang memiliki indeks kerentanan seismik tinggi berpotensi besar mengalami kerusakan saat terjadi gempa bumi. Tingkat indeks kerentanan seismik yang tinggi biasanya ditemukan pada daerah dengan frekuensi dominan yang rendah. Ini berarti bahwa lapisan sedimen relatif tebal yang menutupi batuan dasar memiliki indeks kerentanan seismik yang tinggi (Saaduddin, 2015).



Gambar 16. *Surface ground deformation* (Nakamura, 2000)

Kerentanan pada tanah perlu diperhatikan pula nilai pergeseran regangan (γ) pada lapisan tanah tersebut saat terjadi gempa bumi (Nakamura, 1997). Dalam menentukan indeks kerentanan seismik perlu diperhatikan shear strain pada permukaan tanah. Pada Gambar 17 di atas merupakan deformasi dari shear strain permukaan tanah, nilai γ ditunjukkan pada Persamaan 8.

$$\gamma = A_m \times \frac{d}{H} \quad (8)$$

Nilai A_m merupakan indeks faktor amplifikasi, d adalah jarak pergeseran dan h adalah ketebalan lapisan sedimen. Apabila kecepatan gelombang dasar dan permukaan tanah ditunjukkan V_b dan V_s maka pengaruh frekuensi dominan ditunjukkan oleh Persamaan 9.

$$f_0 = \frac{V_b}{4A_m \times h} \quad (9)$$

Dimana f_0 adalah fekuensi dominan, V_b adalah kecepatan gelombang S di batuan dasar, A_m adalah mplifikasi, dan h adalah ketebalan sedimen. Nilai percepatan tanah dibawah permukaan (α_b) dirumuskan sebagai berikut.

$$\alpha_b = (2\pi f_0)^2 \times d \quad (10)$$

Dimana α_b adalah percepatan getaran tanah maksimum dibawah dasar, f_0 adalah frekuensi dominan, dan d adalah jarak pergeseran. Maka untuk mencari perpindahan seismik dapat dicari menggunakan rumus sebagai berikut.

$$d = \frac{\alpha_b}{(2\pi f_0)^2} \quad (11)$$

Dimana d adalah jarak pergeseran, α_b adalah percepatan getaran tanah maksimum dibawah dasar, f_0 adalah frekuensi dominan. Sehingga untuk persamaan bisa disubtitusikan ke persamaan, ditunjukkan oleh Persamaan 12.

$$\gamma = \left[\frac{A_m \times \alpha_b}{(2\pi f_0)^2} \right] \times \left[4A_g \times \frac{f_0}{V_b} \right] \quad (12)$$

Dimana A_m adalah amplifikasi, α_b adalah percepatan getaran tanah maksimum dibawah dasar, f_0 adalah frekuensi dominan, dan V_b adalah kecepatan gelombang S di batuan dasar. Untuk menghitung *ground shear strain* lapisan tanah permukaan di suatu tempat saat terjadi gempa bumi, Nakamura (1997) dapat dilihat pada Persamaan 13.

$$\gamma = K_g \frac{\alpha_b}{\pi^2 V_b} \quad (13)$$

Nilai K_g adalah indeks kerentanan seismik yang paling mudah untuk mengindentifikasi dari titik lokasi pengukuran. Dimana untuk nilai kecepatan

dasar bumi V_b adalah kecepatan gelombang geser saat di bedrock yang mana nilainya diasumsikan tetap, α_b adalah percepatan getaran tanah maksimum dibawah dasar. Nilai K_g memperlihatkan nilai pengukuran yang digunakan untuk menentukan tingkat ketahanan atau lapisan bumi. Dapat dihitung dengan menggunakan rumus yang terdapat pada Persamaan 16.

$$K_g = \frac{A_0^2}{f_0} \quad (14)$$

Dimana Nilai K_g adalah indeks kerentanan seismik, A_m^2 adalah amplifikasi dan f_0 adalah frekuensi dominan. Indeks kerentanan seismik (K_g) bergantung pada kondisi lapisan tanah.

Nilai kerentanan tanah (K_g) memiliki korelasi positif dengan kerusakan yang terjadi akibat gempa bumi. Nilai kerentanan tanah (K_g) yang tinggi berasosiasi dengan kerusakan yang parah akibat terjadinya gempa bumi. Adapun pengklasifikasian nilai kerentanan tanah (K_g) di tunjukkan pada tabel berikut ini.

Tabel 5. Klasifikasi nilai kerentanan gempa (Refrizon, dkk. 2013)

Kerentanan Tanah (K_g)	Keterangan Resiko
0 – 3	Rendah
3 – 6	Menengah
6 – 9	Tinggi

3.4.5 Ketebalan Sedimen

Ketebalan lapisan sedimen menggambarkan ketebalan lapisan yang lunak atau lapuk pada lapisan permukaan tanah diatas batuan dasar. Ketebalan lapisan sedimen mempengaruhi kecepatan dari penjalaran gelombang badan. Menurut Nakamura (2008) ketebalan lapisan sedimen (H) berhubungan dengan frekuensi dominan (f_0) dan kecepatan gelombang geser (V_s), sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut :

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

Dengan ketebalan sedimen sehingga :

$$H = \frac{V_s}{4f_0} \quad (16)$$

Dengan f , V_s dan H berturut-turut menunjukkan frekuensi dominan, kecepatan gelombang S dan ketebalan sedimen. Dari persamaan tersebut dapat disimpulkan bahwa frekuensi berbanding lurus terhadap kecepatan gelombang S dan berbanding terbalik terhadap ketebalan sedimen (Syahrudin dkk., 2014).

Pada penelitian ini nilai V_{s30} didapatkan dari situ *United State Geological Survey* (USGS) dengan memasukkan atau menemukan daerah pengambilan data. Nilai kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 meter dapat digunakan sebagai penentuan parameter geoteknik dalam pembangunan infrastruktur. Klasifikasi nilai kecepatan gelombang geser dapat dilihat pada **tabel 6**.

Tabel 6. Tipe profil tanah atau klasifikasi kelas tanah berdasarkan standar UBC (*Uniform Building Code*) dan EC8 (Eurocode 8) didasarkan pada nilai V_{S30} (dimodifikasi dari S`eco e Pinto 2002; Dobry dkk., 2000; Sabetta dan Bommer 2002)

Tipe Profil Tanah (UBC) atau Kelas Tanah (EC8)	Deskripsi Tanah (UBC)	Deskripsi Profil Stratigrafi (EC8)	Kecepatan Gelombang Geser V_{S30} (m/s)
S _A (UBC)	Batan keras	-	> 1500 (UBC)
S _B (UBC) atau A (EC8)	Batuan	Batuan atau formasi geologis batuan lainnya, termasuk paling tidak 5 m material yang lebih lemah di permukaan	760 – 1500 (UBC) atau > 800 (EC8)
S _C (UBC) atau B (EC8)	Tanah padat dan batuan lunak	Endapan pasir sangat padat, kerikil, atau tanah liat sangat kaku, dengan ketebalan beberapa meter, yang ditandai dengan peningkatan bertahap sifat mekanis seiring kedalaman	360 – 760 (UBC) atau 360 – 800 (EC8)
S _D (UBC) atau C (EC8)	Tanah kaku	Endapan tanah sedang hingga padat, pasir, tanah liat, atau lempung kaku dengan ketebalan beberapa hingga ratusan meter	180 – 360 (UBC dan EC8)
S _E (UBC) atau D (EC8)	Tanah lunak	Endapan tanah lunak hingga sedang (dengan atau tanpa beberapa lapisan tanah liat lunak), atau sebagian besar tanah kohesif lunak hingga keras	< 180 (UBC dan EC8)
S _F (UBC) atau E (EC8)	Tanah khusus	Profil tanah yang terdiri dari lapisan aluvial permukaan dengan nilai VS30 kelas C atau D dan ketebalan bervariasi antara 5 m dan 20 m, dengan bahan yang lebih kaku di bawahnya dengan VS30 > 800 m/s-1	-
S ₁ (EC8)	-	Endapan yang mengandung lapisan setebal paling tidak 10m — tanah liat/lanau lunak dengan indeks plastisitas tinggi ($PI > 40$) dan kadar air tinggi	< 100 (EC8)
S ₂ (EC8)	-	Endapan tanah yang dapat mencair, tanah sangat sensitif, atau profil tanah lainnya yang tidak termasuk dalam kelas A–E atau S ₁	— (EC8)

IV. METODOLOGI

4.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Adapun kerja praktik dilakukan di :

Tempat : Laboratorium Geofisika Geothermal, Teknik Geofisika,
Universitas Lampung
Alamat : Gedung Teknik Geofisika - Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro
No. 1, Gedong Meneng, Kec. Rajabasa, Kota Bandar
Lampung, Lampung 35142
Tanggal : Januari 2024 – Mei 2024

4.2 Bahan dan Alat

Adapun bahan dan alat yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 7. Bahan penelitian

No	Data	Sumber Data
1	Data HVSR	Data ini berupa hasil pengukuran HVSR tahun 2019 sebanyak 50 titik pengukuran didaerah Kabupaten Musi Banyuasin, Sumatera Selatan.
2	Peta Lembar Geologi	Peta geologi yang digunakan dalam penelitian ini bersumber dari data DEMNAS dan Inageoportal.

Tabel 8. *Software* yang digunakan dalam penelitian

No	<i>Software</i>	Fungsi
1	Laptop	Digunakan dalam pengolahan data penelitian
2	Geopsy	Digunakan untuk mengolah data HVSR yaitu untuk mendapatkan nilai frekuensi dominan dan amplifikasi.
3	Arcgis 10.8	Berfungsi dalam pembuatan peta lokasi penelitian, peta geologi dan analisis SIG lainnya.
4	Surfer 13	Digunakan untuk mengolah data HVSR yaitu dalam membuat peta kontur sebaran nilai frekuensi dominan, amplifikasi, periode dominan, indeks kerentanan tanah, dan ketebalan sedimen.
5	<i>Microsoft Excel</i>	Digunakan untuk menghitung nilai periode dominan, indeks kerentanan tanah dan ketebalan sedimen.

4.3 Prosedur Penelitian

Adapun prosedur penelitian yang dilakukan pada penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

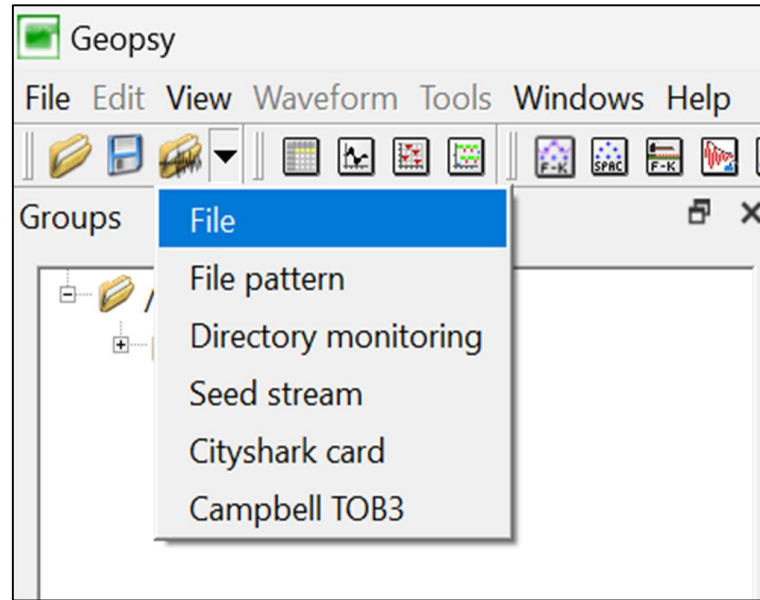
4.3.1 Pengolahan Data Mikrotremor

Pengolahan sinyal mikrotremor ini diolah menggunakan *Software Geopsy*. Data mikrotremor yang dipilih yaitu data yang tidak memiliki noise. Pemilihan sinyal tanpa noise (*windowing*) dilakukan dengan *cut* gelombang. Hasil dari pengolahan data mikrotremor yang dilakukan adalah grafik hubungan nilai H/V dan frekuensi sehingga dari grafik tersebut akan diperoleh nilai frekuensi dominan (f_0) dan nilai amplifikasi (A_0).

Berikut ini merupakan tahapan pengolahan data mikrotremor yang dilakukan :

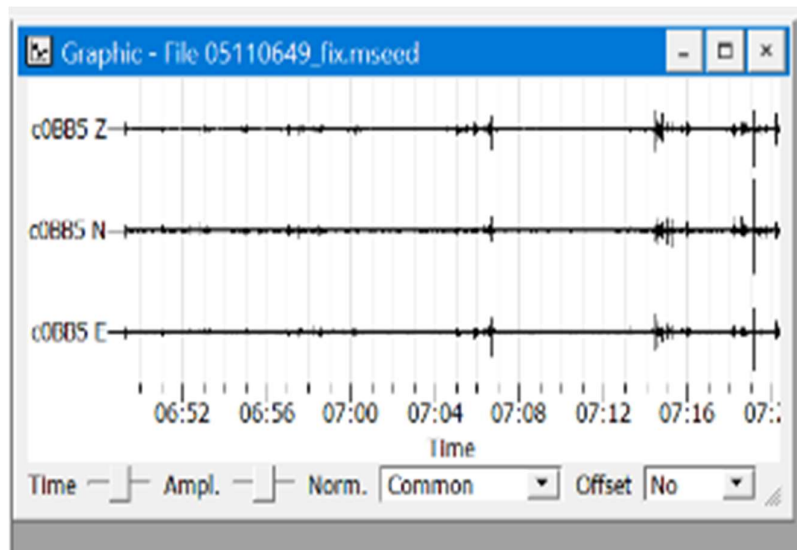
➤ Pada *software Geopsy*

1. Menginputkan data pada *software Geopsy*. Klik *import signal* dan pilihlah data yang ingin diinput



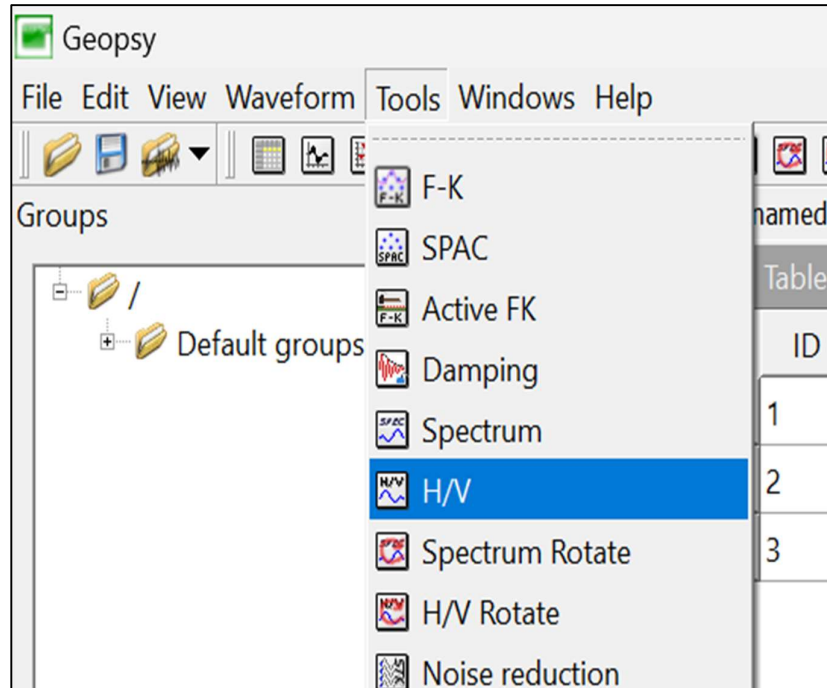
Gambar 17. Menginput data

2. Muncul kotak dialog *Table* dan *Graphic*



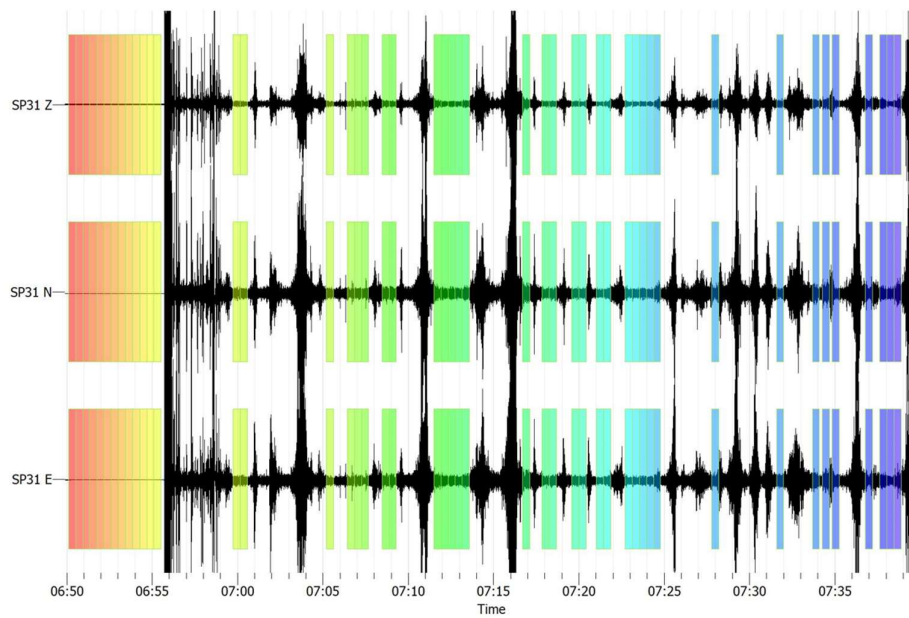
Gambar 18. Kotak dialog *table* dan *graphic*

3. Kemudian klik *Tools* dan munculkan dialog *H/V*



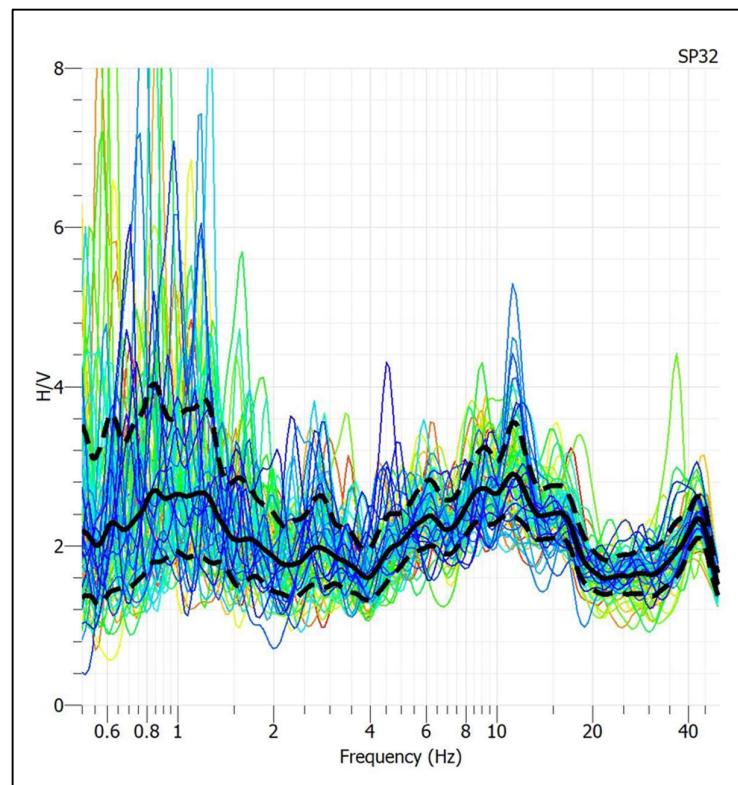
Gambar 19. Tools *H/V*

4. Muncul kotak dialog sinyal → klik *H/V*  → muncul dialog pengaturan sinyal
- Windowing – General* : isi Length Exactly 25 → *check anti-triggering on raw signal* dan *anti-triggering on filtered signal*
 - Windowing – Raw Signal* : isi STA 1 → LTA 30 → Min STA 0.2 → Max LTA 2.5 → *check anti-triggering*
 - Processing* : *smoothing type Konno Ohmachi* → *smoothing constant* 20 → *check squared average*
 - Output* : isi *frequency sampling* → *from 0.50 – 50 Hz* → *step log* → *number of sample* 100
5. Klik *auto* → *start*
6. Jika dirasa *windowing* data masih banyak yang memiliki *noise* maka dilakukan *cutting data* secara manual dengan klik *remove*, kemudian jika sudah selesai maka klik *start* kembali



Gambar 20. *Windowing data*

7. Muncul kotak dialog H/V dengan berbagai spektrum warna

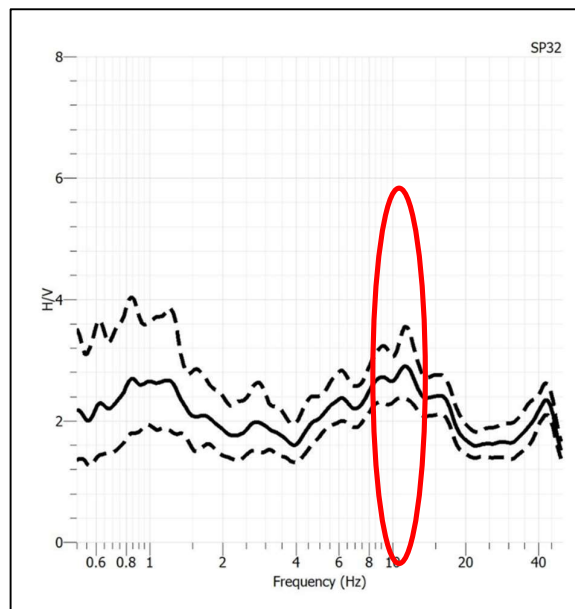


Gambar 21. *Kotak dialog H/V*

8. Menghilangkan spektrum warna : klik kanan pada gambar → *properties* → *graphic* → isi *X unic* dengan 0
9. Menyimpan gambar sinyal : *file* → *export image* → beri nama
10. Menyimpan hasil data tabel : *tools* → *save results* → *yes* → *choose*
11. Input dan output dari proses ini digolongkan pada folder yang sama

4.3.2 Penentuan Nilai Frekuensi Dominan dan Amplifikasi

Frekuensi dominan dan amplifikasi diperoleh dari puncak tertinggi HVSR yang terdapat pada kurva HVSR. Dari penelitian yang telah disebutkan (Juan Pandu dkk., 2012) menunjukkan bahwa frekuensi dominan HVSR bergantung oleh kedalaman *badrock*, dimana frekuensi dominan berbanding terbalik dengan ketebalan sedimen dan berbanding lurus dengan kecepatan gelombang geser. Kemudian frekuensi natural dan amplifikasi digunakan untuk menentukan indeks kerentanan tanah.



Gambar 22. Contoh cara penentuan nilai frekuensi dominan dan amplifikasi

Perlu diingat juga, pada penentuan frekuensi dominan dan amplifikasi kita juga harus menentukan dengan penentuan yang tepat. Jika dilihat dari gambar

diatas, kita tidak mungkin memilih kurva tinggi pada sekitaran 0.8 Hz karena semakin mendekat ke 1 Hz maka *noise* akan semakin tinggi. *Noise* tersebut bisa disebabkan oleh faktura lam maupun aktifitas manusia. Kemudian jika kita memilih kurva yang sekitar frekuensi 40 Hz, kurva tersebut juga tidak bisa kita pilih dikarenakan pada penelitian ini mengacu pada klasifikasi tanah oleh (Kanai, 1998) yang mana batas tertinggi frekuensi dominan yaitu 20 Hz. Sehingga jika dilihat dari gambar tersebut maka kurva yang kita pilih adalah kurva dengan amplifikasi sekitar 2.5 dan frekuensi sekitar 10 Hz. Setelah diketahui nilai frekuensi dominan dan amplifikasi dari setiap titiknya, selanjutnya kita dapat membuat peta kontur f_0 dan A_0 menggunakan *software* surfer.

4.3.3 Perhitungan Periode Dominan

Setelah didapatkan nilai Frekuensi dominan dari masing-masing pada setiap titik pengukuran, kemudian langkah selanjutnya adalah menghitung nilai periode dominan pada Microsoft excel. Kemudian nilai periode dominan didapatkan dengan cara dibagi dengan nilai frekuensi dominan. Perhitungan ini menggunakan persamaan (7). Nilai periode dominan yang didapatkan dari perhitungan dapat digunakan untuk menentukan kelas tanah atau sifat lapisan tanah. Setelah mendapatkan nilai periode dominan kita menghitung nilai indeks kerentanan tanah. Setelah mendapatkan nilai periode dominan nya kita dapat melakukan gridding dengan *software* surfer untuk mendapatkan peta kontur periode dominan.

4.3.4 Perhitungan Indeks Kerentanan Tanah

Indeks kerentanan atau K_g digunakan untuk mengidentifikasi daerah yang rentan terhadap gerakan tanah yang kuat (Nakamura, 1997). Indeks kerentanan ini diperoleh dari frekuensi natural dan amplifikasi. Perhitungan ini menggunakan persamaan (14). Setelah didapatkan nilai indeks kerentanan tanah dari setiap titik pengukuran, selanjutnya kita dapat membuat peta kontur menggunakan *software* Surfer.

4.3.5 Perhitungan Ketebalan Sedimen

Menurut Nakamura (2008) ketebalan lapisan sedimen (H) berhubungan dengan frekuensi dominan (f_0) dan kecepatan gelombang geser (V_s). Pada penelitian ini nilai V_{s30} didapatkan dari situ *United State Geological Survey* (USGS) dengan memasukkan atau menemukan daerah pengambilan data. Nilai tersebut disesuaikan dengan klasifikasi kelas tanah berdasarkan standar UBC (*Uniform Building Code*) dan EC8 (*Eurocode 8*). Perhitungan ini menggunakan persamaan (16). Setelah didapatkan nilai ketebalan sedimen dari setiap titik pengukuran, selanjutnya kita dapat membuat peta kontur menggunakan *software* Surfer.

4.3.6 Overlay Peta

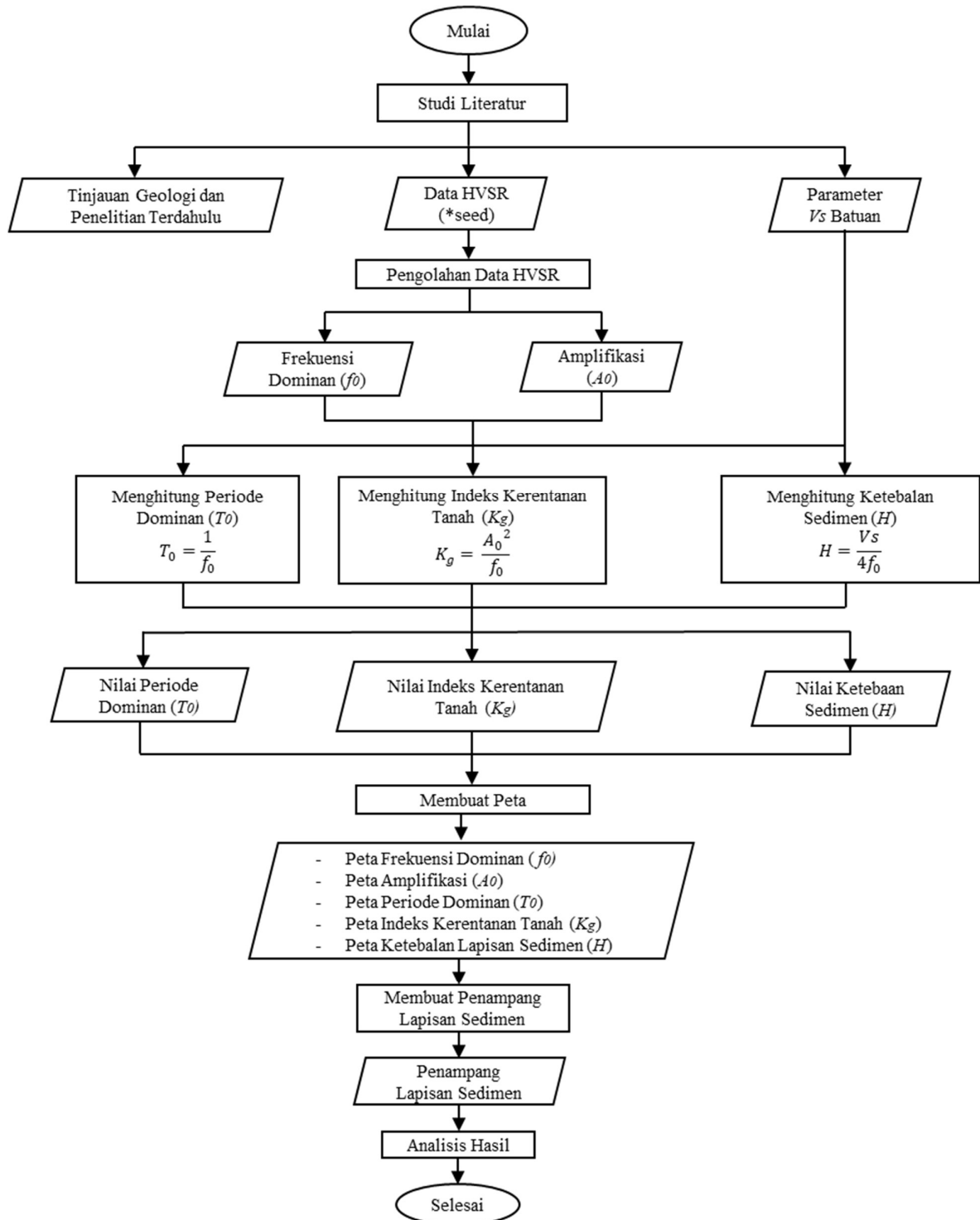
Hasil dari nilai kerentanan tanah dan ketebalan sedimen kemudian dibuat peta persebaran di lokasi penelitian. Kemudian nilai tersebut dioverlay menggunakan peta geologi dan Demnas lokasi penelitian dengan menggunakan bantuan *software* ArcGis 10.8.

4.4 Jadwal kegiatan

Adapun jadwal kegiatan pada penelitian Tugas Akhir ini dapat dilihat pada **Tabel 9** Pelaksanaan kegiatan penelitian.

4.5 Diagram Alir

Adapun diagram alir pada kegiatan kerja praktik ini adalah sebagai berikut



Gambar 23. Diagram alir

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang berjudul “Analisis Kerentanan Tanah Dan Ketebalan Lapisan Sedimen Menggunakan Metode *Horizontal To Vertical Spectral Ratio* (HVSr) Di Kabupaten Musi Banyuasin, Sumatera Selatan”, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Nilai frekuensi dominan (f_0): 2 Hz sampai 18 Hz, amplifikasi (A_0): 1.6 Hz sampai 5.2 kali, periode dominan (T_0): 0.04 sekon sampai 0.38 sekon, indeks kerentanan tanah (K_g): 0.2 cm/s² sampai 3.2 cm/s² dan nilai ketebalan sedimen (H): 3 meter sampai 27 meter.
2. Berdasarkan nilai persebaran frekuensi dominan pada daerah penelitian didominasi oleh klasifikasi tanah Jenis I dan Tipe IV yaitu dengan jenis tanah dengan batuan keras, sedangkan berdasarkan persebaran nilai periode dominan daerah penelitian diklasifikasikan Jenis I dan *Class A* yaitu tanah dengan batuan keras.
3. Nilai faktor amplifikasi dan kerentanan tanah di daerah penelitian memiliki nilai rendah sehingga apabila terjadi gempa bumi tingkat kerusakan akan rendah.
4. Ketebalan lapisan lunak di daerah penelitian antara 3 meter sampai 27 meter.
5. Analisa kedalaman batuan daerah penelitian: pada *Line 1* lapisan lunak memiliki kedalaman 15 meter sampai 50 meter dibawah permukaan tanah yang diselingi dengan lapisan keras yang juga muncul pada kedalaman 15 meter; *Line 2* lapisan lunak memiliki kedalaman 20 meter sampai 45 meter dibawah permukaan tanah yang diselingi dengan lapisan keras yang juga

muncul pada kedalaman 20 meter; *Line 3* lapisan lunak memiliki kedalaman 5 meter sampai 50 meter dibawah permukaan tanah yang diselingi dengan lapisan batuan keras yang juga muncul pada kedalaman 5 meter dan *Line 4* lapisan lunak memiliki kedalaman 25 meter sampai 50 meter yang diselingi dengan batuan keras yang mulai muncul pada kedalaman 25 meter dibawah lapisan lunak.

Berdasarkan Analisa komparasi frekuensi dominan, ketebalan sedimen, amplifikasi dan kerentanan tanah maka daerah paling aman dan ekonomis untuk dilakukan pembangunan direkomendasikan dibangun pada bagian barat laut, barat, tengah, selatan dan timur tenggara.

6.2 Saran

Saran yang dapat diberikan dari hasil penelitian ini yaitu sebagai berikut :

1. Dilakukan survey lanjutan dengan metode seismik atau geolistrik untuk memberikan informasi bawah permukaan yang lebih detail
2. Dalam pembangunan infrastruktur khususnya gedung tiap pancang harus dibuat sampai kedalaman batuan keras.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, S. S. (2014). Penentuan Zona Rawan Guncangan Bencana Gempa Bumi Berdasarkan Analisis Nilai Amplifikasi HVSr Mikrotremor dan Analisis Periode Dominan Daerah Liwa dan Sekitarnya. *JGE (Jurnal Geofisika Eksplorasi)*, 2(01), 30-40.
- Aswandi, L. (2005). Mikrozonasi Kota Kendari dan Sekitarnya Menggunakan Analisis Mikrotremor. *Skripsi Universitas Hasanudin. Makassar*.
- Barber, A. J., Crow, M. J., dan Milsom, J. S. (2005). *Sumatra: Geology, Resources and Tectonic Evolution*. Geological Society of London.
- Beiser, A. (1992). Konsep Fisika Modern Edisi Keempat. *Penerjemah: Dr. The Houw Liong. Jakarta: Erlangga*.
- Bishop, M. G. (2001). South Sumatra Basin Province, Indonesia: The Lahat/Talang Akar-Cenozoic Total Petroleum System. In *USGS Open File Report*.
- BMKG. (1998). Sumberdaya Geologi. *Buletin Meteorologi dan Geofisika* No. 4. BMKG. Jakarta.
- BSN. (2019). Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung. *Sni 1726:2012*.
- Castellaro, S., Mulargia, F., dan Rossi, P. L. (2008). VS30: Proxy for seismic amplification?. *seismological research letters*, 79(4), 540-543.
- Crawford, F. (1968). *Waves: Barkely physics course*. 3rd Edition. California: University of California.
- Darman, H., dan Sidi, F. H. (2000). An outline of the geology of Indonesia. Jakarta Selatan: Indonesian Association of Geologists.

- Daryono. (2011). Data Mikrotremor dan Pemanfataannya Untuk Pengkajian Bahaya Gempa Bumi. *BMKG*, 3.
- Daryono. (2012). *Indeks Kerentanan Seismik Berdasarkan Mikrotremor Pada Setiap Satuan Bentuklahan Di Zona Graben Bantul Daerah Istimewa*. XII(1), 1753–1777.
- De Coster, G. L. (1974). The Geology of the Central and South Sumatra Basins. *Proc. Indon Petrol. Assoc., 3rd Ann. Conv.*
- Dobry, R., Borcherdt, R. D., Crouse, C. B., Idriss, I. M., Joyner, W. B., Martin, G. R., ... dan Seed, R. B. (2000). New site coefficients and site classification system used in recent building seismic code provisions. *Earthquake spectra*, 16(1), 41-67.
- Edwiza, D., dan Novita, S. (2008). Pemetaan Percepatan Tanah Maksimum dan Intensitas Seismik Kota Padang Panjang Menggunakan Metode Kanai. *Jurnal Teknik Unand*, 2(29), 111-118.
- Elnashai, S. A., dan Sarno, D.L. (2008). *Fundamental of Earthquake Engineering*. Hongkong:Wiley.
- Febriana. (2007). Eksplorasi Seismik. Unpad. Bandung.
- Fulki, A. (2011). Skripsi Analisis Parameter Gempa, b Value dan PGA di Daerah Papua. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah. Jakarta.
- Ginger, D., dan Fielding, K. (2005). IPA05-G-039 The Petroleum Systems and Future Potential of the South Sumatra Basin. *Annual convention; 30th, Indonesian Petroleum Association*, 67–90.
- Gosar, A. (2007). Microtremor HVSR study for assessing site effects in the Bovec basin (NW Slovenia) related to 1998 Mw5. 6 and 2004 Mw5. 2 earthquakes. *Engineering geology*, 91(2-4), 178-193.
- Gottschämmer, E., dan Surono, I. (2000). Locating tremor and shock sources recorded at Bromo Volcano. *Journal of volcanology and geothermal research*, 101(1-2), 199-209.
- Haeruddin, N., Alami, F., dan Yogi, I. B. S. (2020). The effect site analysis based on microtremor data using the Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR) method in the Bandar Lampung City. *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1572, No. 1, p. 012075). IOP Publishing.

- Ibrahim, G. dan Subardjo. (2004). *Seismologi*. BMKG. Jakarta.
- Ibrahim, G. (2005). Subardjo. *Pengetahuan Seismologi*. Jakarta: BMKG.
- Irsyam, M., Sengara, I.W., dan Aldiamar, F. (2010). *Ringkasan Hasil Studi Tim Revisi Gempa Indonesia 2010*. Institut Teknologi Bandng.
- Irsyam M, Widiyantoro S, Natawidjaja DH, Meilano I, Rudyanto A, Hidayati S, Triyoso W, Hanifa NR, Djarwadi D, Faizal L, dan Sunarjito (Penyunting). (2017). *Peta sumber dan bahaya gempa Indonesia tahun 2017*, Cetakan pertama. Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman, Badan Penelitian dan Pengembangan, Kementerian Pekerjaan Umum, Bandung.
- Juan Pandu, Bahri, A. S., dan Wahyudi. (2012). Analisa Mikrotremor HVSR untuk Memetakan Potensi Likuifaksi Di Daerah Pesisir Kec. Pacitan. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*.
- Kanai, K., dan Tanaka, T. (1961). On Microtremors VIII: Bullentin of Earthquake Reasearch Insitute. *Univeristy of Tokyo*, 39, 99-114.
- Kanai, K. (1983). *Engineering Seismology*. Tokyo University. Japan.
- Kirbani, S. B., Prasetya, T., dan Widigdo, F. M. (2006). Percepatan Getaran Tanah Maksimum Daerah Istimewa Yogyakarta 1943–2006. *Jurnal Geofisika, Himpunan Ahli Geofisika Indonesia, Edisi*, (1), 19-22.
- Lachetl, C., dan Bard, P. Y. (1994). Numerical and theoretical investigations on the possibilities and limitations of Nakamura's technique. *Journal of Physics of the Earth*, 42(5), 377-397.
- Maulidah, D. F., dan Santosa, B. J. (2016). Analisis Persebaran Seismisitas Wilayah Sumatera Selatan Menggunakan Metode Double Difference. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 5(2).
- Marjiyono. (2010). *Estimasi Karakteristik Dinamika Tanah Dari Data Mikrotremor Wilayah Bandung*. Thesis, Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Motamed, R., Ghalandarzadeh, A., Tawhata, I., dan Tabatabaei, S. H. (2007). Seismic microzonation and damage assessment of Bam city. southeastern Iran. *Journal of Earthquake Engineering*. 11(1), 110-132.

- Mufida, A., Santosa, B. J., dan Warnana, D. D. (2013). Profiling kecepatan gelombang geser (Vs) Surabaya berdasarkan pengolahan data Mikrotremor. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 2(2), B76-B81.
- Nakamura, Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. *Railway Technical Research Institute, Quarterly Reports*, 30(1).
- Nakamura, Y. (1997). Seismic Vulnerability Indices for Ground and Structures Using Microtremor. In *World congress on railway research in Florence, Italy*.
- Nakamura, Y. (2000). Clear identification of fundamental idea of Nakamura's technique and its applications. In *Proceedings of the 12th world conference on earthquake engineering* (Vol. 2656, pp. 1-8).
- Nakamura, Y. (2008). *On The H/V Spectrum*. China: Tokyo Institute of Technology, Japan.
- Nakamura, Y. (2008). On The H/V Spectrum. *The 14th World Conferences on Earthquake Engineering*, 5-6.
- National Geographic. Deadly Java Quake Highlights Ring Of Fire Dangers [WWW Document]. Natl. Geogr. URL <http://news.nationalgeographic.com/news/2006/05/060530-java-quake.html> (accessed 7.14.23).
- Nur, A. M. (2010). Gempa bumi, tsunami dan mitigasinya. *Jurnal Geografi: Media Informasi Pengembangan dan Profesi Kegeografian*, 7(1).
- Noor. (2005). Geologi Lingkungan. Yogyakarta : Graha Ilmu.
- Pain, H. J. (2021). The Physics of Vibration And Wave Sixth Edition. Formerly of Department of Physics: Imperial College of Science and Technology, London.
- Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman, Badan Penelitian dan Pengembangan, Kementerian Pekerjaan Umum, Bandung.
- Pulunggono, A., Haryo, A., dan Kosuma, C. G. (1992). Pre-Tertiary and Tertiary fault systems as a framework of the South Sumatra Basin; a study of SAR-maps. *Proc. Indon Petrol. Assoc., 21st Ann. Conv.*
- Refrizon., Hadi, A.I., Lestari, K., & Oktari, T. (2013). Analisis Percepatan Tanah Maksimum dan Tingkat Kerentanan Seismik Daerah Ratu Agung Kota

Bengkulu. Prosiding Semirata FMIPA UNILA, Universitas Lampung, Bandar Lampung, 323-328.

Saaduddin, S. dan Marjiyono. (2015). Pemetaan indeks kerentanan seismik Kota Padang dan korelasinya dengan titik kerusakan gempa bumi 30 September 2009. *Proceeding Seminar Nasional Kebumihan ke-8*. Universitas Gajah Mada. Yogyakarta (pp. 459-466).

Sabetta, F., dan Bommer, J. (2002, September). Modification of the spectral shapes and subsoil conditions in Eurocode 8. In *12th European conference on earthquake engineering* (Vol. 1).

Sêco e Pinto, P. S. (2002). 'Eurocode 8-Design provisions for geotechnical structures. In *3rd Croatian Conference on Soil Mechanical and Geotechnical Engineering*.

Setiadi, I., Setyanta, B., dan Widijono, B. S. (2010). Delineasi cekungan sedimen sumatra selatan berdasarkan analisis data gaya berat. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 20(2), 93-106.

Supartoyo, dan Abdurahman, E.K. (2008). *Kejadian Gempa Bumi Merusak di Indonesia Tahun 2007*. Pengamatan Gempa Bumi Dan Gerak Tanah.

Supriatna, J.M., Semedi, dan Nurmala, C. (2010). *Peak Ground Acceleration (PGA) of Destructive Earthquake in Cimandiri Fault, Sukabumi West Java*. International Symposium and Exhibition. 26 – 28 July 2010. Kuala Lumpur.

Susilanto, P., dan Ngadmanto, D. (2015). Analisis Kecepatan Gelombang Geser (Vs) di Cilacap, Jawa Tengah Sebagai Upaya Mitigasi Gempa bumi. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika (JMG) Vol 16 No 1: 57-64*.

Susilawati, R., dan Ward, C. R. (2006). Metamorphism of mineral matter in coal from the Bukit Asam deposit, south Sumatra, Indonesia. *International Journal of Coal Geology*, 68(3–4), 171–195.

Susilawati. (2008). *Penerapan Penjalaran Gelombang Seismik Gempa pada Penelaahan Struktur Bagian dalam Bumi*. Sumatera Utara:Universitas Sumatra Utara.

Sutantio, G. (2018). Analisis mikrotremor dengan metode HVSR untuk mengidentifikasi karakteristik dinamik tanah dalam bidang geoteknik di Desa

Penindaian, Kecamatan Semende Darat Laut, Kabupaten Muara Enim, Sumatera Selatan (Tesis doctoral, Universitas Gadjah Mada).

Syahrudin, M.H., Aswad, S., Palullungan, E.F., Maria, dan Syamsuddin. (2014). *Penentuan Profil Ketebalan Sedimen Lintasan Kota Makassar Dengan Mikrotremor*. Makassar:UNHAS

Thomson, W. (1980). *Theory of vibration with applications*. CrC Press.

Villaverde, R. (2009). *Fundamental concepts of earthquake engineering*. CRC press.

Wakamatsu, K., dan Matsuoka, M. (2006). Development of the 7.5-arc-second engineering geomorphologic classification database and its application to seismic microzoning. *Bull. Earthq. Res. Inst*, 81, 317-324.

Wangsadinata, W. (2006). Perencanaan bangunan tahan gempa berdasarkan SNI 1726-2002. *Shortcourse HAKI*.

Yuliatmoko, S. R. (2020). Analisis Seismic Gap Sumatera Menggunakan Anomali Gravitasi. *Megasains*, 11(1), 24-30.

Zhao, J. X., Irikura, K., Zhang, J., Fukushima, Y., Somerville, P. G., Saiki, T., dan Takahashi, T. (2004). Site classification for strong-motion stations in Japan using H/V response spectral ratio. In *13th World Conference of Earthquake Engineering*.