

**IDENTIFIKASI DAERAH RAWAN LONGSOR DAN
GEMPABUMI BERDASARKAN ANALISIS *HORIZONTAL TO
VERTICAL SPECTRAL RATIO* (HVSr) DI WILAYAH
SEMAKA KABUPATEN TANGGAMUS**

(Skripsi)

Oleh

Denta Winardi

1815051024



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2022

**IDENTIFIKASI DAERAH RAWAN LONGSOR DAN GEMPABUMI
BERDASARKAN ANALISIS *HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL
RATIO* (HVSR) DI WILAYAH SEMAKA KABUPATEN TANGGAMUS**

Oleh
DENTA WINARDI

Skripsi

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

Pada

**Jurusan Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2022

ABSTRAK

IDENTIFIKASI DAERAH RAWAN LONGSOR DAN GEMPABUMI BERDASARKAN ANALISIS *HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO* (HVSr) DI WILAYAH SEMAKA KABUPATEN TANGGAMUS

Oleh

DENTA WINARDI

Kecamatan Semaka terletak di selatan Kabupaten Tanggamus Provinsi Lampung yang dekat dengan zona subduksi dan sesar aktif. Pada mitigasi bencana tanah longsor, diperlukan karakteristik geologi atau dinamika lapisan tanah. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis klasifikasi tanah berdasarkan frekuensi dominan dan periode dominan, menganalisis faktor amplifikasi, menganalisis kerentanan tanah dan ketebalan sedimen, menentukan nilai percepatan getaran tanah maksimum (PGA). Tahapan dalam penelitian ini terdiri dari pengolahan data untuk memperoleh nilai frekuensi dominan, amplifikasi, indeks kerentanan tanah, ketebalan sedimen, V_{S30} dan menghitung nilai PGA berdasarkan sumber gempa dari Sesar Semangko dan membuat peta zona rawan bencana tanah longsor di Kecamatan Semaka. Persebaran frekuensi dominan di Kecamatan Semaka berkisar antara 2,18 – 13,48 Hz. Sedangkan nilai periode dominan berkisar antara nilai 0,074 s hingga 0,45 s. Nilai amplifikasi sebesar nilai faktor amplifikasi berada pada kisaran 1,04 – 4,9 kali. Nilai indeks kerentanan tanah di Kecamatan Semaka Kabupaten Tanggamus berada pada kisaran 0,2 cm/s^2 hingga 3,21 cm/s^2 . dan nilai ketebalan sedimen berada pada kisaran nilai 10 m hingga 80 m. Berdasarkan nilai kemiringan lereng dan faktor geologi ketebalan sedimen dan daerah paling rentan terhadap bencana tanah longsor yaitu pada Pekon Sedayu dan sukaraja.

Kata kunci : Kecamatan Semaka, Sesar Semangko, Klasifikasi Tanah, PGA dan Longsor

ABSTRACT

IDENTIFICATION OF LANDSLIDE AND EARTHQUAKE PRONE AREAS BASED ON HORIZONTAL TO SPECTRAL RATIO (HVSr) ANALYSIS IN SEMAKA REGION, TANGGAMUS REGENCY

By

DENTA WINARDI

Semaka District is located in the south of Tanggamus Regency, Lampung Province which is close to subduction zones and active faults. In mitigating landslides, geological characteristics or dynamics of the soil layers are needed. This study aims to analyze site class based on dominant frequency and dominant period, analyze amplification factors, analyze soil susceptibility and sediment thickness, determine the maximum ground vibration acceleration (PGA) value. The stages in this study consisted of data processing to obtain dominant frequency values, amplification, soil vulnerability index, sediment thickness, V_{s30} and calculating the PGA value based on the earthquake source from the Semangko Fault and making a map of the landslide prone zones in Semaka District. The distribution of dominant frequencies in Semaka District ranges from 2.18 – 13.48 Hz. While the dominant period values range from 0.074 s to 0.45 s. The amplification value of the amplification factor value is in the range of 1.04 – 4.9 times. Soil vulnerability index values in Semaka District, Tanggamus Regency are in the range of 0.2 cm/s^2 to 3.21 cm/s^2 . and the sediment thickness values are in the range of 10 m to 80 m. Based on the value of the slope, the geological factor and the thickness of the sediment the areas most vulnerable to landslides are Pekon Sedayu and Sukaraja.

Keywords : *Semaka District, Semangko Fault, site effect, PGA and landslide*

Judul Skripsi : IDENTIFIKASI DAERAH RAWAN LONGSOR
DAN GEMPABUMI ANALISA *HORIZONTAL
TO VERTICAL SPECTRAL RATIO* (HVSr) DI
WILAYAH SEMAKA KABUPATEN
TANGGAMUS

Nama Mahasiswa : Denta Winardi

Nomor Pokok Mahasiswa : 1815051024

Program Studi : Teknik Geofisika

Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi pembimbing

Pembimbing 1



Dr. Ir. Nandi Haerudin, S.Si., M.Si., IPM
NIP. 19750911 200012 1002

Pembimbing 2



Ir. Bagus Sapto Mulyatno, S.Si., M.T.
NIP 197001202000031001

2. Ketua Jurusan Teknik Geofisika



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

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Dr. Ir. Nandi Haerudin, S.Si., M.Si., IPM.



Sekretaris : Ir. Bagus Sapto Mulyatno, S.Si., M.T.



Penguji
Bukan Pembimbing : Dr. Ir. Muh Sarkowi, S.Si., M.Si, IPU.



2. Dekan Fakultas Teknik



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

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 06 Desember 2022

PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Dengan ini menyatakan bahwa apa yang tertulis di dalam skripsi ini 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 dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 15 Desember 2022

Penulis,



Denta Winardi

NPM 1815051024

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Denta Winardi , dilahirkan di Bandung sebagai anak pertama dari tiga bersaudara, dari pasangan Bapak Johan Widana dan Ibu Ade Sulasmi. Penulis mengawali pendidikan formal di Sekolah Dasar di SDN Turangga 1

yang diselesaikan pada tahun 2011, Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 20 Bandung yang diselesaikan pada tahun 2014, dan Sekolah Menengah Atas di MA Raudlatul ‘ulum Anyer yang diselesaikan pada tahun 2018.

Penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN) pada tahun 2018. Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) pada Agustus – September 2021 di Desa Cikoneng, Kecamatan Anyer, Kabupaten Serang, Banten. Penulis melaksanakan Studi Independen yang dilakukan konversi Kerja Praktik di PT Digitalisasi Pemuda Indonesia dengan judul “Analisis Student Performance dengan menggunakan analisis machine learning.” Selama masa studi, penulis juga aktif menjadi Asisten Praktikum untuk mata kuliah Sistem Informasi Geografis, Geolistrik dan Magnetik di Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Penulis aktif juga di organisasi kemahasiswaan seperti Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika Bhuwana (Kepala Divisi Eksternal), di Universitas Lampung periode 2020 – 2021.

Pada akhir masa studi penulis melakukan penelitian untuk memperoleh gelar sarjana teknik dengan judul “Identifikasi Daerah Rawan Longsor Dan Gempabumi Berdasarkan Analisis *Horizontal To Vertical Spectral Ratio* (HVSR) Di Kecamatan Semaka Kabupaten Tanggamus”.

PERSEMBAHAN

Saya Persembahkan Karyaku ini Untuk Allah SWT

Bapak Ibu serta keluarga besarku

Teknik Geofisika Universitas Lampung 2018
Keluarga Besar Teknik Geofisika Universitas Lampung
Almamater Tercinta Universitas Lampung

MOTTO

“Keputusan dalam hidup, sering kali membawa kita kepada hal hal yang tidak terduga. Beberapa hal membuat kita bersyukur, beberapa lainnya membuat kita menyesal. Tapi ketahuilah, benar atau salah dalam membuat keputusan, pada akhirnya kita akan belajar untuk menjadi manusia yang lebih baik”

"كُنْ أَيُّ شَيْءٍ مَا شِئْتَ، لَكِنْ لَا تَنْسَى مَشِيرَكَ ، وَ لَا تَنْسَى ضَمِيرَكَ"

“Jadi apapun kalian terserah, yg penting jangan lupa hatimu dimana (santri)”

“Saat kita menanam padi, rumput pun ikut tumbuh tapi saat kita menanam rumput, tidak pernah tumbuhnya padi. Dalam melakukan “kebaikan” kadang kadang hal yang buruk turut menyertai. Namun, saat melakukan “keburukan” tidak ada kebaikan bersamanya. Jangan bosan untuk berbuat baik meskipun kadang kadang tidak sempurna”

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul “Identifikasi Daerah Rawan Longsor Dan Gempabumi Berdasarkan Analisis *Horizontal To Vertical Spectral Ratio* (HVSR) Di Wilayah Semaka Kabupaten Tanggamus ”. Adapun maksud dan tujuan dari penulisan Skripsi ini adalah untuk memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelarsarjana teknik pada Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Universitas Lampung. Selama penulisan Skripsi ini banyak sekali terdapat hambatan yang dialami. Namun berkat adanya bantuan, serta bimbingan dari berbagai pihak, hingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Penulis menyadari bahwa tidak tertutup kemungkinan di dalam Skripsi ini terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan skripsi ini. Semoga Skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi penulis khususnya dan bagi para pembaca pada umumnya, serta bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Bandar Lampung, 15 Desember 2022

Penulis,



Denta Winardi

NPM. 1815051024

SANWACANA

Puji syukur penulis haturkan kepada Allah *Subhanahu Wa Ta'ala* Yang Maha Kuasa karena berkat rahmat dan hidayah serta karunia-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Tak lupa pula shalawat serta salam yang selalu tercurahkan kepada junjungan kita nabi besar Muhammad *Shallallahu 'alaihi wasallam* yang menjadi suri tauladan bagi kita.

Dalam penyelesaian skripsi ini, banyak pihak yang telah terlibat dan kesempatan ini penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua tercinta yang selalu menjadi kebanggaan hidup penulis Bapak dan mamah yang telah banyak memberi dukungan, mencintai dan menyayangi dengan sepenuh hati
2. Kepada keluarga besar Gumuruh Bandung dan Anyer yang memberikan dorongan, motivasi untuk menyelesaikan skripsi ini.
3. **Bapak Karyanto, S.Si., M.T.** selaku Ketua Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung yang membantu penulis untuk lulus tepat waktu
4. **Bapak Dr. Ir. Nandi Haerudin, S.Si., M.Si., IPM.** selaku dosen pembimbing pertama yang telah memberikan bimbingan, arahan dengan penuh kesabaran, kebaikan hati dan kesedian dalam membimbing dan memberikan kritik, masukan serta motivasi dalam pengerjaan skripsi ini
5. **Bapak Ir. Bagus Sapto Mulyatno, S.Si., M.T.,** selaku dosen pembimbing kedua yang telah memberikan bimbingan, arahan dengan penuh kesabaran, kebaikan hati dan kesedian bapak dalam membimbing dan memberikan kritik, masukan serta motivasi dalam pengerjaan skripsi ini
6. **Bapak Dr. Ir. Muh. Sarkowi, S.Si., M.Si, IPU.** selaku penguji yang telah meluangkan waktunya, serta senantiasa memberikan saran dan masukan sertakritik yang berarti bagi penulis

7. **Bapak Sandri, S.T., M.Eng.** Selaku pembimbing lapangan yang telah memberikan bantuan dana dalam penelitian skripsi ini.
8. **Bapak Rustadi, S.Si., M.T.** Selaku Pembimbing Akademik yang membantu dalam perkuliahan serta memberikan saran dan motivasi.
9. **Dosen-dosen Jurusan Teknik Geofisika** Universitas Lampung yang penulis hormati, terima kasih untuk semua ilmu yang diberikan.
10. **Keluarga Besar Teknik Geofisika 2018 (TGasak)** yang telah memberikan motivasi dan membantu dalam penyusunan skripsi ini, terima kasih untuk kebersamaan kalian
11. Kepada **Bang fikri TG 16, Taufik TG 18, dan Alex TG 18** yang telah membantu dalam pengambilan data mikrotremor
12. Serta semua pihak yang terlibat, penulis mengucapkan banyak terima kasih

Semoga Allah SWT membalas semua bantuan dari semua pihak dengan sebaik-baiknya. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan Skripsi ini. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi perbaikan mendatang. Penulis juga berharap Skripsi ini dapat membawa manfaat positif bagi kita semua.

Bandar Lampung, 15 Desember 2022

Penulis,



Denta Winardi

NPM. 1815051024

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	iii
ABSTRCT	iv
PERSETUJUAN	v
PENGESAHAN	vi
PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA	vii
RIWAYAT HIDUP	viii
PERSEMBAHAN	ix
MOTTO	x
KATA PENGANTAR	xi
SANWACANA	xii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xviii
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
II. TINJAUAN PUSATAKA	
2.1 Lokasi Daerah Penelitian	4
2.2 Geologi Regional Lembar Kotaagung	6

2.3	Morfologi Semaka	8
2.4	Pengertian Tanah Longsor	10
2.5	Faktor Tanah Longsor	10
2.6	Bentuk Tanah Longsor	12
2.7	Penelitian Terdahulu	13

III. TEORI DASAR

3.1	Gelombang Seismik.....	17
3.2	Pengertian Mikrotremor	21
3.3	Metode <i>Horizontal To Vertical Spectral Ratio</i> (HVSR)	22
3.4	<i>Fast Fourier Transform</i> (FFT)	24
3.5	Frekuensi Dominan.....	24
3.6	Periode Dominan	25
3.7	Faktor Amplifikasi	27
3.8	Indeks Kerentanan Tanah	28
3.9	Kecepatan Gelombang Geser Vs30	29
3.10	Ketebalan Sedimen	30
3.11	<i>Peak Ground Acceleration</i> (PGA)	31

IV. METODE PENELITIAN

4.1	Tempat dan Waktu Penelitian.....	33
4.2	Alat dan Bahan Penelitian	33
4.3	Jadwal Kegiatan Penelitian	34
4.4	Prosedur Penelitian	35
4.5	Diagram Alir Penelitian.....	42

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1	Analisis Frekuensi Dominan	43
5.2	Analisis Faktor Amplifikasi.....	47
5.3	Analisis Periode Dominan	51

5.4	Analisis Ketebalan Lapisan Sedimen	53
5.5	Analisis Indeks Kerentanan Tanah	55
5.6	Analisis Kecepatan Gelombang Geser (V_s30).....	57
5.7	Analisis Percepatan Getaran Tanah Maksimum (PGA)	61
5.8	Zonasi Rawan Gempabumi	64
5.9	Zonasi Rawan Tanah Longsor	67

VI. KESIMPULAN

6.1	Kesimpulan.....	70
6.2	Saran	71

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Peta Lokasi Penelitian.....	5
2. Peta Geologi Regional Lembar Kotaagung	7
3. Peta Kemiringan Lereng Kecamatan Semaka.....	9
4. Ilustrasi Gelombang P	18
5. Ilustrasi Gelombang S	19
6. Gelombang <i>Rayleigh</i>	20
7. Gelombang <i>Love</i>	21
8. Perbandingan Kurva HVSR	23
9. Konsep Dasar Amplifikasi Gelombang Seismik	28
10. Model Dua Lapisan: <i>Bedrock</i> dan Sedimen.....	31
11. Diagram Alir Penelitian	42
12. Peta Persebaran Frekuensi Dominan Kecamatan Semaka	44
13. Peta Persebaran Frekuensi Dominan Klasifikasi Kanai.....	46
14. Peta Persebaran Faktor Amplifikasi Kecamatan Semaka.....	48
15. Peta Persebaran Faktor Amplifikasi Kecamatan Semaka.	50
16. Peta Sebaran Nilai Periode Dominan Tanah.....	52
17. Peta Sebaran Nilai Ketebalan Sedimen.....	54
18. Peta Persebaran Indeks Kerentanan Tanah	56
19. Peta Persebaran VS30 Kecamatan Semaka	58
20. Peta persebaran V_{S30} Kecamatan Semaka Klasifikasi NEHRP	60
21. Peta Persebaran <i>Peak Ground Acceleration</i> (PGA) Kecamatan Semaka	63
22. Peta Zonasi Rawan Gempabumi Kecamatan Semaka	66
23. Peta Zonasi Rawan Tanah Longsor Kecamatan Semaka.....	69

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Klasifikasi Kelas Kemiringan Lereng.....	11
2. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Kanai.....	25
3. Klasifikasi Tanah Kanai – Omote Nakajima	26
4. Klasifikasi Faktor Amplifikasi	28
5. Klasifikasi Jenis Batuan Berdasarkan NHERP.....	29
6. Jadwal Kegiatan Penelitian	34
7. Klasifikasi Nilai PGA Berdasarkan BMKG	40
8. Parameter Tanah Longsor	41
9. Parameter Gempabumi	42

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Tanah longsor merupakan salah satu jenis bencana alam yang sering terjadi di Indonesia. Penyebab utama dari bencana tersebut adalah intensitas curah hujan yang mampu melunakkan tanah atau aktivitas kegempaan yang menimbulkan gaya dinamis akibat getaran atau rambatan dari pusat gempa, sehingga terjadi *slope* atau ketidakstabilan lereng. Akibat paling nyata dari bencana tanah longsor adalah tertimbunnya pemukiman atau kelompok masyarakat yang tinggal di atas atau di bawah lereng yang kondisinya tidak stabil. Oleh karena itu, bencana alam ini tidak hanya mengakibatkan kerusakan lingkungan dan infrastruktur, tetapi juga dapat menimbulkan korban jiwa.

Indonesia secara geologi berada di pertemuan tiga lempeng utama tektonik, yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Pasifik. Pergerakan antar lempeng tersebut menyebabkan terbentuknya jalur gempabumi, jalur gunung api, serta zona penunjaman atau patahan-patahan yang berakibat pada morfologi Indonesia yang beragam dari dataran rendah hingga pegunungan tinggi. Selain itu, Indonesia yang beriklim tropis karena letaknya yang berada di khatulistiwa memiliki kondisi klimatologis dengan curah hujan cukup tinggi, sehingga tidak heran apabila Indonesia sering mengalami bencana alam seperti tanah longsor karena wilayahnya yang berupa lereng dengan curah hujan tinggi.

Salah satu wilayah di Indonesia yang sering mengalami bencana tanah longsor adalah Kecamatan Semaka, Kabupaten Tanggamus, Provinsi Lampung. Secara geografis, sebagian wilayah ini terletak di lereng perbukitan dan berbatasan

langsung dengan Taman Nasional Bukit Barisan Selatan (TNBBS). Kecamatan Semaka merupakan wilayah berupa dataran rendah hingga tinggi yang terdiri dari 22 desa dengan luas wilayah 4.654 km². Selain itu, Kecamatan Semaka juga dilalui sesar mayor yang melintas dari utara selatan. Dengan adanya beberapa jalur sesar diduga wilayah tersebut memiliki banyak retakan yang ketika hujan turun berakibat pada melunaknya batuan dan tidak mampu menahan kandungan air sehingga terjadi tanah longsor.

Berdasarkan data yang dihimpun BPBD pada tahun 2021, kecamatan di Kabupaten Tanggamus memiliki potensi gerakan tanah/ longsor menengah hingga tinggi. Bencana longsor di Tanggamus mengakibatkan kerugian berupa fisik dan ekonomi hingga ratusan juta rupiah. Bencana tersebut juga mengakibatkan kerusakan lingkungan seluas 5.746 hektar (BPBD, 2021).

Penelitian pendahuluan terkait longsor di Tanggamus, khususnya pada Kecamatan Semaka, telah dilakukan oleh (Syah dkk., 2021) dengan pendekatan Analisis Potensi Longsor dan mekanisme longsor. Hasil dari penelitian tersebut menghasilkan litologi, model *slop*, dan nilai kohesi tanah. Data dari penelitian tersebut memberikan informasi dasar yang masih butuh kajian lebih lanjut untuk penanggulangan longsor ke depannya.

Berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu, belum ada penelitian yang digunakan untuk mengetahui karakteristik geologi atau dinamika lapisan tanah di Kecamatan Semaka, dimana karakteristik geologi setempat tersebut dapat menunjukkan bagaimana material material dapat terlongsorkan. Salah satu metode di geofisika yang dapat menunjukkan karakteristik tersebut adalah metode mikrotremor. Hasil pengukuran dengan metode ini adalah sinyal mikrotremor yang kemudian diolah dengan metode *Horizontal To Vertical Spectral Ratio* (HVSr), sehingga diperoleh nilai frekuensi dominan dan faktor amplifikasi dari suatu titik pengukuran. Kedua parameter mikrotremor tersebut kemudian digunakan untuk menghitung indeks kerentanan tanah, ketebalan sedimen dan percepatan getaran tanah maksimum atau *peak ground acceleration* (PGA).

Penelitian lebih lanjut akan sangat dibutuhkan dengan memadukan kajian metode

geofisika, geologi dan pendekatan SIG. Penelitian ini akan dilakukan di beberapa titik yang memiliki zona kerentanan gerakan tanah menengah-tinggi, dengan menganalisis kestabilan lereng dan memberikan alternatif penanganan potensi gerakan tanah. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan rekomendasi terhadap upaya mitigasi bencana gerakan tanah, meminimalkan kerugian baik jiwa atau material di masa yang akan datang serta mampu memberikan masukan bagi pemangku kebijakan di Kota Tanggamus.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

- a. Menganalisis *site class* berdasarkan frekuensi dominan dan periode dominan dari data pengukuran.
- b. Menganalisis faktor amplifikasi di daerah penelitian dari data pengukuran.
- c. Menganalisis kerentanan tanah dan ketebalan sedimen di daerah penelitian.
- d. Menentukan nilai percepatan getaran tanah maksimum (PGA) di daerah penelitian.

1.3. Batasan Masalah Penelitian

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah :

- a. Data primer pengukuran yang digunakan pada penelitian ini berupa data mikrotremor di Kecamatan Semaka.
- b. Pengambilan data mikrotremor mengacu pada aturan yang ditetapkan oleh *SESAME European Research Project*.

1.4. Manfaat Penelitian

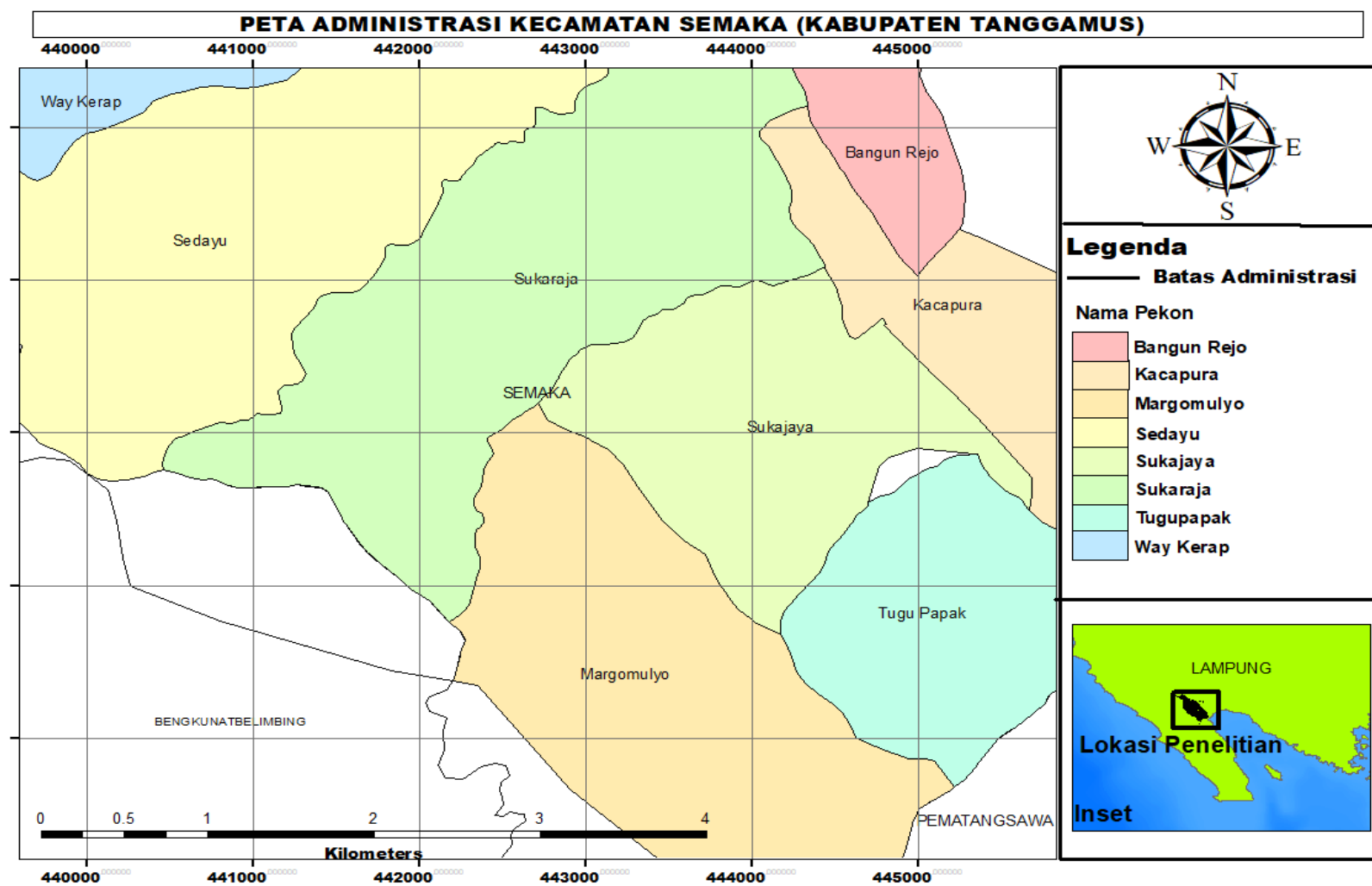
Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

- a. Memberikan informasi tentang daerah yang rawan bencana tanah longsor berdasarkan nilai *peak ground acceleration* (PGA), ketebalan sedimen dan kemiringan lereng di Kecamatan Semaka.
- b. Sebagai acuan untuk mengatur tata ruang dan wilayah dalam rencana pengembangan dan pembangunan Kabupaten Tanggamus.
- c. Sebagai upaya awal untuk memitigasi bencana geologi di Kecamatan Semaka.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Lokasi Penelitian

Daerah penelitian yang diperlihatkan pada **Gambar 1**, terletak di Kecamatan Semaka, Kabupaten Tanggamus, Provinsi Lampung. Kecamatan Semaka sendiri mempunyai 22 desa atau pekon. Di sebelah timur berbatasan dengan Kecamatan Tanggamus dan di sebelah barat dengan Taman Nasional Bukit Barisan Selatan. Sedangkan di sebelah utara berbatasan dengan Taman Nasional Bukit Barisan Selatan dan di sebelah selatan berbatasan dengan Teluk Semangka. Kondisi alam di Kecamatan Semaka sebelah barat dan utara, adalah daerah yang berbukit-bukit sebagai sambungan dari jalur Bukit Barisan Selatan di Pulau Sumatera. Sedangkan tepian pantai di sebelah selatan, di sepanjang tepi Teluk Semangka terus ke selatan merupakan perairan yang luas.



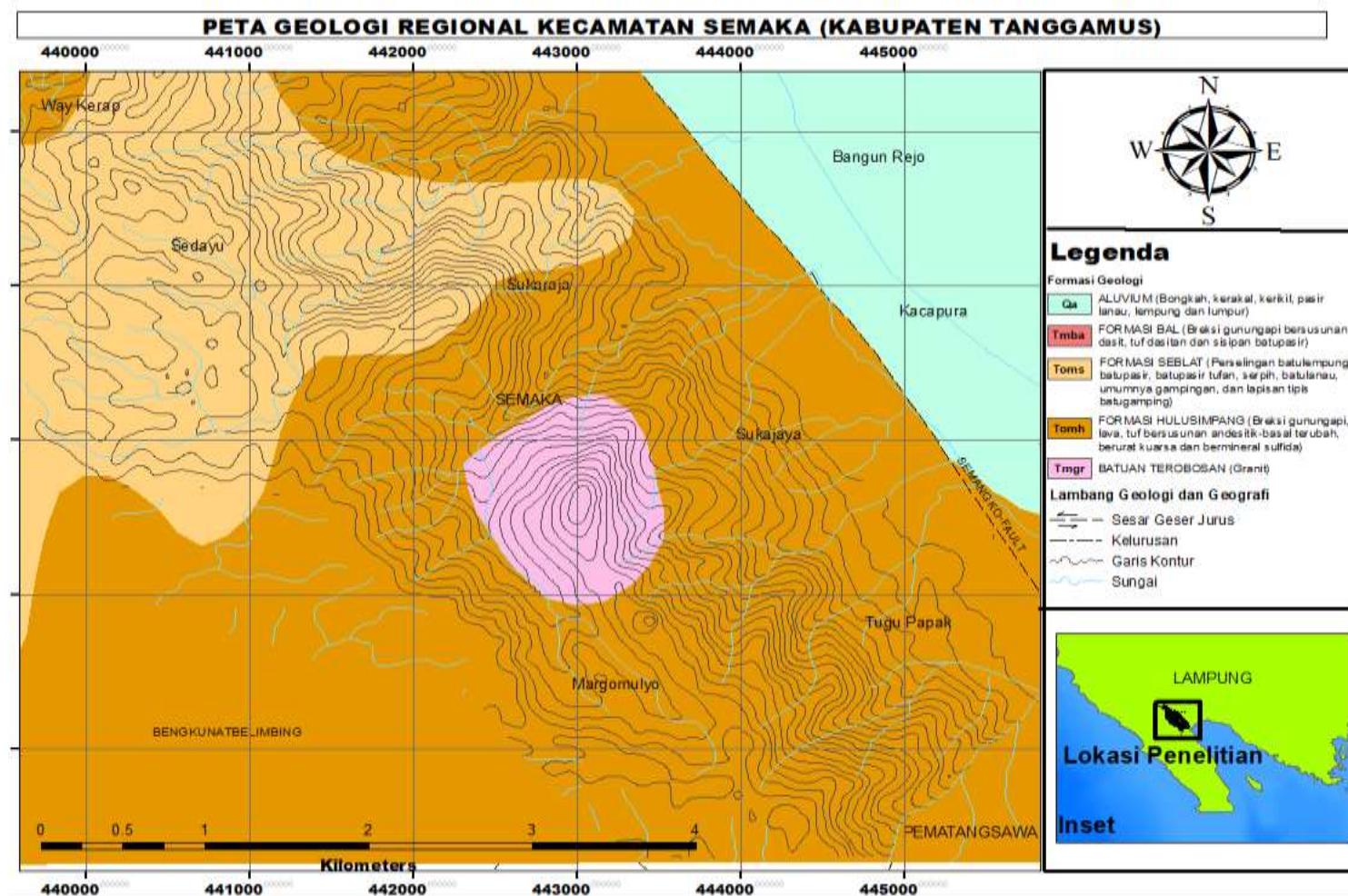
Gambar 1. Peta lokasi penelitian

2.2. Geologi Regional Lembar Kotaagung

Sebagian besar wilayah Lampung berupa batuan produk gunung api yang berumur Kuartar hingga Paleogen Akhir, di beberapa tempat tersingkap batuan terobosan, metamorf dan sedimen yang berumur Paleogen Akhir hingga Kapur. Daerah Lampung dilewati oleh Sesar Besar Sumatera memanjang sejajar sumbu utama pulau Sumatera yang membentang pada busur gunung api di Sumatera sepanjang 1650 km menghubungkan daerah tektonik regangan Selat Sunda di Selatan dengan daerah tektonik regangan belakang busur Laut Andaman di Utara. Pergeseran sepanjang sesar ini merupakan akibat tumbukan menyerong antara lempeng Indo-Australia di selatan dengan lempeng Eurasia di Utara. Sesar Sumatera terdiri dari beberapa segmen yang secara umum dibatasi oleh daerah-daerah depresi; segmen Ranau- Suoh merupakan segmen selatan sesar ini. Sesar yang mempunyai pergerakan horisontal mengangan (*right lateral strike slip*) ini tercatat beberapa kali menimbulkan gempa bumi yang merusak seperti Kerinci (1909), dan Liwa (1994) (Rozak, 2009).

Berdasarkan peta geologi Lembar Kotaagung yang telah di modifikasi dari Amin, dkk., (1993) yang tertera pada **Gambar 2** menjabarkan bahwa Kecamatan Semaka memiliki susunan litologi dan kelulusan batuan sebagai berikut:

- a. Formasi Aluvium (**Qa**) yang terdiri dari bongkah, kerakal, kerikil, pasir lanau, lempung dan lumpur. Umumnya kelulusan batuan rendah.
- b. Formasi Bal (**Tmba**) yang terdiri dari breksi gunungapi bersusunan dasit, tuff dasitan dan sisipan batupasir. Umumnya kelulusan batuan rendah.
- c. Formasi Seblat (**Tombs**) yang merupakan dari perselingan batulempung, batupasir, batupasir tufan, serpih, batu lanau, umumnya gampingan, dan lapisan tipis batugamping. Umumnya kelulusan batuan rendah sampai sedang.
- d. Formasi Hulusimpang (**Tomh**) yang merupakan batuan vulkanik tua, terdiri dari lava, breksi gunung api, *tuff* bersusunan andesitik- basalt berubah, berurat kuarsa dan bermineral sulfida Umumnya kelulusan rendah.
- e. Batuan terobosan (**Tmgr**) yang terdiri dari granit.



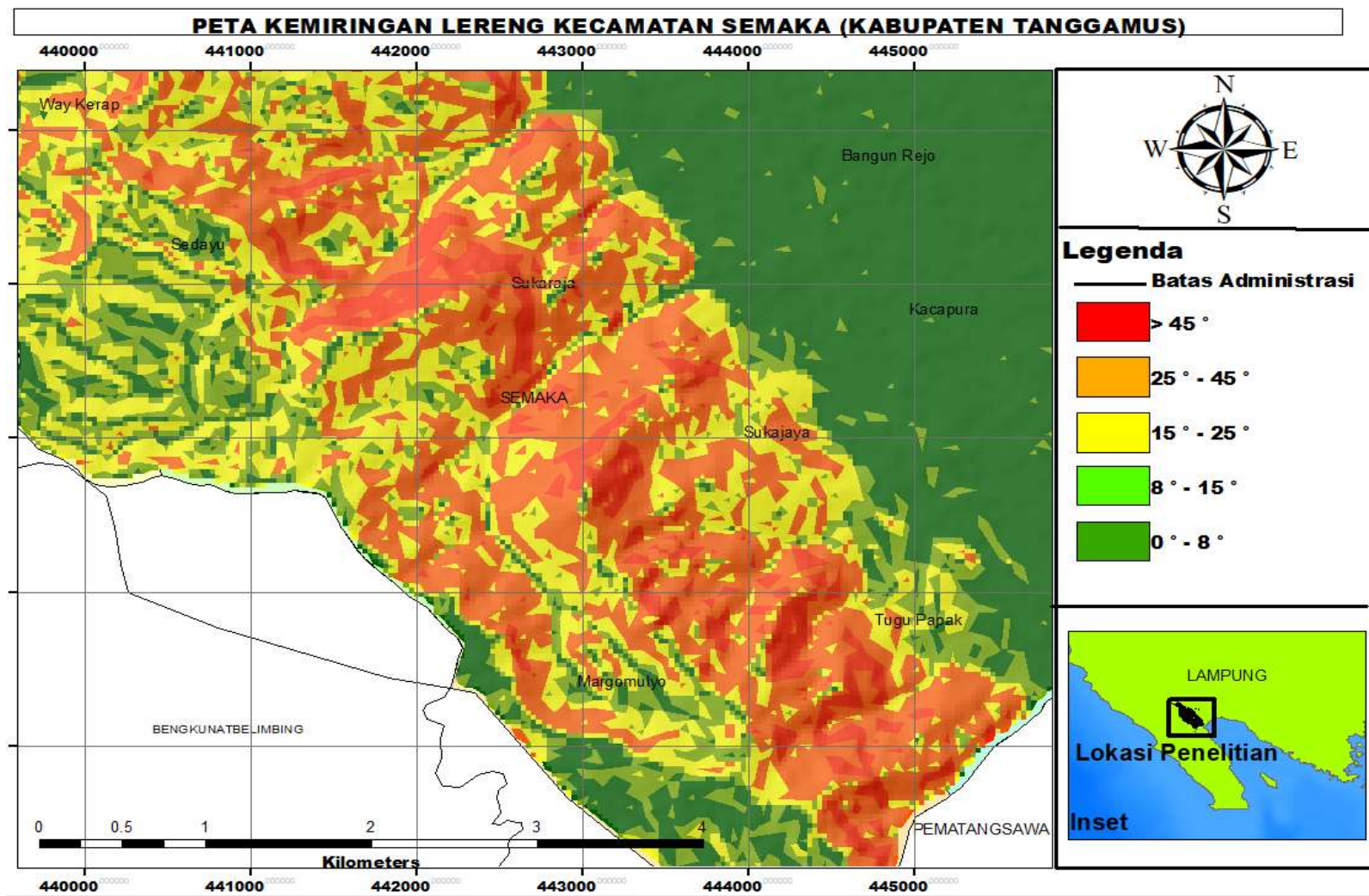
Gambar 2. Peta Geologi Regional Lembar Kotaagung (modifikasi dari Amin dkk., 1993).

2.3. Morfologi Semaka

Bentuk Lahan merupakan bentukan alam di permukaan bumi yang menggambarkan kondisi suatu wilayah dengan ciri yang berbeda satu dengan lainnya, tergantung dari proses pembentukan dan evolusinya. Interpretasi morfologi daerah penelitian dilakukan dengan menggunakan peta topografi atau peta rupa bumi dan data DEMNAS untuk mengklasifikasi unsur morfologi daerah penelitian. Berdasarkan Pedoman Penyusunan Pola Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah (1986) kelas lereng dibagi menjadi 5, yaitu; ($> 45^\circ$) merupakan kondisi lahan sangat curam, ($25 - 45^\circ$) merupakan kondisi curam, ($15^\circ - 25^\circ$) merupakan kondisi lahan agak curam, ($8^\circ - 15^\circ$) merupakan kondisi lahan landai, ($0^\circ - 8^\circ$) merupakan kondisi lahan datar.

Berdasarkan peta kemiringan lereng yang tertera pada **Gambar 3** daerah penelitian terdiri dari 5 kelas lereng, yaitu kelas lereng datar / sangat landai dengan kemiringan ($0^\circ - 8^\circ$) ditunjuk kan dengan warna hijau tua, kelas lereng landai dengan kemiringan ($8^\circ - 15^\circ$) ditunjuk kan oleh warna hijau muda, kelas lereng agak curam dengan kemiringan ($15^\circ - 25^\circ$) ditunjuk kan oleh warna kuning, kelas lereng curam dengan kemiringan ($15^\circ - 45^\circ$) ditunjuk kan oleh warna oranye, dan kelas lereng sangat curam dengan kemiringan ($> 45^\circ$) ditunjuk kan oleh warna merah.

Menurut Van Bemmelen (1949), morfologi daerah penelitian dan sekitarnya dikelompokkan menjadi tiga satuan morfologi, yaitu satuan morfologi dataran aluvial, satuan morfologi perbukitan, satuan morfologi pegunungan.



Gambar 3. Peta Kemiringan Lereng Kecamatan Semaka

2.4. Pengertian Tanah Longsor

Tanah longsor secara umum adalah suatu peristiwa geologi dimana terjadi pergerakan tanah seperti jatuhnya bebatuan atau gumpalan besar tanah. Secara umum, tanah longsor akan terjadi ketika gaya pendorong pada sebuah lereng lebih besar daripada gaya penahan nya. Gaya penahan umumnya dipengaruhi oleh kekompakan dari batuan dan kepadatan dari tanah, sedangkan gaya pendorong dipengaruhi oleh berat jenis tanah batuan, beban, air dan besarnya kemiringan lereng. Ketika air meresap hingga lapisan kedap air atau bidang gelincir, maka bidang gelincir tersebut menjadi licin dan tanah lapuk di atasnya akan bergerak mengikuti lereng dan luar lereng. Gejala umum tanah longsor ditandai dengan munculnya retakan-retakan di sekitar lereng yang sejajar dengan arah tebing serta munculnya air secara tiba-tiba setelah terjadi hujan dan kemudian tebing rapuh atau kerikil mulai berjatuhan (Nandi, 2007).

Proses Bergeraknya massa tanah atau batuan pada lereng (longsoran) dapat disebabkan oleh adanya pengaruh dari faktor-faktor: geomorfologi, litologi, struktur geologi, hidrogeologi, serta penggunaan lahan. Menurut (Pramumijoyo, dkk 2009), meskipun suatu lahan atau kawasan berdasarkan kondisi alamnya rentan untuk bergerak atau longsor, potensi gerakan tanah ini dapat diminimalkan dengan beberapa teknik mitigasi sebagai berikut:

- a. Identifikasi zona yang rentan bergerak,
- b. Identifikasi faktor kunci penyebab gerakan tanah,
- c. Menerapkan rekayasa untuk meminimalkan pemicu/ pengaruh pemicu atau memperkuat lereng.

2.5. Faktor Tanah Longsor

Gangguan yang merupakan faktor penyebab tanah longsor berupa proses alamiah, nonalamiah, ataupun kombinasi keduanya, yang secara aktif mempercepat proses hilangnya kestabilan pada suatu lereng. Secara umum, faktor penyebab tanah longsor dapat berupa hujan, getaran dan aktivitas manusia (Pramumijoyo, dkk 2009).

a. Kondisi Geologi

Kondisi geologi suatu wilayah yang dapat mengalami longsor adalah adanya batuan lapuk atau sisipan lapisan batu lempung di atas lapisan batuan yang miring (berupa lereng). Lapisan lapuk tersebut menyebabkan bidang longsor, karena merupakan lapisan yang kedap air. Lereng yang terjal dan curam diakibatkan oleh struktur sesar dan kekar (lipatan dan patahan), gunung api, stratigrafi atau gempabumi.

b. Kondisi Tanah

Kondisi yang dapat memicu terjadinya longsor adalah tanah yang mengalami erosi dan pengikisan, memiliki tanah yang bersifat lapuk atau lembek, butirannya halus, dan tanah jenuh. Kondisi ini dapat dipicu oleh iklim yang sering berganti serta tumbuhnya banyak vegetasi di lereng yang mempercepat pelapukan.

c. Kelerengan

Kelerengan merupakan tingkat kemiringan yang tercermin dalam morfologi. Semakin besar tingkat kelerengan pada umumnya akan semakin menambah kemungkinan terjadinya tanah longsor. Klasifikasi kemiringan lereng ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi Kelas Kemiringan Lereng Berdasarkan Pedoman (Penyusunan Pola Rehabilitasi dan Konservasi Tanah, 1986)

Kemiringan (°)	Keterangan
0 – 8	Datar
8 – 15	Landai
15 – 25	Agak Curam
25 – 45	Curam
> 45	Sangat Curam

d. Penggunaan lahan

Penggunaan lahan oleh manusia sangat berpengaruh terhadap terjadinya tanah longsor. Pembukaan hutan secara terus menerus dan sembarangan, pemotongan lereng atau tebing untuk jalan atau pemukiman, penanaman

jenis pohon yang terlalu berat dengan jarak yang terlalu rapat, bahkan penggalian tambang yang tidak memperhatikan aspek lingkungan merupakan pola penggunaan lahan yang umumnya dijumpai di daerah longsor.

e. Getaran

Getaran dapat melemahkan atau memutuskan hubungan antar butir partikel-partikel penyusun tanah atau batuan pada lereng. Getaran berperan dalam menambah gaya penggerak dan sekaligus mengurangi gaya penahan. Getaran dapat berasal dari gempa bumi (alamiah), maupun dari ledakan atau getaran lalu lintas (nonalamiah).

f. Hujan

Hujan dalam periode yang panjang akan menyebabkan air yang dicurahkan meresap ke dalam lereng. Semakin banyak air yang meresap dalam lereng, maka lapisan tanah akan semakin jenuh dan lunak, sehingga terjadi longsor.

2.6. Bentuk Tanah Longsor

Bencana tanah longsor dapat terjadi dalam 6 bentuk (Ilyas, 2011), yaitu *slide* (longsoran), *falls* (jatuhan), *topples* (robohan), *flows* (aliran) dan *creep* (rayapan). Bentuk-bentuk tanah longsor tersebut diuraikan sebagai berikut.

a. *Slide* (Longsoran)

Tanah longsor jenis ini bergerak di atas suatu permukaan bidang gelincir yang berupa rekahan, kekar, atau bidang perlapisan yang sejajar dengan lereng. Slide dapat dibedakan menjadi dua, yakni dalam bentuk translasi dan rotasi. Tanah longsor translasi adalah Bergeraknya massa batuan dan tanah pada bidang gelincir yang berbentuk landai atau merata, sedangkan pada tanah longsor rotasi umumnya berbentuk cekung.

b. *Falls* (Jatuhan)

Falls adalah bentuk tanah longsor yang gerakan pecahan batuan besar atau kecil terlepas dari massa batuan dasar dan terjun bebas dengan cepat hingga

sangat cepat. Longsoran jenis ini umumnya terjadi pada lereng terjal di pinggir jalan atau sungai yang memiliki batuan lapuk dan banyak rekahan.

c. *Topples* (Robohan)

Bentuk tanah longsor ini umumnya robohnya batuan yang bergerak pada bidang diskontinyu yang sangat tegak pada lereng. Bidang diskontinyu ini berupa retakan pada batuan seperti pada runtuhan.

d. *Flows* (Aliran)

Flows adalah jenis tanah longsor yang terjadi ketika massa tanah bergerak dengan didorong oleh air. Kecepatan aliran tergantung pada tekanan air, volume, kemiringan lereng, dan serta jenis materialnya. Gerakannya terjadi sepanjang lembah dan mampu mencapai jarak ratusan hingga ribuan meter. Tanah longsor jenis ini biasa terjadi di daerah aliran sungai sekitar gunung api dan dapat menelan korban yang cukup banyak.

e. *Creep* (Rayapan)

Creep merupakan jenis tanah longsor jenis yang berupa butiran halus dan kasar dari tanah yang bergerak lambat dan umumnya tidak bisa dilihat dengan kasat mata. Namun setelah waktu yang cukup lama jenis gerakan ini dapat diamati, seperti dinding rumah retak-retak.

2.7. Penelitian Terdahulu

Penelitian pendahuluan terkait longsor di Tanggamus telah dilakukan oleh (Syah dkk., 2020) dengan pendekatan Analisis Potensi dan mekanisme longsor. Hasil dari penelitian tersebut menghasilkan litologi, model *slop*, dan nilai kohesi tanah.

Dari penelitian sebelumnya terkait mikrotremor yang dilakukan oleh (Arifin dkk., 2013) dengan judul “Penentuan Zona Rawan Guncangan Bencana Gempabumi Berdasarkan Analisis Nilai Amplifikasi HVSR Mikrotremor dan Analisis Periode Dominan Daerah Liwa dan Sekitarnya.” dapat diketahui bahwa mikrotremor merupakan getaran harmonik alami tanah yang terjadi secara terus-menerus dengan amplitudo rendah sekitar 0,1 mikron – 1 mikron yang dihasilkan oleh adanya gerakan bawah permukaan. Karakteristik dari metode mikrotremor ini akan

mencerminkan jenis dan karakteristik batuan berdasarkan nilai frekuensi dominannya dan berguna untuk menganalisa respon batuan dalam memperkuat (amplifikasi) getaran yang didasarkan pada perbedaan impedansi *basement* dengan batuan sedimen di atasnya. Berdasarkan sejarah gempabumi, Kecamatan Liwa sendiri pernah dilanda dua kali gempabumi dengan kekuatan gempa yang cukup tinggi, yaitu 7,3 skala *richter* pada 24 Juni 1933 dan 7,0 skala *richter* pada 15 Februari 1994 dengan jumlah korban yang banyak dan tingkat kerusakan yang parah. Hal tersebut melatar belakangi dilakukannya penelitian dengan menggunakan metode mikrotremor pada 15 April 2013 sampai dengan 4 Mei 2013 sebagai upaya pembangunan maupun pengembangan tata ruang demi mengurangi dampak resiko dari bencana gempabumi. Data yang diperoleh dari pengukuran mikrotremor berupa nilai perbandingan spektral horizontal terhadap vertikal (H/V), frekuensi dominan dan amplifikasi. Dari hasil pengolahan dan analisa yang dilakukan diketahui bahwa daerah Liwa berada pada area dengan nilai faktor penguatan (amplifikasi) > 5 dan nilai frekuensi dominan < 3 Hz. Kondisi litologi Kecamatan Liwa yang terdiri dari aluvial dirombak secara baik akibat interaksi sesar – sesar, membuat Kecamatan Liwa sangat rentan apabila diguncang gempabumi.

Telah dilakukan penelitian oleh (Rahayu dkk., 2016) untuk menentukan nilai kerentanan tanah akibat gelombang seismik dari bencana gempabumi di wilayah Bandar Lampung berdasarkan metode mikrotremor. Penelitian ini dilakukan untuk menghasilkan kurva HVSR agar mendapatkan nilai frekuensi dominan (f_0) dan nilai puncak perbandingan *spectrum* horizontal dan vertikal $H/V (A_0)$. Akuisisi data dilakukan pada tiga lokasi wilayah pengukuran di Bandar Lampung, yaitu pada Kecamatan Kemiling, Panjang, dan Kedaton. Pemilihan wilayah tersebut didasarkan zonasi berupa daerah industri, fasilitas umum dan zona perumahan penduduk. Tahapan pada penelitian ini meliputi akuisisi data lapangan mikrotremor tiga komponen dan pengolahan data pengukuran berupa *import* sinyal, pemilihan lebar *window*, penghilangan noise, analisa kurva H/V untuk menghasilkan nilai frekuensi dominan dan amplifikasi. Berdasarkan hasil analisis nilai frekuensi dominan pada Kecamatan Kemiling menghasilkan nilai sebesar 0,3 Hz. Kecamatan Kedaton sebesar 0,1 Hz dan daerah Panjang sebesar 0,2 Hz. Kemudian

membandingkan nilai tersebut ke dalam referensi tabel zona kerentanan gempabumi maka didapatkan hasil bahwa daerah tersebut berada pada zona tinggi gempabumi karena nilai frekuensi didapatkan kurang dari 1.5 Hz yang didominasi lapisan lapuk dengan lapisan sedimen yang tebal.

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Wahyudin dkk., 2019) tentang analisa kerentanan Bendungan Ponre-ponre di Kabupaten Bone berdasarkan pengukuran mikrotremor dengan tujuan adalah memperoleh nilai kerentanan tanah akibat gelombang seismik di Bendungan Ponre-Ponre. Objek penelitian adalah Bendungan Ponre-ponre. Akuisisi data dilakukan dengan menggunakan seperangkat *Portable Seismograph* TDL 303 S untuk merekam getaran. Pengukuran dilakukan pada 10 titik yang terdiri dari 5 titik di badan bendungan dan 5 titik di sekitarnya. Data mikrotremor pada bendungan diolah menggunakan *software Geopsy* dengan metode HVSr (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*). Hasil yang diperoleh dengan nilai frekuensi dominan sebesar 0,43 - 8,88 Hz, sedangkan untuk nilai periode dominan adalah 0,11-2,32 s yang menunjukkan bahwa batuanannya merupakan batuan aluvial. Adapun nilai amplifikasi dengan rentang nilai 1,81 - 4,47 kali. Kerentanan berdasarkan nilai indeks kerentanan tanah berada pada rentang 0,45 - 9,54 cm/s^2 . Sedangkan kerentanan berdasarkan nilai PGA memiliki rentang nilai 18,35 – 83,37 gal. Berdasarkan hasil tersebut maka, Kerentanan Bendungan Ponre-Ponre berdasarkan nilai frekuensi dominan, periode dominan, amplifikasi, indeks kerentanan tanah, serta PGA secara umum berada pada zona yang masih relatif aman.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh (Koesuma dkk., 2018) dengan penentuan ketebalan sedimen menggunakan metode HVSr di Kota Surakarta Jawa Tengah. Beberapa pembangunan infrastruktur yang cukup masif di Kota Surakarta adalah kawasan industri di utara dan selatan Kota Surakarta, pembangunan jalan *flyover*, hotel-hotel dengan ketinggian lebih dari 25 lantai dan jembatan. Oleh karena itu dilakukan pengukuran menggunakan metode mikrotremor untuk menentukan ketebalan lapisan sedimen di Kota Surakarta. Hasil ketebalan sedimen digunakan untuk menentukan daerah yang rawan terhadap amplifikasi magnitudo gempabumi, semakin tebal lapisan sedimen semakin besar penguatan guncangan / amplifikasi,

sehingga berbahaya bagi infrastruktur yang terletak di atasnya. Akuisisi mikrotremor dilakukan di 12 lokasi dengan interval jarak antar titik 1-3 km. Peralatan yang digunakan adalah P.A.S.I *Seismograph Mod 16S24-P* dengan sensor *3D Borehole Geophone Model GFA 60/100*. Lama waktu pengukuran di setiap titik adalah 20 menit dengan tiga kali pengulangan perekaman data di setiap titik pengukuran. Pengolahan data mikrotremor menggunakan Surfer 11 dan *Software Geopsy*. Dari data tersebut diperoleh nilai ketebalan sedimen di 4 Lokasi yang berada di wilayah Dawung merupakan lokasi dengan ketebalan sedimen yang paling tebal yaitu 24,65 m. Kemudian ketebalan sedimen semakin menipis ke arah utara, yaitu pada tengah kota sekitar 15 meter dan pada sisi utara sekitar 5 meter. Hal ini mengindikasikan bahwa pada sisi selatan kota Surakarta merupakan daerah yang rawan terhadap penguatan guncangan jika terjadi gempabumi.

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Prakoso, 2018) dengan judul analisa tingkat resiko kerawanan tanah longsor berdasarkan nilai *peak ground acceleration* (PGA) di Desa purwosari Kecamatan Grimulyo Kabupaten Kulon Progo. Berdasarkan hasil pengolahan data dan hasil perhitungan diperoleh nilai PGA antara 32 – 185 cm/s^2 . Berdasarkan skala intensitas gempabumi (SIG-BMKG), rentang nilai PGA masuk dalam skala II, III, dan IV. Desa Purwosari didominasi oleh nilai PGA sedang, untuk nilai PGA rendah terdapat pada bagian utara Dusun Prangkokan dan Dusun Tegalsari, bagian timur Dusun Ngroto, bagian selatan Dusun Wonosari, dan bagian barat Dusun Patihombo dan Sabrangkidul, sedangkan untuk nilai PGA tinggi hanya terdapat pada Dusun Penggung. Nilai PGA yang tinggi tersebut dipengaruhi oleh faktor jarak. Titik pengukuran yang menghasilkan nilai PGA yang tinggi dengan jarak sebesar 36,88 km dari pusat gempabumi Yogyakarta 27 Mei 2006.

III. TEORI DASAR

3.1. Gelombang Seismik

Gelombang seismik adalah gelombang elastisitas yang merambat di dalam bumi. Perambatan gelombang ini tergantung dari sifat elastik batuan. Gelombang seismik ada yang merambat melalui permukaan bumi yang disebut *surface wave* atau gelombang permukaan dan ada juga yang merambat melalui interior bumi yang umumnya disebut *body wave* atau gelombang badan (Telford dkk., 1990).

3.1.1 Gelombang Badan (*Body Wave*)

Gelombang badan merupakan gelombang yang menjalar dalam media elastisitas serta menjalar ke seluruh bagian di dalam bumi. Berdasarkan gerak partikel, media dan arah penjarannya, gelombang dapat dibedakan menjadi dua jenis yakni:

a. Gelombang Primer (*P*)

Gelombang primer disebut juga dengan gelombang kompresi atau gelombang longitudinal. Gelombang ini memiliki kecepatan perambatan gelombang yang lebih tinggi apabila dibandingkan dengan gelombang sekunder. Arah simpangan gelombang *P* searah dengan arah perambatannya. Ilustrasi gerak gelombang *P* ditunjukkan pada **Gambar 4**. Gelombang *P* menjalar pada medium padat, cair, maupun gas. Persamaan kecepatan penjaran gelombang dirumuskan dengan persamaan (Kayal, 2008).

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

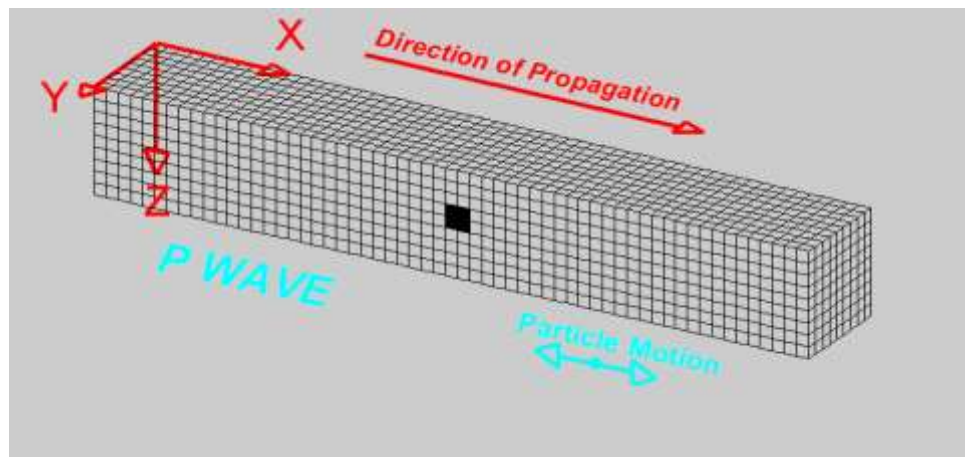
Notasi dalam rumus di atas adalah :

V_P = Kecepatan gelombang P (m/s)

k = Modulus *bulk* (Pa)

μ = Modulus geser (Pa)

ρ = Densitas batuan (kg/m^3).



Gambar 4. Ilustrasi Gelombang P (Elnashai dan Sarno, 2008).

b. Gelombang Sekunder (S)

Gelombang sekunder disebut juga gelombang *shear* atau gelombang transversal. Gelombang ini kecepatannya lebih lambat dibandingkan dengan gelombang P . Arah simpangan gelombang S tegak lurus terhadap arah rambatnya. Ilustrasi gerak gelombang S ditunjukkan pada **Gambar 5**. Perambatan gelombang S dipengaruhi oleh modulus geser dan densitas batuan sehingga gelombang S hanya dapat menjalar pada medium padat saja. Persamaan kecepatan penjalaran gelombang adalah (Telford dkk., 1990).

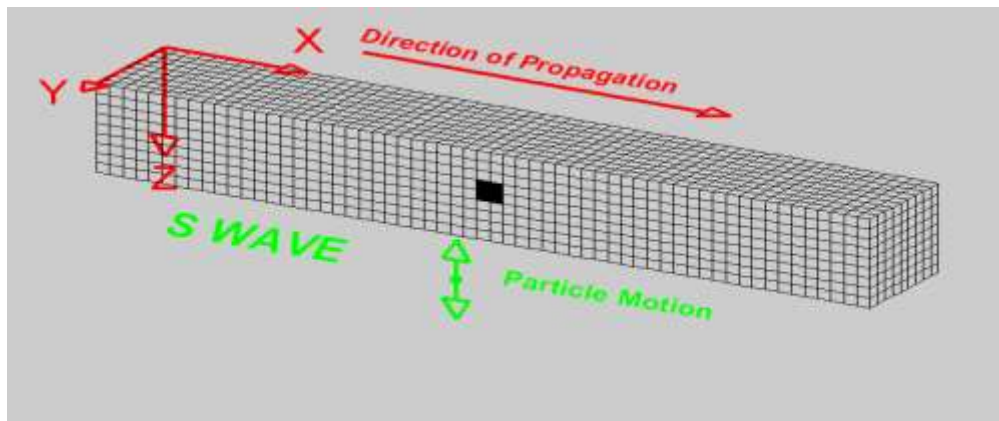
$$V_s = \frac{\mu}{\rho} \quad (2)$$

Notasi dalam rumus di atas adalah :

V_s = Kecepatan gelombang S (m/s)

μ = Modulus geser (Pa)

ρ = Densitas batuan (kg/m^3).



Gambar 5. Ilustrasi gelombang S (Elnashai dan Sarno, 2008).

3.1.2 Gelombang Permukaan (*Surface Wave*)

Gelombang Permukaan menjalar lebih lambat daripada gelombang badan, namun mengakibatkan kerusakan yang lebih besar. Hal ini dikarenakan gelombang permukaan membutuhkan waktu yang lebih lama untuk melewati permukaan bumi. Gelombang permukaan dibedakan menjadi dua, yaitu:

a. Gelombang *Rayleigh*

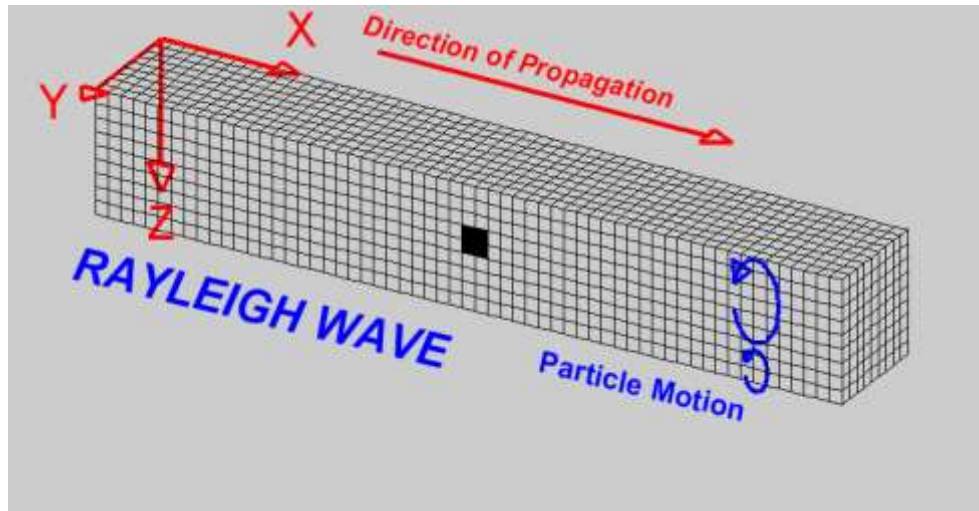
Gelombang *Rayleigh* merupakan salah satu gelombang permukaan yang gerakan partikelnya menyerupai elips dan tegak lurus terhadap permukaan dan arah penjarannya. Gelombang ini terjadi akibat interferensi antara gelombang tekan dengan gelombang geser secara konstruktif (Susilawati, 2008). Ilustrasi gelombang *Rayleigh* ditunjukkan pada **Gambar 6**. Kecepatan gelombang *Rayleigh* bergantung pada konstanta elastik dan kecepatannya lebih kecil dari V_S . Persamaan kecepatan gelombang *Rayleigh* adalah (Elnashai dan Sarno, 2008).

$$V_R = 0,92\sqrt{V_S} \quad (3)$$

Notasi dalam rumus di atas adalah :

V_R = Kecepatan gelombang *Rayleigh* (m/s)

V_S = Kecepatan gelombang S (m/s)



Gambar 6. Gelombang Rayleigh (Elnashai dan Sarno, 2008).

b. Gelombang *Love*

Gelombang *Love* merupakan gelombang permukaan yang menjalar dalam bentuk gelombang transversal. Gerakan partikel medium mirip dengan gerakan pada gelombang *S*. Ilustrasi gelombang *Love* ditunjukkan pada **Gambar 7**.

Kecepatan penjarannya bergantung pada panjang gelombangnya dan bervariasi disepanjang permukaan. Persamaan kecepatan gelombang *Love* (V_Q) dinyatakan sebagai (Lowrie, 2007) :

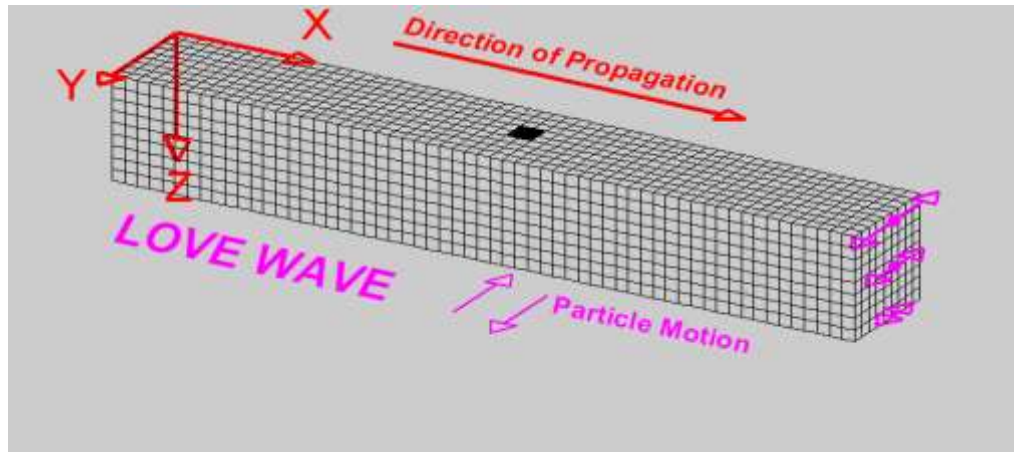
$$V_R < V_Q < V_S \quad (4)$$

Notasi dalam rumus di atas adalah :

V_Q = Kecepatan gelombang *Love* (m/s)

V_R = Kecepatan gelombang *Rayleigh* (m/s)

V_S = Kecepatan gelombang *S* (m/s).



Gambar 7. Gelombang *Love* (Elnashai dan Sarno, 2008).

3.2. Pengertian Mikrotremor

Mikrotremor atau biasa disebut dengan *ambient noise* merupakan getaran tanah dengan amplitudo mikrotremor yang disebabkan oleh faktor alam dan faktor manusia. Faktor alam dapat berupa angin, guncangan tanah, gerakan tanah, gempa bumi, gelombang laut, sedangkan faktor manusia dapat berupa aktivitas manusia seperti aktivitas industri, bangunan, kendaraan, langkah kaki manusia, dan lainnya. Karakteristik dari metode mikrotremor berhubungan dengan kondisi struktur tanah, dimana dari pengukuran mikrotremor dapat diketahui sifat getaran lapisan di bawah permukaan tanah. Mikrotremor dapat digunakan untuk identifikasi resonansi frekuensi dominan bangunan dan tanah, serta mikrozonasi untuk mengestimasi gempa bumi dan kerentanan tanah (Ambarsari, 2017). Mikrotremor berdasarkan pada periode dominan dan parameter amplifikasi dapat diketahui karakteristik lapisan tanah, serta parameter yang terukur meliputi frekuensi dominan (f_0) dan ketebalan sedimen (Haerudin dkk., 2019).

Mikrotremor merupakan getaran tanah dengan amplitudo sekitar $0,1 \mu\text{m}$ hingga $1 \mu\text{m}$ dan amplitudo kecepatan $0,001 \text{ cm/s}$ hingga $0,01 \text{ cm/s}$. Mikrotremor dibedakan menjadi dua jenis menurut rentang periodenya, yaitu yang pertama adalah mikrotremor periode panjang dengan periode lebih dari 1 detik yang terkait dengan struktur tanah yang lebih dalam atau menunjukkan dasar dari batuan keras dan mikrotremor periode pendek dengan periode kurang dari 1 detik yang berasosiasi dengan struktur bawah tanah permukaan yang dangkal dengan ketebalan sedimen beberapa puluh meter (Zuliyanti, 2018).

Survei mikrotremor dapat dilakukan dengan merekam di dua atau lebih lokasi secara bersamaan. Salah satunya perlu dilakukan di tempat yang terdapat struktur batuan keras (*hard rock*). Hal ini untuk menghindari amplifikasi frekuensi akibat gerakan tanah. Rasio spektrum yang diperoleh pada daerah penelitian akan dibandingkan dengan rasio spektrum yang terekam pada batuan keras, sehingga diperoleh respon tanah terhadap mikrotremor. Rasio dari spektrum horizontal dan vertikal dari mikrotremor meningkat pada frekuensi dan akan memperlihatkan puncak pada frekuensi tersebut. Menurut hipotesis Nakamura, H/V menandakan tingkat amplifikasi dari gerakan tanah, maka pengukuran tidak perlu dilakukan menggunakan syarat adanya batuan keras (*hard rock*).

Mikrozonasi mikrotremor adalah proses pembagian daerah berdasarkan parameter tertentu yang diperhatikan karakteristiknya, yaitu getaran tanah, periode dominan dan faktor penguatan (amplifikasi). Secara umum, mikrozonasi mikrotremor adalah proses untuk memperkirakan tingkah laku dan respon dari per lapisan tanah ataupun sedimen terhadap adanya gempa bumi. Klasifikasi tanah permukaan merupakan salah satu faktor penting yang dapat diperhitungkan dalam pembangunan bangunan tahan gempa. Hal ini dikarenakan pada suatu daerah sangat memungkinkan untuk terjadi amplifikasi atau pembesaran gelombang karena jenis medium yang dilewati oleh gelombang. Karena secara teoritis, daerah yang paling banyak mengalami kerusakan akibat gempa bumi adalah daerah yang memiliki lapisan tanah yang lunak begitupun sebaliknya. Hal ini dikarenakan terjadinya pelemahan atau atenuasi pada medium ini (Haerudin dkk., 2019).

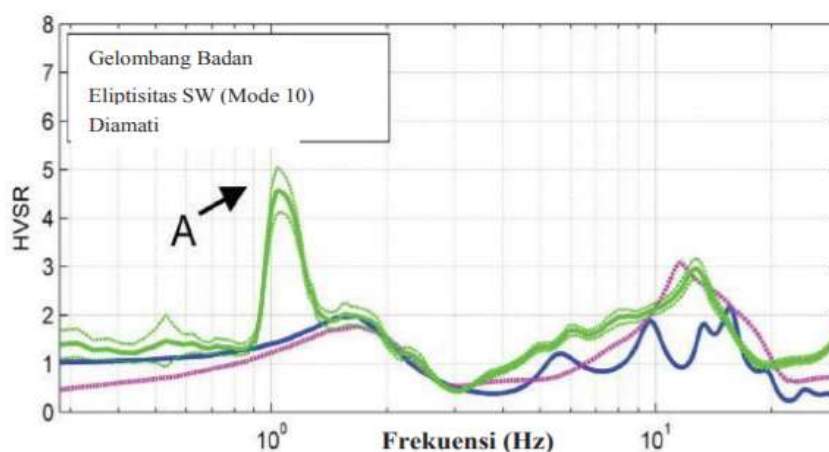
3.3. Metode *Horizontal To Vertical Spectral Ratio* (HVSR)

Metode HVSR (*Horizontal Vertical Spectral To Ratio*) merupakan salah satu metode untuk mengetahui karakterisasi dinamika lapisan permukaan tanah, dimana metode ini efektif digunakan untuk mengetahui dinamika lapisan tanah dalam area yang luas, karena murah serta ramah lingkungan dan dapat digunakan pada wilayah permukiman. Metode ini menggunakan perbandingan antara komponen vertikal dan komponen horizontal, dimana metode HVSR ini diasumsikan rasio spektrum vertikal dan horizontal dari getaran permukaan merupakan fungsi perpindahan yang diilustrasikan pada **Gambar 8** (Ambarsari, 2017). Menurut hasil penelitian Nakamura, menunjukkan bahwa rekaman pada stasiun yang berada pada batuan

lunak, nilai rasio maksimumnya mengalami amplifikasi yaitu lebih besar dari satu sedangkan rekaman pada stasiun yang berada pada batuan keras, nilai maksimum spektrum rasio komponen horizontal terhadap komponen vertikalnya mendekati satu (Zuliyanti, 2018).

Menurut Haerudin dkk. (2019), Metode HVSR digunakan dengan beberapa asumsi yaitu:

1. Mikrotremor sebagian besar terdiri dari gelombang geser.
2. Yang diamplifikasi lapisan tanah lunak hanya komponen horisontal sedangkan komponen vertikal gelombang tidak.
3. Gelombang tersebar ke segala arah pada batuan dasar (*basement*).
4. Gelombang *Rayleigh* diasumsikan sebagai noise pada metode mikrotremor dan diusulkan metode untuk mengeliminasi efek gelombang *Rayleigh*.



Gambar 8. Perbandingan Kurva HVSR (Haerudin dkk., 2019)

Metode HVSR diimplementasikan dengan mengestimasi rasio spektrum *Fourier* komponen vertikal terhadap komponen horisontal. Frekuensi dominan merupakan frekuensi pada rasio HVSR puncak pertama, sedangkan rasio HVSR pada frekuensi dominan merupakan nilai amplifikasi geologi lokal. Kemampuan teknik HVSR untuk memberikan informasi yang dapat digunakan dan diasosiasikan dengan efek lokal yang ditampilkan secara cepat serta dapat dikorelasikan dengan parameter HVSR yang memiliki amplifikasi tinggi dan nilai frekuensi dominan rendah. Oleh karena itu, dianggap akurat dan stabil untuk memperkirakan frekuensi, redaman dan indeks kerentanan pada getaran bangunan dari eksitasi amplitudo kecil. Selain sederhana dan dapat dilakukan dimana saja dan kapan saja, teknik ini juga dapat

memperkirakan frekuensi resonansi secara langsung tanpa perlu mengetahui kondisi geologi yang ada di bawah permukaan dan struktur kecepatan gelombang sesar lebih dulu. Mikrotremor sering digunakan untuk mengidentifikasi resonansi frekuensi dominan bangunan dan struktur bawah tanah. Frekuensi dominan dan amplifikasi merupakan parameter penting yang dihasilkan dari metode mikrotremor. Mikrotremor yang terukur pada tanah bertujuan untuk karakterisasi amplifikasi yang berkaitan dengan parameter fisik bawah permukaan dan geologi setempat, dan frekuensi dominan. Pada analisis HVSR sedimen mungkin terkontaminasi respon dari bangunan, sehingga adanya kemungkinan kesalahan pada identifikasi resonansi (Haerudin dkk., 2019).

3.4. *Fast Fourier Transform (FFT)*

Pada survei mikrotremor analisis fourier merupakan sebuah metode untuk mengkomposisikan sebuah gelombang seismik menjadi beberapa gelombang harmonik sinusoidal dengan frekuensi berbeda. Jadi dalam gelombang seismik tersebut dapat menghasilkan sebuah fungsi sinusoidal penjumlahan dengan frekuensi tunggal. Tujuan dari transformasi *fourier* dalam pengukuran mikrotremor sendiri adalah untuk mengubah gelombang seismik dalam domain frekuensi (Riyanto dan Purwanto, 2009). Prinsipnya adalah sinyal yang ada didekati dengan sinyal cosinus dan sinus dimana pendekatan setiap sinyal tersebut menghasilkan amplitudo masing-masing. Pada transformasi *fourier* nilai amplitudo tersebut mewakili sebuah sinyal yang direpresentasikan berdasarkan amplitudo yang berhubungan dengan frekuensi.

3.5. Frekuensi Dominan

Pengolahan dengan menggunakan metode HVSR menghasilkan nilai frekuensi dominan dan nilai amplifikasi dengan menggunakan pengolahan *software* dengan menggunakan konsep Transformasi *Fourier*. Frekuensi dominan adalah frekuensi yang kerap kali muncul. Tahun 1949 Brad dan Lachet melakukan uji simulasi dengan menggunakan enam model struktur geologi sederhana dengan kombinasi variasi kontras ketebalan lapisan tanah dan kecepatan gelombang geser (Arifin dkk., 2014). Hasilnya menunjukkan nilai puncak frekuensi berubah terhadap variasi geologi. Kanai (1998) juga telah mengklasifikasikan jenis tanah berdasarkan

frekuensi dominan mikrotremor seperti pada tabel di bawah ini.

Tabel 2. Klasifikasi Tanah berdasarkan Nilai Frekuensi dominan Mikrotremor oleh Kanai (Arifin dkk., 2014).

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

Frekuensi dominan tanah berkebalikan dengan nilai periode dominan tanah. Nilai periode dominan merupakan waktu yang dibutuhkan untuk merambat melewati lapisan sedimen permukaan atau mengalami satu kali pemantulan terhadap bidang pantulnya (Arifin dkk., 2014).

3.6. Periode Dominan

Periode dominan (T_0) adalah salah satu parameter mikrozonasi yang mempengaruhi nilai *peak ground acceleration* (PGA). Periode dominan yang tinggi

menunjukkan lapisan sedimen lunak yang tebal dan sebaliknya periode dominan yang rendah menunjukkan lapisan sedimen lunak yang tipis. Daerah yang memiliki periode dominan tinggi umumnya memiliki kerentanan untuk mengalami kerusakan wilayah yang cukup tinggi jika terlanda gempabumi. Hal ini disebabkan periode dominan berbanding lurus, dengan nilai penguatan goncangan atau amplifikasi. Nilai periode dominan didapatkan berdasarkan persamaan (5) sebagai berikut :

$$T_0 = \frac{1}{f_0} \quad (5)$$

Notasi dalam rumus di atas adalah :

T_0 = Periode dominan (s)

f_0 = Frekuensi dominan (Hz)

Dalam hal ini Kanai, Omote, dan Nakajima juga telah mengklasifikasikan tanah berdasarkan periode dominan tanah.

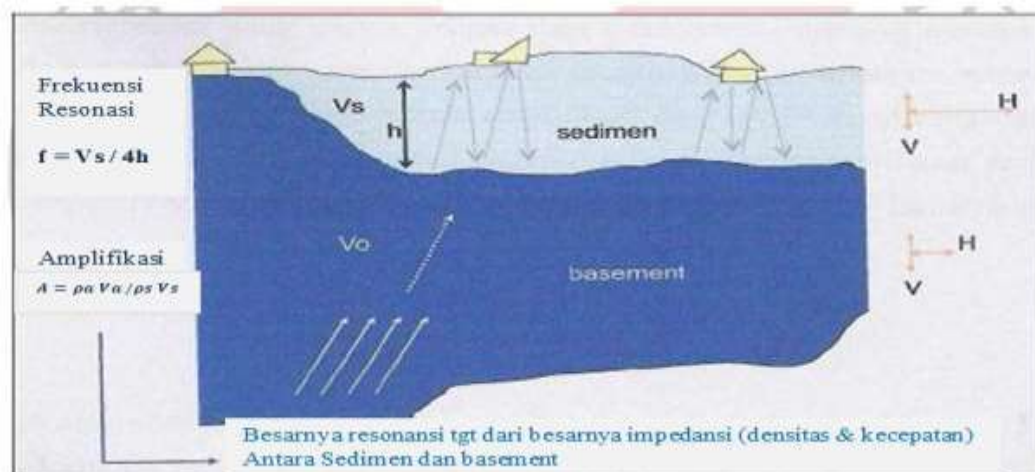
Tabel 3. Klasifikasi Tanah Kanai - Omote Nakajima (Zhao dkk., 2004)

Klasifikasi Tanah		Periode (s)	Keterangan	Karakter
Kanai	Omote Nakajima			
Jenis I	Jenis A	0,05 - 0,15	Batuan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan pasir berkerikil keras	Keras
Jenis II		0,15 - 0,25	Batuan alluvial dengan ketebalan 5m. terdiri dari pasir berkerikil (<i>sandy gravel</i>), lempung keras (<i>sandy hard clay</i>), tanah liat, lempung (<i>loam</i>)	Sedang
Jenis III	Jenis B	0,25 - 0,40	Batuan aluvial hampir sama dengan jenis II hanya, dibedakan oleh adanya formasi bluff.	Lunak

Klasifikasi Tanah		Periode (s)	Keterangan	Karakter
Kanai	Omote Nakajima			
Jenis IV	Jenis C	> 0,40	Batuan aluvial terbentuk dari sedimentasi delta, <i>topsoil</i> , lumpur, humus, endapan delta atau endapan lumpur, yang tergolong ke dalam tanah lembek dengan kedalaman 30 m atau lebih	Sangat Lunak

3.7. Faktor Amplifikasi

Amplifikasi adalah salah satu mikrozonasi dari mikrotremor dimana amplifikasi sendiri menunjukkan perbesaran gelombang seismik yang terjadi karena adanya perbedaan kontras antar lapisan dengan kata lain, gelombang seismik akan diperbesar, jika merambat dari suatu medium ke medium lain yang lebih lunak dibandingkan dengan medium yang telah dilalui sebelumnya seperti yang diilustrasikan pada **Gambar 9** Sedangkan frekuensi dominan sangat erat kaitannya dengan ketebalan sedimen. Karena nilai amplifikasi dan frekuensi dominan merupakan dua parameter penting yang diperoleh dari kurva HVSR, maka dicari hubungan antara keduanya. Apakah pada daerah dengan nilai frekuensi dominan yang rendah nilai amplifikasinya rendah juga atau sebaliknya. Konsep dasar dari amplifikasi gelombang seismik oleh adanya batuan sedimen yang berada di atas *basement* dengan perbedaan densitas dan kecepatan pada lapisan sedimen (V_s), kecepatan pada lapisan basement (V_o) yang lebih dominan. Frekuensi dominan banyak ditentukan oleh fisik dari lapisan sedimen dengan kecepatan gelombang S (V_s) dan ketebalan (h) (Haerudin dkk., 2019).



Gambar 9. Konsep Dasar Amplifikasi Gelombang Seismik (Haerudin dkk., 2019)

Nilai faktor amplifikasi dapat dikelompokkan dalam empat zona, yaitu rendah, sedang, tinggi dan sangat tinggi. Klasifikasi tersebut dipaparkan oleh Ratdomopurbo (2008) yang ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Klasifikasi Nilai Faktor Amplifikasi

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

3.8. Indeks Kerentanan Tanah

Indeks kerentanan tanah (kg) merupakan salah satu parameter mikrozonasi yang menggambarkan tingkat kerentanan tanah permukaan terhadap deformasi saat terjadi gempa bumi yang diakibatkan oleh gelombang seismik. Indeks kerentanan tanah berkaitan dengan kondisi geomorfologis. Beberapa faktor yang mempengaruhi nilai indeks kerentanan tanah adalah sedimen berusia kuartar yang memiliki tingkat soliditas rendah, sehingga sangat berpengaruh terhadap faktor amplifikasi saat terjadi gempa bumi, sedangkan pada batuan berumur tersier cenderung lebih *solid* dan stabil terhadap getaran gempa bumi sehingga tidak menimbulkan amplifikasi (Fah dkk., 2006). Indeks kerentanan tanah dapat dihitung

dengan menggunakan Persamaan (6) (Nakamura, 1997), sebagai berikut :

$$Kg = \frac{A_0^2}{F_0} \quad (6)$$

Notasi dalam rumus di atas adalah :

kg = Indeks kerentanan tanah (cm/s^2)

A_0 = Amplifikasi (kali)

f_0 = Frekuensi dominan (Hz)

Nilai indeks kerentanan tanah dapat memberikan informasi potensi tingkat guncangan akibat gempa bumi pada suatu daerah. Efek lokal yang menyebabkan kerusakan saat gempa bumi berkorelasi dengan parameter HVSR mikrotremor, yang dicirikan oleh frekuensi dominan tanah (f_0) rendah atau periode tinggi dan faktor amplifikasi tanah (A_0) tinggi. Indeks kerentanan tanah (kg) menunjukkan korelasi hubungan antara amplifikasi spektrum tanah (A_0) dengan frekuensi dominan (f_0).

3.9. Kecepatan Gelombang Geser (VS30)

Kecepatan gelombang geser (*shear wave*) adalah parameter yang penting untuk menentukan karakteristik dinamika tanah. Gelombang S diperlukan dalam analisis dan evaluasi dinamika lapisan tanah khususnya pada lapisan sedimen yang berada di atas batuan dasar. Kecepatan gelombang geser ditentukan dari perambatan gelombang seismik yang tegak lurus terhadap arah rambatan gelombangnya. Nilai kecepatan gelombang geser dapat merupakan representasi dari sifat geser struktur tanah (Sungkowo, 2016).

Nilai V_{s30} didapatkan dari situs *United State Geological Survey* (USGS) dengan memasukkan koordinat pengambilan data. Nilai kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 m dapat digunakan sebagai penentuan parameter geoteknik dalam pembangunan infrastruktur. Berikut adalah klasifikasi nilai V_{s30} berdasarkan NEHRP Tabel 4.

Tabel 4. Klasifikasi Jenis Batuan berdasarkan NEHRP (Nurrahmi dkk., 2015)

Tipe Batuan	V_{s30}	Profil Jenis Batuan
A	> 1500 m/s	<i>Hard Rock</i> (Batuan Keras)
B	760 – 1500 m/s	<i>Rock</i> (Batuan Sedang)

C	360 – 760 m/s	<i>Very Dense and Soft Rock</i> (Tanah Keras dan Batuan Lunak)
D	180 – 360 m/s	<i>Stiff Soil</i> (Tanah Sedang)
E	< 180 m/s	<i>Soft Soil</i> (Tanah Lunak)

3.10. Ketebalan Sedimen

Ketebalan lapisan sedimen menggambarkan ketebalan lapisan yang lunak atau lapuk pada lapisan permukaan tanah di atas 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 pada kedalaman 30 meter (V_{S30}), sehingga dapat dirumuskan persamaan sebagai berikut:

$$f_0 = \frac{Vs30}{4h} \quad (7)$$

Dengan sebagai ketebalan sedimen sehingga :

$$h = \frac{Vs30}{4f_0} \quad (8)$$

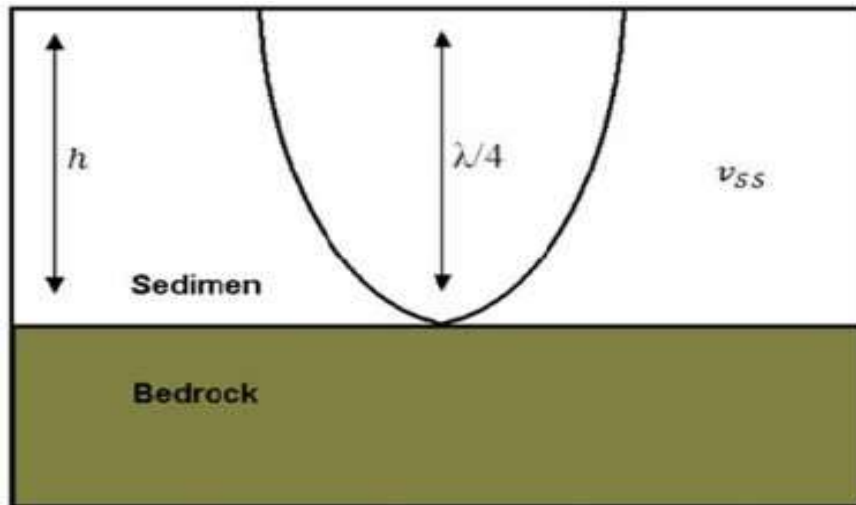
Notasi dalam rumus di atas adalah :

h = Indeks kerentanan tanah (cm/s^2)

V_{S30} = Kecepatan gelombanag geser (m/s)

f_0 = Frekuensi dominan (Hz)

Menurut (Zaharia dkk.,2008), semakin kecil nilai frekuensi dominan maka semakin tebal lapisan lapuk, sehingga kedalaman dari batuan dasar juga semakin dalam. Lapisan sedimen yang tebal menyebabkan banyaknya gelombang yang terjebak yang menimbulkan frekuensi dominan yang kecil seperti yang diilustrasikan pada **Gambar 10**. Jika frekuensi dari sebuah bangunan sama dengan frekuensi dominan dari lapisan tanah maka akan terjadi resonansi gelombang yang dapat menyebabkan penguatan gelombang seismik sehingga dapat menyebabkan kerusakan besar pada bangunan.



Gambar 10. Model dua lapisan: *bedrock* dan sedimen

3.11. Peak Ground Acceleration (PGA)

Peak Ground Acceleration (PGA) atau Percepatan getaran tanah maksimum adalah parameter mikrozonasi yang menggambarkan nilai percepatan getaran tanah terbesar yang pernah terjadi di suatu tempat yang diakibatkan oleh gelombang gempabumi. Percepatan getaran tanah maksimum yang terjadi pada suatu titik tertentu dalam suatu kawasan dihitung dari semua gempabumi yang terjadi pada kurun waktu tertentu dengan memperhatikan nilai periode dominan tanah, jarak hiposenter dan besar magnitudo dimana titik tersebut berada (Hadi, 2012).

Metode Kanai merupakan salah satu metode pendekatan empiris yang dapat digunakan untuk menghitung nilai percepatan getaran tanah maksimum. Metode ini memperhitungkan input parameter gempabumi seperti episenter, kedalaman dan magnitudo, serta periode dominan tanah sebagai input parameter hasil analisis mikrotremor. Rumus empiris untuk menghitung nilai percepatan getaran tanah maksimum menggunakan metode Kanai (1966) ditunjukkan oleh persamaan (9) (Douglas, 2011) :

$$\alpha = \frac{\alpha_1}{\sqrt{T_0}} 10^{a_2 M - p \log R + Q} \quad (9)$$

dengan

$$P = \alpha_3 + \frac{\alpha_4}{R} \quad (10)$$

dan

$$Q = \alpha_5 + \frac{\alpha_6}{R} \quad (11)$$

Notasi dalam rumus di atas adalah :

a = Percepatan tanah di titik pengukuran (gal)

T_0 = Periode dominan tanah (s)

M = Magnitudo gempabumi (skala Richter)

R = Jarak hiposenter (km)

dengan konstanta-konstanta $a_1= 5$, $a_2= 0,61$, $a_3= 1,66$, $a_4 = 3,60$,
 $a_5=0,167$, $a_6= -1,83$.

IV. METODE PENELITIAN

4.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Adapun Penelitian dilakukan di:

Tempat : Lab. Mitigasi Bencana Geologi, Jurusan Teknik Geofisika
Universitas Lampung.

Alamat : Laboratorium TG Lt. 3 - Jl. Brojonegoro No.1
Gedong Meneng, Rajabasa, Gedong Meneng, Kec. Rajabasa, Kota
Bandar Lampung, Lampung 35142.

Tanggal : 01 Juni 2022 – 30 November 2022

4.2. Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan di dalam penelitian ini di antaranya:

1. Amadu Seismometer, untuk akusisi data mikrotremor.
2. Kompas geologi, untuk menentukan arah mata angin.
3. Palu geologi, untuk pengambilan sampel batuan.
4. *Global Positioning System* (GPS), untuk mengetahui kordinat dan elevasi.
5. Kantong sampel, untuk sampel tanah/batuan.
6. Buku catatan lapangan dan alat tulis, untuk membuat catatan di lapangan.
7. Peta Geologi Regional Lembar Kotaagung yang bersumber dari Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
8. Peta Topografi, yang diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (BIG).

4.4. Prosedur Penelitian

Adapun tahapan dalam pelaksanaan penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Tahap Persiapan

Pada tahap ini dilakukan persiapan alat dan bahan, kemudian melakukan pengumpulan informasi dari studi pustaka, informasi geologi, dan studi lapangan. Studi pustaka untuk mempelajari literatur-literatur yang berhubungan dengan bahasan mengenai metode mikrotremor. Tahap informasi litologi bertujuan untuk mengetahui kondisi litologi batuan di daerah penelitian.

2. Tahap Akuisisi

Pada tahap akuisisi dilakukan pengambilan data di lokasi penelitian dengan metode mikrotremor. Adapun hal-hal yang dilakukan dalam proses akuisisi data dengan metode mikrotremor yaitu sebagai berikut:

- Mentukanlah lokasi pengukuran dan mengarahkan panah arah utara pada Amadu Seismometer LogicTM sesuai dengan arah utara geografis.
- Memasang perangkat pendukung Amadu Seismometer LogicTM seperti antena GPS, sementara itu menyambungkan kabel *power* negatif (hitam) dan positif (merah) ke sumber arus aki.
- Membuka pengunci pada ketiga sensor (Z,N,E) dengan memutar baut berlawanan arah jarum jam, yang ada di bagian atas dan samping alat ke arah kiri hingga baut tidak bisa diputar lagi.
- Melakukan *levelling* dengan memutar tiga baut yang ada di bagian bawah alat, hingga *bubble* pada indikator *levelling* berada di tengah.
- Meghubungkan kabel *power* yang sudah tersambung dengan sumber arus aki ke Amadu Seismometer LogicTM.
- Tombol *power* tidak perlu ditekan, karena tombol ini berfungsi untuk mematikan saja.
- Menunggu hingga lampu indikator berwarna biru menyala (kurang lebih selama 20 detik) yang menunjukkan alat Amadu Seismometer sudah menyala.

- Alat akan melakukan perekaman jika lampu berwarna biru sudah berkedip, yang menunjukkan bahwa GPS sudah mendapatkan sinyal.
- Hotspot Amadu (SSID = amadu2001) akan aktif dalam waktu kurang lebih 60 detik dari terhubungnya kabel power ke Amadu Seismometer.
- Membuka komputer atau *smartphone* untuk memastikan *hotspot* Amadu telah aktif.
- Jika hotspot Amadu sudah menyala, rekaman dapat ditampilkan secara *real time*.
- Jika alat sudah selesai digunakan dan akan dimatikan, tekan tombol power satu kali, lalu lampu indikator berwarna biru akan mati.
- Menunggu selama 5 detik untuk kemudian anda dapat melepas semua sambungan kabel dan melakukan penguncian sensor (Z,N,E) dengan memutar baut searah jarum jam.

Tabel 6. Persyaratan Teknis Survei Mikrotremor di Lapangan (SESAME, 2004).

Jenis Parameter	Saran yang direkomendasikan	
	f_0 minimum yang diharapkan (Hz)	Durasi perekaman minimum yang direkomendasikan (menit)
Durasi Pencatatan	0,2	30
	0,5	20
	1	10
	2	5
	5	3
	10	2
<i>Coupling soil-sensor</i> alami (insitu)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tempatkan sensor langsung pada permukaan tanah 2. Hindari menempatkan sensor seismograf pada permukaan tanah lunak (semak-semak, lumpur) atau tanah lunak setelah hujan. 	
<i>Coupling soil-sensor</i> buatan atau artifisial	<ol style="list-style-type: none"> 1. Hindari lempengan yang terbuat dari material lunak seperti busa atau karet. 2. Pada kemiringan yang curam di mana sulit mendapatkan tempat yang data untuk menempatkan sensor dengan baik, pasang sensor dalam timbunan pasir atau wadah yang diisi pasir. 	

Keberadaan bangunan atau pohon	<ol style="list-style-type: none"> 1. Hindari pengukuran dekat dengan pohon yang tinggi, gedung bertingkat, bangunan dan jika tiupan angin di atas ± 5 m/s. Kondisi ini sangat mempengaruhi hasil analisa HVSR yang ditunjukkan dengan kemunculan frekuensi rendah pada kurva. 2. Hindari pengukuran di lokasi yang dekat dengan gorong gorong, pipa air dan tempat parkir.
Kondisi Cuaca	<ol style="list-style-type: none"> 1. Angin: Lindungi sensor dari angin (lebih cepat dari 5 m/s). 2. Hujan: Hindari pengukuran pada saat hujan lebat. Hujan ringan tidak memberikan gangguan berarti. 3. Suhu: Mengecek kondisi sensor dan mengikuti instruksi pabrik.
Gangguan	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sumber monokromatik: hindari pengukuran mikrotremor dekat dengan kawasan industri, pompa air, mesin dan generator yang sedang beroperasi. 2. Sumber sementara: jika terdapat sumber getar <i>transient</i> (motor atau mobil lewat dan jejak langkah kaki) tingkatkan durasi pengukuran untuk memberikan jendela yang cukup untuk analisis setelah gangguan tersebut hilang.

3. Tahap Pengolahan dan Interpretasi

Pengolahan data mikrotremor menggunakan metode analisis *Horizontal to Vertical Spectrum Ratio* (HVSR). Hasil akuisisi didapatkan data getaran tanah fungsi waktu. Data ini tercatat dalam 3 komponen, yaitu komponen vertikal (atas-bawah), utara-selatan, dan barat-timur. Data pengukuran ini memiliki format miniseed sehingga harus diubah ke format SAC.

a. Perhitungan frekuensi dominan (f_0), faktor amplifikasi (A_0), dan periode dominan (T_0)

Proses pengolahan data mikrotremor menggunakan perangkat lunak *Geopsy* untuk memperoleh rata-rata spektrum H/V dari data rekaman yang telah disiapkan. *Software Geopsy* ini akan memberikan grafik kurva HVSR yang terdapat nilai frekuensi dominan dan nilai amplifikasi. Pengolahan data dengan *geopsy*:

- a. ubah format file hasil akuisisi dari miniseed menjadi SAC menggunakan *Geopsy*.
- b. input data SAC ke dalam *Geopsy*.

- c. *windowing* sinyal, sinyal akan dibagi menjadi beberapa kotak (*window*). Pemilahan *window* dapat dilakukan secara manual maupun otomatis. Untuk data yang cukup panjang digunakan otomatis. Pemilahan ini (*windowing*) dilakukan untuk memisahkan antara sinyal tremor dengan *event transien* (sumber spesifik seperti langkah kaki dan kendaraan lewat dan lain lainnya yang dianggap *noise*). Cara untuk mendeteksi sinyal *transien* adalah dengan membandingkan STA (*short term average*) dan LTA (*long term Average*). STA merupakan rata-rata amplitudo jangka pendek (0.5-2.0 detik), sedangkan LTA merupakan nilai rata-rata amplitudo jangka panjang (>10 detik). Pada saat perbandingan STA/LTA melebihi ambang batas yang sudah ditentukan, maka dapat dikatakan sebagai *event*. Setelah *event transien* terdeteksi maka data selain *transient* dibagi menjadi beberapa *window*.
- d. transformasi *fourier* pada masing-masing komponen untuk diperoleh spektrum *fourier* pada masing-masing *window*. Spektrum *fourier* komponen horisontal dirata-rata dengan akar kuadrat dan dibagi dengan spektrum *fourier* komponen vertikal dalam kawasan frekuensi hingga didapatkan rata-rata spektrum H/V, dari rata-rata spektrum H/V ini dapat ditentukan frekuensi dominan (f_o) serta nilai faktor amplifikasi spektrum tanah (A_o).

Kriteria untuk kurva H/V yang dapat dipercaya (*reliable*) meliputi tiga hal yang penting, yaitu:

1. $f_o > 10/l_w$
2. $n_c(f_o) > 200$
3. $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5 < f < 2(f_o)$ if $f_o > 0.5$ Hz dan $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5 < f < 2(f_o)$ if $f_o > 0.5$ Hz

Dengan f_o frekuensi pada puncak H/V, l_w panjang window dan $n_c = l_w \cdot n_w \cdot f_o \cdot \sigma_A(f)$ deviasi standar dari $A_{H/V}(f)$

Berdasarkan hubungan $T = \frac{1}{f_o}$ dari pengolahan data dengan metode HVSR maka akan didapatkan nilai periode dominan tanah (T_o) di lokasi pengukuran, karena yang terukur dari kurva adalah f_o . Dari nilai-nilai

yang terukur dari semua titik pengukuran kemudian dibuat peta frekuensi dominan (f_0) dan faktor amplifikasi (A_0) daerah penelitian.

b. Perhitungan indeks kerentanan tanah (kg)

Untuk memperoleh indeks kerentanan tanah dapat menggunakan sebuah persamaan, yaitu dengan mengkuadratkan faktor amplifikasi spektrum tanah (A_0) dibagi dengan frekuensi dominan (f_0). Sehingga dapat dirumuskan:

$$k_g = \frac{A_0^2}{f_0} \quad (12)$$

Nilai-nilai kerentanan tanah yang diperoleh kemudian dipetakan untuk mengetahui distribusi indeks kerentanan tanah di daerah penelitian.

c. Perhitungan Ketebalan Sedimen (h)

Ketebalan lapisan sedimen menggambarkan ketebalan lapisan yang lunak atau lapuk pada lapisan permukaan tanah di atas batuan dasar. Ketebalan lapisan sedimen mempengaruhi kecepatan dari penjalaran gelombang badan. Menurut Nakamura (2008) ketebalan lapisan sedimen (h) berhubungan dengan frekuensi natural (f_0) dan kecepatan gelombang S pada permukaan (V_s), sehingga dapat dirumuskan persamaan sebagai berikut:

$$h = \frac{V_s 30}{4f_0} \quad (13)$$

Nilai kecepatan gelombang S (V_s) di permukaan ditentukan berdasarkan data dari *United State Geological Survey* (USGS) dengan memasukkan koordinat pengambilan data. Menurut Nurahmi (2015) gelombang S di permukaan tanah merupakan gelombang geser yang terjadi hingga kedalaman 30 m yang dapat mendeformasikan lapisan batuan.

d. Perhitungan Percepatan Getaran Tanah Maksimum (PGA)

Percepatan getaran tanah maksimum atau *peak ground acceleration* (PGA) dianalisis dengan menggunakan metode Kanai (1966) sesuai persamaan (10) dengan input berupa nilai periode dominan tanah, episenter, kedalaman dan magnitudo. Periode dominan (T_0) di setiap titik diperoleh dari nilai frekuensi dominan (f_0) sesuai persamaan (9). Jarak episenter, kedalaman, dan magnitudo gempabumi menggunakan data kejadian gempabumi.

Nilai percepatan getaran tanah maksimum setiap titik penelitian dapat diperoleh dengan memasukkan parameter-parameter ke dalam persamaan (9). Untuk memudahkan dalam proses analisis, nilai percepatan getaran tanah maksimum setiap titik penelitian diklasifikasikan. Langkah selanjutnya yaitu membuat mikrozonasi percepatan getaran tanah maksimum menggunakan ArcGis 10.8.

Tabel 6. Klasifikasi nilai PGA berdasarkan BMKG

Kelas	PGA (gal)	Klasifikasi
I	< 2.9	Sangat Kecil
II	2.9 - 88	Kecil
III	89 - 167	Sedang
IV	168-564	Besar
V	> 564	Sangat Besar

e. Zonasi Kerawanan Tanah Longsor

Pada penelitian ini, peta zonasi kerawanan tanah longsor di Kecamatan Semaka dibuat berdasarkan 2 parameter. Analisis ini dilakukan untuk melihat adanya pengaruh gempa terhadap kelongsoran di wilayah penelitian. Parameter pertama adalah kemiringan lereng yang terdiri dari 5 kelas seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1. Parameter kedua adalah faktor geologi yaitu dengan melihat ketebalan sedimen yang terdiri dari 4 kelas. Kedua parameter tersebut digabung dengan melakukan perkalian menggunakan analisis skoring dan klasifikasi untuk menentukan zonasi rawan tanah longsor di Kecamatan Semaka. Metode skoring adalah suatu metode pemberian skor atau nilai terhadap masing-masing kelas parameter. Nilai dari hasil penjumlahan skoring tersebut kemudian akan dibagi menjadi 5 kelas tingkat kerawanan tanah longsor.

Tabel 7. Parameter Tanah Longsor Dengan Pengaruh Gempa (Arifin dkk., 2006)

No	Skoring	Klasifikasi
1	1 – 4	Sangat Rendah
2	5 – 8	Rendah
3	9 – 12	Sedang
4	13 – 16	Tinggi
5	17 – 20	Sangat Tinggi

Setelah menggabungkan ketiga parameter sehingga didapatkan hasil klasifikasi zonasi rawan tanah longsor di Kecamatan Semaka seperti pada Tabel 7, selanjutnya membuat peta zonasi rawan tanah longsor menggunakan *ArcGis 10.8*.

f. Zonasi Kerawanan Gempabumi

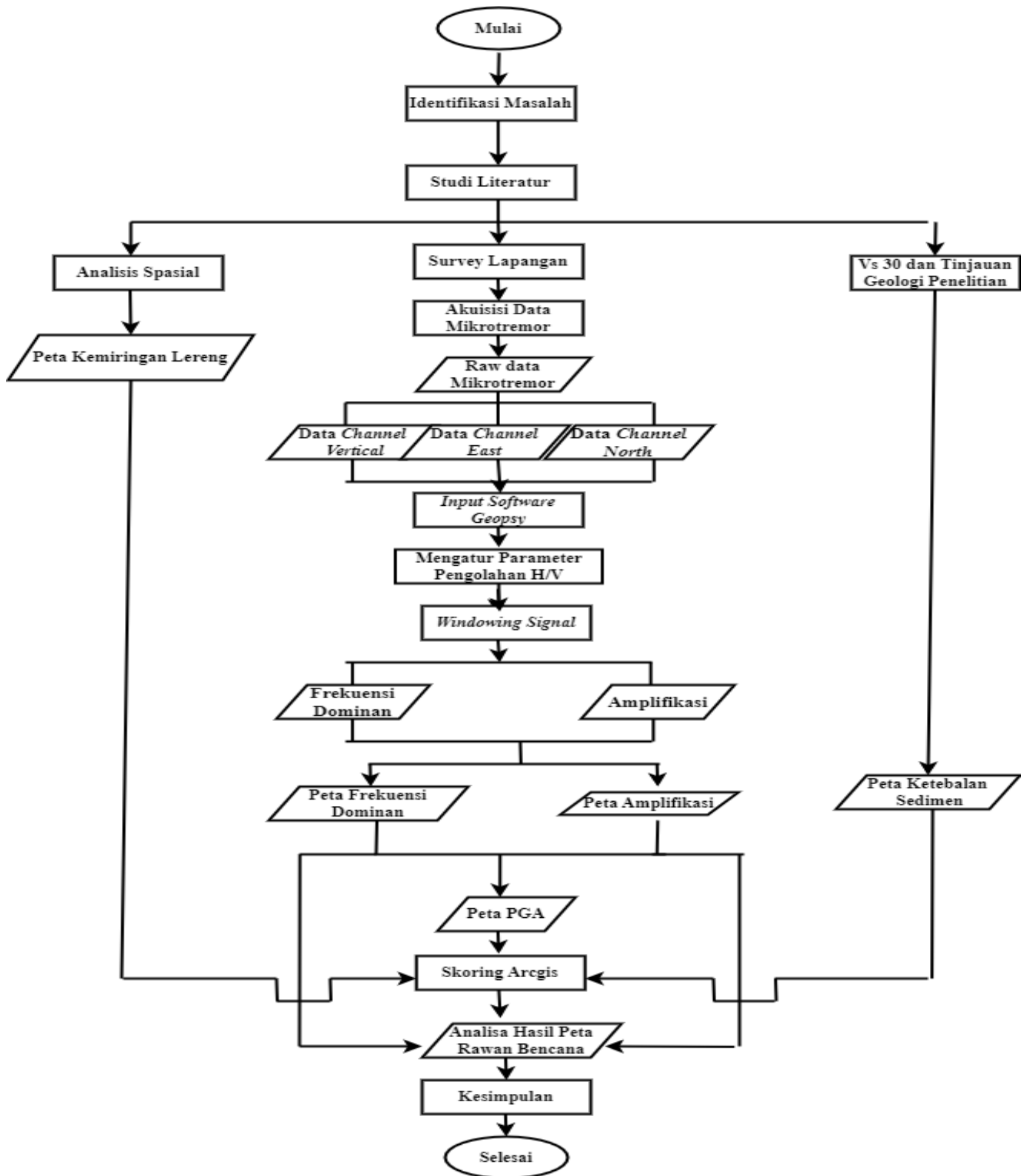
Pada penelitian ini, peta zonasi kerawanan gempabumi di Kecamatan Semaka dibuat berdasarkan 2 parameter. Analisis ini dilakukan untuk melihat adanya pengaruh gempa terhadap kelongsoran di wilayah penelitian. Parameter pertama adalah percepatan getaran tanah maksimum (PGA) yang terdiri dari 4 kelas seperti yang ditunjukkan pada Tabel 6. Parameter kedua adalah faktor amplifikasi yang terdiri dari 2 kelas. Kedua parameter tersebut digabung dengan melakukan perkalian menggunakan analisis skoring dan klasifikasi untuk menentukan zonasi rawan tanah longsor di Kecamatan Semaka. Metode skoring adalah suatu metode pemberian skor atau nilai terhadap masing-masing kelas parameter. Nilai dari hasil penjumlahan skoring tersebut kemudian akan dibagi menjadi 4 kelas tingkat kerawanan gempabumi.

Tabel 8. Parameter Kerawanan Gempabumi

No	Skoring	Klasifikasi
1	1 – 2	Rendah
2	3 – 4	Sedang
3	5 – 6	Tinggi
4	7 – 8	Sangat Tinggi

4.5. Diagram Alir Penelitian

Adapun diagram alir dari penelitian ini adalah sebagai berikut :



Gambar 11. Diagram alir penelitian.

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang berjudul “Identifikasi Daerah Rawan Longsor Berdasarkan Nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) Menggunakan Metode *Horizontal To Spectral Ratio* (HVSr) di Kecamatan Semaka Kabupaten Tanggamus”, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Berdasarkan Persebaran frekuensi dominan dan Periode Dominan di Kecamatan Semaka didominasi oleh klasifikasi tanah jenis I dan II yaitu dengan jenis tanah batuan keras dan sedang. Kesesuaian terlihat pada Pekon Sedayu dan sebagian Pekon Sukajaya memiliki nilai periode dominan yang tergolong rendah berbanding terbalik dengan nilai frekuensi dominannya yang tinggi nilai frekuensi menandakan daerah ini memiliki lapisan sedimen permukaan yang sangat tipis.
2. Kecamatan Semaka memiliki nilai faktor amplifikasi dominasi rendah dan sedang.
3. Nilai indeks kerentanan tanah di Kecamatan Semaka Kabupaten Tanggamus berada pada dominasi sedang dan endapan ketebalan sedimen yang rendah pada Pekon sedayu, margomulyo sedangkan ketebalan sedimen tebal pada Pekon Tugupapak, Kacapura dan Bangun Rejo.
4. Berdasarkan nilai kemiringan lereng dan faktor geologi ketebalan sedimen, daerah paling rentan terhadap bencana tanah longsor yaitu pada Pekon Sedayu dan sukaraja.

6.2 Saran

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

1. Pada penelitian selanjutnya disarankan untuk memperbanyak titik lokasi pengukuran dengan jarak antar titik yang lebih kecil sehingga hasil yang dihasilkan lebih akurat.
2. Dilakukan survei lanjutan dengan metode yang lebih baik untuk karakterisasi *site effect* di Kecamatan semaka seperti seismik refraksi dan deteksi bidang gelincir tanah dengan metode geolistrik.

DAFTAR PUSTAKA

- Ambarsari, D. 2017. Analisis Mikrotremor Dengan Metode Hvsr Untuk Mikrozonasi Kabupaten Gunungkidul Yogyakarta. Skripsi. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Amin, T. C., Sidarto, Santosa, S., dan Gunawan, W. 1993: *Peta Geologi Lembar Kotaagung, Sumatra*, Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Anonim. 1986. Pedoman Penyusunan Pola Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah. Direktorat Jendral Reboisasi dan Rehabilitasi Lahan. Departemen Kehutanan, Jakarta.
- Arifin, S., Carolila, I., dan Winarso, C. 2006. Implementasi Penginderaan Jauh dan SIG untuk Inventaris Daerah Rawan Bencana Longsor (Provinsi Lampung). *Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital*. 3(1), pp.77-86.
- Arifin, S.S., Marjiyono, dan Mulyanto, B.S. 2014. Penentuan Zona Rawan Guncangan Bencana Gempa Bumi Berdasarkan Analisis Nilai Amplifikasi HVSR Mikrotremor Dan Analisis Periode Dominan Daerah Liwa dan Sekitarnya. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*. 2 No. 1.
- Bard, P.Y. 2000 *Lecture Notes On Seismology, Seismic Hazard Assessment and Risk Mitigation*, International Training Course, Postdam, h.160.

- BPBD. 2021. Dokumen Kajian Resiko Bencana di Kabupaten Tanggamus, Provinsi Lampung.
- Daryono. 2011. Hubungan Antara Indeks Kerentanan Seismik dan Rasio Kerusakan Pada Satuan Bentuk Lahan di Zona Graben Bantul. Yogyakarta. *Prosiding, Seminar Nasional Kebumihan ke – 11*.
- Douglas, J. 2017. *Ground motion prediction equations 1964-2021*. United Kingdom: University of Strathclyde
- Elnashai, S.A. dan Sarno, D.L. 2008. *Fundamental of Earthquake Engineering*. Hongkong: Wiley.
- Fah, D., Kind, F., dan Giardini, D. 2001. A Theoretical investigation of Average H/V Ratios. *Geophys. J. Int.*(2001) 145, 535-549.
- FEMA 302., 1997. *NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulation for New Building and Other Structure*. Federal Emergency Management Agency. Washington, D.C.
- Hadi, I, A., Farid, M., dan Fauzi, Y. 2012. Pemetaan Percepatan Getaran Tanah dan Indeks Kerentanan Seismik Akibat Gempabumi untuk Mendukung Rencana Tata Ruang dan Wilayah (RTRW) Kota Bengkulu. Bengkulu: *Jurnal Ilmu Fisika Universitas Bengkulu*.
- Haerudin, N., Alami, F., dan Rustadi. 2019. *Mikroseismik, Mikrotremor, dan Microearthquake dalam Ilmu Kebumihan*. Bandarlampung: Pusaka Media.
- Hartati, L. 2014. Pemetaan Tingkat Risiko Gempa bumi Daerah Liwa dan Sekitarnya Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor. Tesis. Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.
- Ilyas, T. 2011. *Tanah Longsor(Landslide)*. Bahan Ajar MPKT-B.
- Kanai, K., 1966. Improved Empirical Formula for Characteristic of Stray Earthquake Motion. *Prociding Japan Earthquake Symposium*, pp.1-4.

- Kayal, J R. 2008. *Microearthquake Seismology and Seismotectonics of South Asia*. India: Capital Publishing Company.
- Koesuma, S., Pratiwi, S., dan Legowo, B. 2018. Penentuan Ketebalan Sedimen Menggunakan Metode Mikrotremor di Kota Surakarta. *Risalah Fisika*. 2(1): 25-28.
- Lowrie, W. 2007. *Fundamentals of Geophysics*. New York: Cambridge University Press.
- Muntohar, A.S. 2015. *Tanah Longsor: Analisis-Prediksi-Mitigasi*. Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Nakamura, Y. 1997. Seismic Vulnerability Indices for Ground and Structures using Microtremor. *World Congress on Railway Research*, Japan.
- Nandi. 2007. *Longsor*. Bandung: FSIPS UPI
- Nurrahmi, Efendi, R., dan Sandra. 2015. Analisis Kecepatan Gelombang Geser Vs30 Menggunakan Metode Refraksi Mikrotremor (Remi) di Kelurahan Talise. *Jurnal Gravitasi*. 14(1): 7-12.
- Prakoso, B.A. 2018. Analisis Tingkat Resiko Tanah Longsor Berdasarkan Nilai Peak Ground Acceleration (PGA) di Desa Purwosari Kecamatan Girimulyo Kabupaten Kulon Progo. Skripsi. Universitas Negeri Yogyakarta. Yogyakarta.
- Pramumijoyo., Subagyo., dan Karnawati, D. 2008. Penanganan Bencana Gerakan Tanah di Indonesia. *Makalah Penanganan Gerakan Tanah Di Indoensia*, Jurusan Teknik Geologi UGM. Yogyakarta.
- Riyanto, S., dan Purwanto, A., 2009. Alogaritma Fast Fourier Transform (FFT) Decimation inTime (DIT) Dengan Resolusi 1/10 Hertz. *Prosiding. Seminar Peneliti Pendidik Dan Penerapan MIPA*.
- Rozak, A. 2009. Analisis Keaktifan dan Resiko Gempa Bumi Pada Zona Subduksi Di Daerah Selatan Pulau Jawa Dan Sekitarnya Dengan Metode Likelihood.

Skripsi. UIN Syarif Hidayatullah. Jakarta.

Rahayu, T.S., Utami, H.A., Muharoroh, E., Nuarini, D.A., dan Rasimeng, S. 2016. Analisis Resiko Gemabumi di Daerah Bandar Lampung berdasarkan Metode Horizontal to Vertical Spectrum Ratio Mikrotremor. In: *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan Riset Kebencanaan ke-3*, Bandung: 23-24 Mei 2016.

SESAME. 2004. *Guidelines for the Implementation of the H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibratio Measurement, Processing and Interpretation*. European Commission - Reseach General Directorate.

Setiawan J.R. 2009. Mikrozonasi Seismitas Daerah Yogyakarta Dan Sekitarnya. Tesis. Institut Teknologi Bandung. Bandung.

Sugianto, N., Farid, M., dan Suryanto, W., 2016. Local Geological Condition Of Bengkulu City Based on Seismic Vulnerability Index (Kg). *ARPJ. Eng. Appl. Sci. 11*.

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

Susilawati. 2008. *Penerapan Penjalaran Gelombang Seismik Gempa pada Penelaahan Struktur Bagian dalam bumi*. Sumatera Utara: Universitas Sumatera Utara.

Syah, A., Erfani, S., dan Dani, I. 2020. Mitigasi Bencana Longsor Dengan Kombinasi Metode Kontrol Dan Perkuatan Di Kabupaten Tanggamus. *Seminar Nasional Ilmu Teknik dan Aplikasi Industri*. 3(1) : 2-6.

Telford, W. M., L. P. Geldart, dan R. E. Sheriff. 1990. *Applied Geophysics Second Edition*. London: Cambiridge University Press.

Van Bemmelen, R.W. 1949: *The Geology of Indonesia*, Volume 1A, Government Printing Office, The Hague, Netherlands.

- Wahyudin, W., Sulistiawaty,S., dan Ihsan, N. 2019. Analisis Kerentanan Bendungan Ponre-Ponre Kabupaten Bone berdasarkan Pengukuran Mikroremor dengan Metode HVSR. *Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika*. 15(2): 90-96.
- Zaharia, B., M. Rudulian., M. Popa., B. Grecu., A. Bala, dan D. Tataru. 2008. Estimation of The Local Response Using The Nakamura Methode for The Bucharest Area. *Romanian Report in Physics*, Vol.60, No.1.
- Zhao, J.X., Irikura, K., Zhang, J., dan Fukushima, Y., 2004. Site Classification For Strong-Motion Stations In Japan Using H/V Response Spectral Ratio. *13th World Conference. Earthquake*. English. Vanc. BC Can.
- Zuliyanti, R. 2018. Analisis Parameter Mikrotremor Di Kawasan Jalur Sesar Grindulu Pacitan. Skripsi. Universitas Negeri Yogyakarta. Yogyakarta.