# PEMETAAN PERSEBARAN NILAI FREKUENSI ALAMIAH DAN AMPLIFIKASI KECAMATAN RAJABASA, KEMILING DAN TELUK BETUNG BARAT KOTA BANDAR LAMPUNG MENGGUNAKAN METODE *HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RASIO* (HVSR)

(Skripsi)

Oleh

**ADIB ILHAM AMRULLAH**

**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI**
**JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA**
**FAKULTAS TEKNIK**
**UNIVERSITAS LAMPUNG**
**2020**

# ABSTRAK

## PEMETAAN PERSEBARAN NILAI FREKUENSI ALAMIAH DAN AMPLIFIKASI KECAMATAN RAJABASA, KEMILING DAN TELUK BETUNG BARAT KOTA BANDAR LAMPUNG MENGGUNAKAN METODE *HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RASIO* (HVSR)

**Oleh**

**Adib Ilham Amrullah**

Telah dilakukan penelitian pada daerah Kecamatan Rajabasa , Kemiling dan Teluk Betung Barat menggunakan Metode *Horizontal To Vertical Spectral Ratio* (HVSR) dari data Mikrotremor. Pada penelitian kali ini bertujuan untuk mengkarakterisasi tanah berdasarkan parameter frekuensi dominan ($f_0$), faktor amplifikasi ($A_0$), kecepatan gelombang $V_{S30}$ dan Indeks Kerentanan seismik (*Kg*). Berdasarkan analisis metode *HVSR* Kecamatan Rajabasa, Kemiling, dan Teluk Betung Barat memiliki nilai frekuensi dominan ($f_0$) sekitar 0,6 – 5,6 Hz, nilai $V_{S30}$ didominasi memiliki nilai berkisar antara 74,3 – 676 m/s sehingga didapatkan *site class* B (*Soft Rock*), C (*Medium Dense Soil*) dan D (*Poor Consitency*) Nilai Perbesaran amplifikasi 0,9 – 5,4 kali dan Nilai indeks kerentanan seismik (*Kg*) berkisar antara 0,14 – 49,90. Berdasarkan analisis yang telah dilakukan dengan mengkorelasikan keempat peta zonasi, didapatkan peta resiko kerentanan tanah pada daerah penelitian yang menunjukkan Kecamatan Rajabasa memiliki tingkat kerentanan tanah yang sedang dan rawan, Kecamatan Kemiling memiliki tingkat kerentanan tanah yang sebagian rawan dan tidak rawan dan terakhir untuk tingkat resiko kerentanan tanah Kecamatan Teluk Betung Barat sebagian wilayah Rawan.

Kata Kunci: *HVSR*, Frekuensi dominan, $V_{S30}$ , Amplifikasi , Indeks kerentanan seismik

## ABSTRACT

**MAPPING OF THE DISTRIBUTION OF NATURAL FREQUENCY AND AMPLIFICATION OF RAJABASA SUB-DISTRICT, KEMILING AND WEST BETUNG BAY, BANDAR LAMPUNG CITY USING HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO METHOD (HVSR)**

**By**

**Adib Ilham Amrullah**

Research has been conducted in the Districts of Rajabasa, Kemiling and Teluk Betung Barat using the Horizontal To Vertical Spectral Ratio (HVSR) Method from Microtremor data. This study aims to characterize the soil based on the dominant frequency parameters ($f_0$), amplification factor ($A_0$), $V_{S30}$ wave velocity and Seismic Vulnerability Index (Kg). Based on the analysis of the HVSR method in the Districts of Rajabasa, Kemiling, and Teluk Betung Barat having a dominant frequency value ($f_0$) of around 0.6 - 5.6 Hz, the $V_{S30}$ value is dominated by values ranging from 74.3 - 676 m / s to get a site class B (Soft Rock), C (Medium Dense Soil) and D (Poor Consitency) Amplification Enlargement Value 0.9 - 5.4 times and Seismic Vulnerability Index (Kg) range between 0.14 - 49.90. Based on the analysis that has been done by correlating the four zoning maps, a map of soil vulnerability risk in the study area shows that Rajabasa District has a medium and vulnerable level of soil vulnerability, Kemiling District has a partially vulnerable and non-hazardous level of soil vulnerability and finally the level of vulnerability risk Tanah Betung Barat Subdistrict, part of the Danger region.



**Keywords:** HVSR, Dominant frequency, $Vs_{30}$, Amplification, seismic vulnerability index

# PEMETAAN PERSEBARAN NILAI FREKUENSI ALAMIAH DAN AMPLIFIKASI KECAMATAN RAJABASA, KEMILING DAN TELUK BETUNG BARAT KOTA BANDAR LAMPUNG MENGGUNAKAN METODE *HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RASIO* (HVSR)

**Oleh**

**ADIB ILHAM AMRULLAH**

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

**Pada**

**Jurusan Teknik Geofisika**
**Fakultas Teknik**
**Universitas Lampung**

**KEMENTRIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI**
**UNIVERSITAS LAMPUNG**
**FAKULTAS TEKNIK**
**JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA**
**2020**

| | | |
|---|---|---|
| Judul Skripsi | : | **PEMETAAN PERSEBARAN NILAI FREKUENSI ALAMIAH DAN AMPLIFIKASI KECAMATAN RAJABASA, KEMILING DAN TELUK BETUNG BARAT KOTA BANDAR LAMPUNG MENGGUNAKAN METODE *HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RASIO* (HVSR)** |
| Nama Mahasiswa | : | **ADIB ILHAM AMRULLAH** |
| No. Pokok Mahasiswa | : | **1515051025** |
| Jurusan | : | **Teknik Geofisika** |
| Fakultas | : | **Teknik** |

**MENYETUJUI**

1. Komisi Pembimbing,

| | |
|---|---|
| **Ir. Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si.** | **Rustadi, S.Si., M.T.** |
| NIP 19730716 200012 1 002 | NIP 19720511 199703 1 002 |

2. Ketua Jurusan Teknik Geofisika

**Dr. Ir. Nandi Haerudin, S.Si., M.Si.**
NIP 19750911 200012 1 002

**MENGESAHKAN**

1. Tim Penguji

Ketua : **Ir. Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si.** .....

Sekretaris : **Rustadi, S.Si., M.T.** .....

Penguji
Bukan Pembimbing : **Dr. Ahmad Zaenudin, S.Si., M.T.** .....

2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung

**Prof. Drs. Suharno, M.Sc., Ph.D.**
NIP 19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **09 Januari 2020**

**SURAT PERNYATAAN**
**KEASLIAN SKRIPSI**

Yang bertanda tangan di bawah ini :

| | |
|---|---|
| Nama | : Adib Ilham Amrullah |
| NPM | : 1515051025 |
| Jurusan | : Teknik Geofisika |
| Fakultas | : Teknik |
| Perguruan Tinggi | : Universitas Lampung |

Menyatakan dengan sebenar-benarnya dan sesungguhnya, bahwa skripsi saya berjudul **"Pemetaan Persebaran Nilai Frekuensi Alamiah dan Amplifikasi Kecamatan Rajabasa, Kemiling dan Teluk Betung Barat Kota Bandar Lampung Menggunakan Metode *Horizontal To Vertical Spectral Rasio* (HVSR)"** adalah benar karya saya sendiri, baik gagasan, hasil, dan analisisnya. Selanjutnya saya juga tidak keberatan jika sebagian atau seluruh data di dalam skripsi tersebut digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi, sepanjang nama saya disebutkan dan terdapat kesepakatan sebelum dilakukan publikasi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sadar dan sebenar-benarnya untuk digunakan sebagai mestinya.

Bandar Lampung, 22 Januari 2020

METERAI TEMPEL
5A9D8AHF228896563
6000
ENAM RIBU RUPIAH

(Adib Ilham Amrullah)
NPM. 1515051025

## RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama lengkap Adib Ilham Amrullah, lahir di Bandar Lampung pada tanggal 27 April 1997 sebagai anak kedua dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Abdullah Sani, S.Sos. dan Ibu Sri Paduka. S.s.t.MM. Penulis sekarang bertempat tinggal di Jalan Nunyai Gang Kikim No. 15 Rajabasa, Bandar Lampung. Penulis mengawali pendidikan di SD Al-Kautsar pada tahun 2003. Tahun 2009 penulis melanjutkan pendidikannya pada jenjang Sekolah Menengah Pertama di SMP Muhammadiyah 3 Bandar Lampung tahun 2012 penulis melanjutkan pendidikan pada jenjang Sekolah Menengah Atas di SMA N 1 Bandar Lampung. Tahun 2015 penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Geofisika Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Selain belajar di bangku kuliah penulis juga aktif berorganisasi. Organisasi yang pernah diikuti adalah Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknik (BEMFT) sebagai anggota PSDM tahun 2016-2017. Society Exploration Geophysicist (SEG) sebagai Kepala Divisi Fieldtrip tahun 2017-2018. Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika “Bhuwana” (HIMATG BHUWANA) sebagai anggota Biro Dana Dan Usaha tahun 2016 – 2018. Selain mengikuti organisasi, penulis juga pernah menjadi asisten Praktikum Perpetaan tahun 2017.

Pada bulan Januari - Februari 2018 Penulis menyelesaikan Praktik Kerja Lapangan di PT. Indodrill Indonesia Waterwell Division yang diberi judul **Analisa Data *Well Logging* Untuk Menentukan Konstruksi Sumur Bor Pada Blok "AIA" Kecamatan Gantar, Kabupaten Garut, Jawa Barat.** Pada tanggal 23 Juli – 28 Agustus 2018, penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Mulya Jaya, Kecamatan Gunung Agung, Kabupaten Tulang Bawang Barat.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَٰنِ الرَّحِيمِ

*Kupersembahkan karya ini sebagai wujud bakti dan tanggung jawab kepada :*

*Kedua Orang Tuaku Tersayang*
*Ayahanda Tercinta Bapak Abdullah Sani, S.Sos.,*
*Dan Ibu Sri Paduka. S.s.t.MM. Yang telah memberikan kasih sayang, cinta, do'a, dan dukungan yang selalu senantiasa diberikan.*

*Kakakku Tersayang*
*Lia Atika Rani yang selalu memberikan doa serta dukungan.*

*Pembimbing Penelitianku,*
*Bapak Ir. Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.S.*
*Bapak Rustadi, S.Si., M.T.*

*Orang Terkasih, Sahabat, Kerabat, dan Teman-teman*

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

## *MOTTO*

*Success is the sum of small efforts, repeated day-in and day-out.*
*(Robert Collier)*

*The best revenge is massive success.*
*(Frank Sinatra)*

*Alhamdulillah Ala Kulli Hal*
*Kadang diberi satu ujian membuat kita banyak mengeluh,*
*tapi diberi banyak nikmat kita lupa untuk bersyukur.*
*(Ratu Istawa)*

*Maka sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan.*
*Sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan*
*(Qs. Al-insyirah : 5-6)*

# KATA PENGANTAR

Alhamdulillah puji syukur saya panjatkan kehadirat Allah SWT karena berkat dan rahmat-Nya lah akhirnya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini tepat pada waktunya. Adapun Tugas Akhir ini berjudul "Pemetaan Persebaran Nilai Frekuensi Alamiah dan Amplifikasi Kecamatan Rajabasa, Kemiling dan Teluk Betung Barat Kota Bandar Lampung Menggunakan *Metode Horizontal To Vertical Spectral Rasio* (HVSR)". Skripsi ini merupakan hasil dari penelitian Tugas Akhir Penulis di Kecamatan Rajabasa, Kemiling dan Teluk Betung Barat, Lampung sekaligus bagian dari persyaratan meraih gelar S-1 Teknik Geofisika Universitas Lampung.

Harapan penulis dengan adanya penelitian ini semoga dapat memberikan manfaat bagi pembaca serta dapat menambah khazanah ilmu dibidang pengembangan pengolahan data terutama dibidang ilmu Geofisika. Penulis menyadari masih terdapat banyak kekurangan atau bahkan kesalahan pada penulisan skripsi ini. Oleh karena itu sangat dibutuhkan kritik dan saran untuk membangun agar kedepannya penulis dapat memperbaiki kesalahan atau memberikan yang lebih baik lagi. Demikianlah kata pengantar ini, apabila ada salah kata penulis mohon maaf dan kepada Allah SWT penulis mohon ampun.

Penulis

*Adib Ilham Amrullah*

## SANWACANA

*Assalamualaikum warahmatullahi wabarokatuh*.

*Alhamdulillah* segala puji bagi Allah *subhanahu wa taala* atas rahmat dan ridho Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Shalawat senantiasa penulis haturkan kepada Nabi Muhammad SAW, semoga kita termasuk orang yang mendapatkan syafaatnya di Yaumul Qiyamah kelak. Aamiin. Sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini yang berjudul :

**PEMETAAN PERSEBARAN NILAI FREKUENSI ALAMIAH DAN AMPLIFIKASI KECAMATAN RAJABASA, KEMILING DAN TELUK BETUNG BARAT KOTA BANDAR LAMPUNG MENGGUNAKAN METODE *HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RASIO* (HVSR)**

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk mendapat gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung. Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT Tuhan Yang Maha Esa dan Rasullullah Muhammad SAW atas segala rahmat dan hidayah-Nya selama pengolahan dan penulisan menyelesaikan Tugas Akhir.

2. Bapak Prof. Drs. Suharno, B.Sc., M.S.,M.Sc., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.

3. Bapak Dr. Nandi Haerudin, S.Si., M.Si, selaku ketua Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung.

4. Bapak Syamsurizal Rasimeng, S.Si., M.Si, selaku Sekretaris Jurusan serta Pembimbing I saya di Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung.

5. Bapak Rustadi, S.Si., M.T. selaku pembimbing II di Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung.

6. Bapak Dr. Ahmad Zaenudin, S.Si., M.T, selaku penguji di Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung.

7. Bapak Dr. Ordas Dewanto, selaku dosen Pembimbing Akademik di Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung.

8. Seluruh Dosen - Dosen Teknik Geofisika Universitas Lampung yang saya hormati terimakasih untuk semua ilmu yang telah diberikan.

9. Seluruh Staf Tata Usaha Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung yang telah memberi banyak bantuan.

10. Bapak dan Ibu, terima kasih untuk doa, kasih sayang, dan dukungan yang tak pernah berhenti hingga saat ini.

11. Kakakku tersayang, Lia Atika Rani yang telah memberikan keceriaan, semangat, dan motivasi yang tidak ternilai harganya.

12. My favorite person, Tri Julianti, S.Si., yang telah mengajariku bahwa belajar adalah milik siapa pun yang ingin memperbaiki diri.

13. Penghuni Kontrakan Bumi Manti Residence (Pete Celap-Celup), Reza “Panjul”, “Embah” Heri, Renaldi “Jamet”, Nurman “Mandra, Bintang “Gabug”, Resti, Alpin “Leri”, Agam yang selalu mendukung penulis untuk terus semangat dalam menyelesaikan skripsi ini dan membuat penulis sadar bahwa kita hidup di dunia ini tidak sendirian, selalu ada orang yang bisa membuat kita tersenyum.

14. Penghuni Kontrakan Ungu Ravi “Kiwil”, Abil, Juli, Monang, Dian “Keti”, Aldo “Ambon” , Yuda Sirait “Lek”, Ferdy “Pepeng”.

15. Keluarga Teknik Geofisika 2015 “Terabas Babi” tercinta, Brother Jon Renaldi, Ambon, Huda, Gilang, Agam, Adit, Nuriana, Ali, Angga, Ariyan, Brian, Dian, Dersan, Ferdy, Fauzan, Fikri, Monang, Abil, Rozi, Juli, Ozza, Ravi, Satria, Teku, Sirait, Yogi. Sist Jon Ester, Isti, Ayu, Tata, Dana, Desy,

Dini, Dyna, Eka, Laras, Lia, Maul, Rani, Rindi, Risma, Salma, Sunar, Tiara, Nopi, Zeallin yang telah mendukung penulis untuk terus semangat dalam penyelesaian skripsi ini, sungguh kenangan yang tidak terlupakan bagi penulis atas segala kebersamaan dalam melewati segala problema kehidupan kampus dan dunia nyata baik suka maupun duka. Terima kasih telah menjadi tempat mengeluh, curhat, bersandar, touring bareng serta meminta bantuan dan semoga kalian semua keluarga TG'15 mendapat kebahagiaan dunia dan akhirat.

16. Seluruh Kakak Tingkat TG angkatan 2014, 2013, 2012, 2011, 2010, 2009, 2008, 2007 dan Adik Tingkat angkatan 2016, 2017 yang telah membantu penulis selama perkuliahan.

17. Semua pihak yang telah membantu dan mendukung penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Mohon maaf jika penulis tidak menyebutkan satu per satu.

Semoga Allah *subhanahu wa taala* membalas kebaikan yang telah diberikan kepada penulis. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, akan tetapi penulis berharap agar skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan. Aamiin.

*Wassalamualaikum warahmatullahi wabarokatuh*

Bandar Lampung, 20 Januari 2020
Penulis,

*Adib Ilham Amrullah*

## DAFTAR ISI

Halaman

**ABSTRAK** ..... i

**DAFTAR ISI** ..... iii

**DAFTAR GAMBAR** ..... v

**DAFTAR TABEL** ..... vii

**I. PENDAHULUAN**

A. Latar Belakang ..... 1
B Tujuan Penelitian ..... 3
C. Batasan Masalah ..... 3

**II. TINJAUAN PUSTAKA**

A. Lokasi Penelitian ..... 4
B. Geologi Regional ..... 5
C. Fisiografi dan Morfologi ..... 6
D. Stratigrafi ..... 7

**III. TEORI DASAR**

A. Klasifikasi Gempa Bumi ..... 10
B. Gelombang Seismik ..... 11
1. Gelombang Badan (*Body Wave*) ..... 11
2. Gelombang Permukaan (*Surface Wave*) ..... 13
C. Mikrotremor ..... 14
D. Mikrozonasi ..... 15
1. *Horizontal to Vertical Spectral Rasio (*HVSR*)* ..... 16
2. Frekuensi Dominan ..... 18
3. Periode Dominan ..... 19
4. *Fast Fourier Transform* (FFT) ..... 20
E. Amplifikasi ..... 21
F. $Vs_{30}$ (Kecepatan Gelombang Geser Hingga Kedalaman 30 m) ..... 22
G. Indeks Kerentanan Seismik ..... 25

**IV. METODOLOGI PENELITIAN**

A. Waktu dan Tempat Penelitian ..... 27

B. Alat dan Bahan ..... 28

C. Diagram Alir Penelitian ..... 29

D. Pengolahan Data Mikrotremor ..... 30

1. Konversi Data Rekaman Mikrotremor ..... 30
2. Menentukan Nilai $f_0$ dan $A_0$ ..... 30
3. Membuat Peta $f_0$, $kg$ , Amplifikasi dan $Vs_{30}$ ..... 32

**V. HASIL DAN PEMBAHASAN**

A. Hasil .....34

B. Pembahasan .....35

1. Analisis Peta Persebaran Nilai Frekuensi Dominan ($f_0$) .....35
2. Analisis Peta Persebaran Nilai Periode dominan $T_0$ ..... 36
3. Analisis Peta Persebaran Nilai Kecepatan Gelombang Geser ($Vs_{30}$) 37
4. Analisis Peta Pesebaran Nilai Amplifikasi .....39
5. Analisis Peta Sebaran Nilai Indeks Kerentanan Seismik ($K_g$) .....40
6. Analisis Resiko Kerentanan Daerah Penelitian .....41

**VI. KESIMPULAN DAN SARAN**

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

Halaman

**Gambar 1.** Peta Lokasi Daerah Penelitian ..... 4

**Gambar 2.** Peta Geologi Lokasi Daerah Penelitian ..... 6

**Gambar 3.** Peta Fisiologi dan Morfologi Lampung..... 7

**Gambar 4.** Peta Geologi Lembar Tanjung Karang ..... 8

**Gambar 5.** Gelombang P (Primer) ..... 12

**Gambar 6.** Gelombang S (Sekunder) ..... 12

**Gambar 7.** Gelombang *Love* ..... 13

**Gambar 8.** Gelombang *Rayleigh* ..... 14

**Gambar 9.** Perbedaan Sinyal tremor dan Gempa bumi..... 15

**Gambar 10.** Diagram alir penelitian..... 29

**Gambar 11.** Proses Konversi Data ..... 30

**Gambar 12.** Panjang *time window*..... 31

**Gambar 13.** Kurva *HVSR*..... 31

**Gambar 14.** Pembuatan Peta dengan Software ArcGIS 10.3 ..... 32

**Gambar 15.** Peta Persebaran Nilai Frekuensi Dominan (*f0)*..... 35

**Gambar 16.** Peta Persebaran Nilai Periode Dominan ($T_0$)..... 36

**Gambar 17.** Peta Persebaran Nilai ($Vs_{30}$) ..... 37

**Gambar 18.** Peta Persebaran Nilai Amplifikasi ..... 39

**Gambar 19.** Peta Persebaran Nilai Indeks Kerentanan Seismik ($K_g$) ... 40

**Gambar 20.** Peta persebaran resiko kerentanan Kecamatan Rajabasa, Kemiling dan Teluk Betung Barat ..... 41

## DAFTAR TABEL

Halaman

**Tabel 1.** Klasifikasi Tanah Berdasarkan Nilai Frekuensi Dominan Mikrotremor oleh Kanai ..... 19

**Tabel 2.** Klasifikasi Tanah Kanai dan Omote - Nakajima ....…..... 20

**Tabel 3.** Pembagian Zona Amplifikasi tanah ..... 22

**Tabel 4**. Klasifikasi Jenis Batuan Berdasarkan *Uniform Building Code* (UBC)... 24

**Tabel 5.** Jadwal Penelitian..... 27

# I. PENDAHULUAN

## A. Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara di dunia yang mempunyai tingkat kegempaaan yang sangat tinggi karena kepulauan Indonesia terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik utama, yaitu Lempeng Indo-Australia yang bergerak relatif ke arah utara dan menyusup ke bawah Lempeng Eurasia, dan Lempeng Pasifik yang bergerak realtif ke arah barat (Irsyam, dkk, 2010). Konsekuensinya tumbukan lempeng tersebut mengakibatkan negara Indonesia rawan bencana geologi, salah satunya yaitu bencana gempa bumi.

Bandar Lampung adalah salah satu kota yang sekaligus menjadi ibukota Provinsi Lampung. Secara geografis Kota Bandar Lampung menjadi gerbang utama Pulau Sumatera mempunyai luas wilayah daratan sebesar 169,21 $km^2$ yang terbagi dalam 20 kecamatan dan 126 kelurahan. Menurut BPS (Badan Pusat Statistik) 2017, Bandar Lampung memiliki jumlah penduduk sekitar 997.728 penduduk, yang dimana diantaranya pada Kecamatan Rajabasa memiliki 48.027 penduduk dengan luas wilayah 13,53 $km^2$, Kecamatan Kemiling 65.637 penduduk dengan luas wilayah 24,24 $km^2$ dan Kecamatan Teluk Betung Barat 29.799 Penduduk dan dengan luas wilayah 11,02 $km^2$ sehingga menjadikan pada ke tiga kecamatan tersebut memiliki tingkat kepadatan penduduk yang tinggi. Gempa bumi tidak

dapat diperkirakan kapan dapat terjadi, namun mitigasi berupaya meminimalkan dampak yang ditimbulkan oleh gempa bumi. Untuk upaya tersebut dapat dilakukan salah satu upaya mitigasi bencana gempa bumi yaitu memetakan karakterisik tanah. Metode yang dapat digunakan mengetahui karateristik tanah adalah menggunakan mikrotremor yang selanjutnya diolah dengan metode *(HVSR*).

Metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR*) didasarkan pada analisis Mikrotremor, metode ini merupakan salah satu cara untuk membandingkan spektrum komponen horizontal terhadap komponen vertikal dari gelombang mikrotremor, yang hasilnya memberi informasi nilai frekuensi dominan ($f_0$) dan nilai puncak amplitudo ($A_0$), yang mempresentasikan karakteristik dinamis lapisan sedimen.

Beberapa penelitian mengenai metode *HVSR* untuk mitigasi kebencanaan telah dilakukan oleh Warnana dkk., (2011), Haerudin N dkk., (2019), Kurniawan R dkk., (2017), Mufida A (2013), Matsuoka dan Wakamatsu (2007) dan lain lain. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam menentukan kebijakan pengembangan Kota Bandar Lampung baik oleh pemerintah daerah maupun masyarakat luas karena sampai saat ini di wilayah Kota Bandar Lampung belum ada peta zona bencana gempa bumi berdasarkan nilai amplifikasi tanah. Peta tersebut akan bermanfaat dalam bidang keteknikan dalam mendesain pembangunan infrastruktur berupa bangunan, jalan dan jembatan dengan memperhatikan nilai amplifikasi, sebagai langkah mitigasi terhadap bencana gempa bumi.

## B. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian yang telah dilakukan ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis persebaran nilai frekuensi, periode dominan, dan amplifikasi berdasarkan data mikrotremor di kecamatan Rajabasa, Kemiling dan Teluk Betung Barat.
2. Memetakan nilai resiko kerentanan tanah kecamatan Rajabasa, Kemiling dan Teluk Betung Barat.

## C. Batasan Masalah

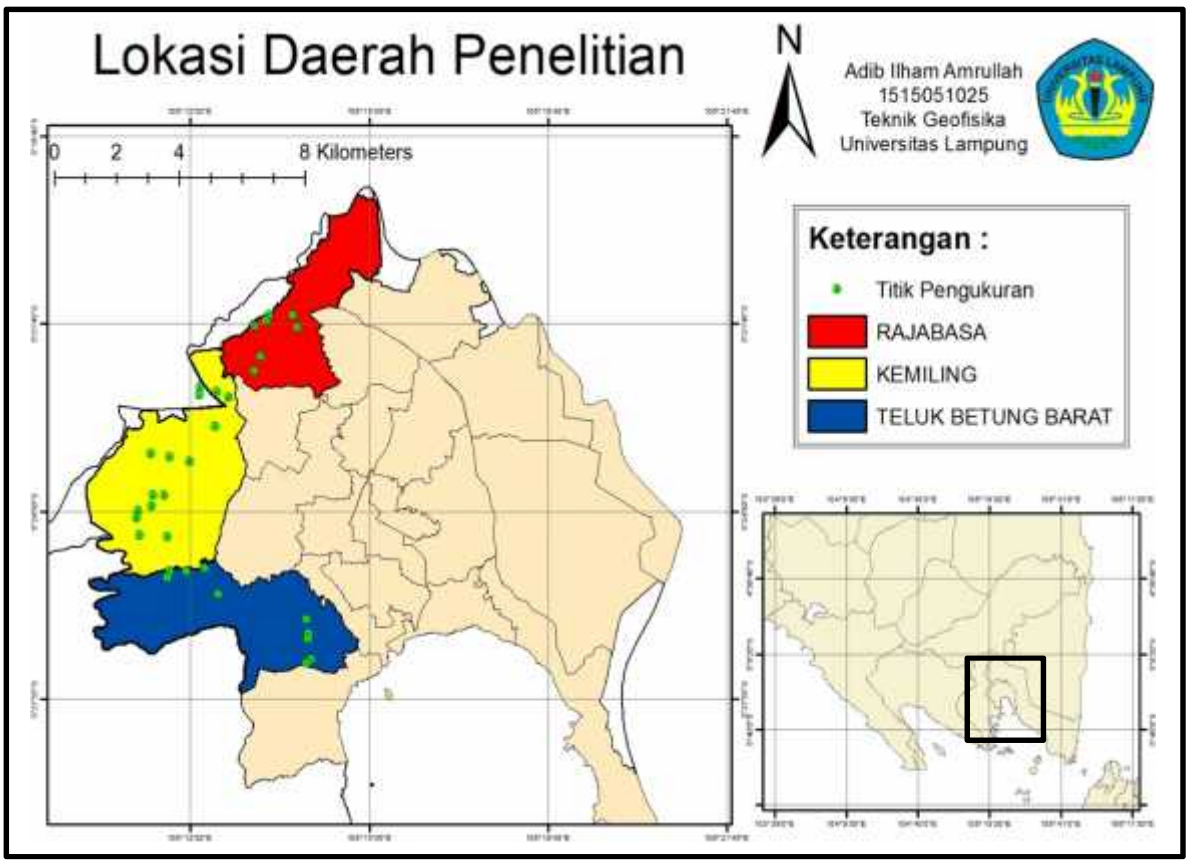
Batasan masalah penelitian yang telah dilakukan ini adalah sebagai berikut:

1. Pengukuran mikrotremor menggunakan alat REF TEK 130-SMHR 24-bit *Strong Motion Accelograph.*
2. Karakterisasi frekuensi dan periode dominan melalui metode *HVSR* dengan data random meliputi wilayah Kecamatan Rajabasa, Kemiling dan Teluk Betung Barat.

# II. TINJAUAN PUSTAKA

## A. Lokasi Daerah Penelitian

Daerah penelitian ini berada di wilayah administrasi Kota Bandar Lampung, Provinsi Lampung pada Kecamatan Rajabasa, Kemiling , dan Teluk Betung Barat. Secara Geografis berada pada koordinat 5°22’20,81”S dan 105°14’13,32”T sampai dengan 5°26’30,83”S dan 105°14’12,71”T yang dapat dilihat **Gambar 1**.

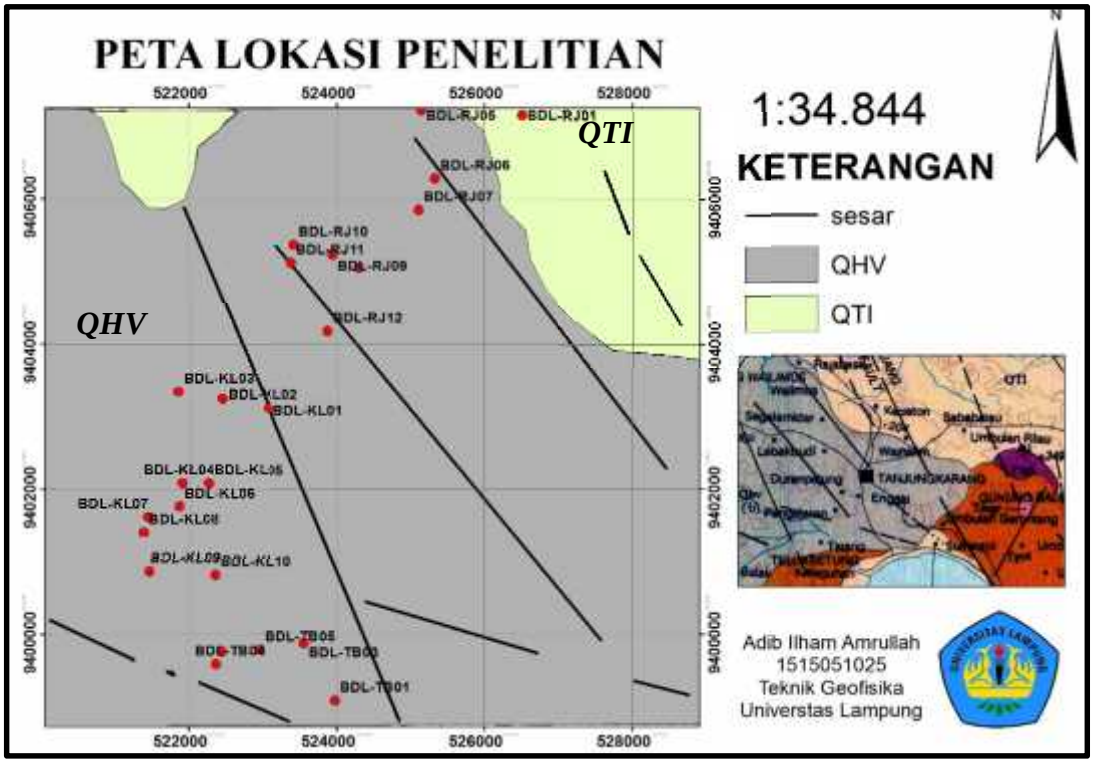



**Gambar 1.** Peta lokasi daerah penelitian.

## B. Geologi Regional

Geologi regional daerah Bandar Lampung berdasarkan Peta geologi lembar Tanjung Karang tersusun beberapa formasi terdiri dari Formasi Gunung Kasih (*Pzg*) merupakan batuan berumur Paleozoic yang menjadi batuan dasar terdiri dari batuan malihan (*metamorphic rocks*), Formasi Lampung (*QTI*) yang mendominasi hampir daerah paada lembar geologi Tanjung Karang. Batuan permukaan di wilayah Bandar Lampung bagian selatan dan utara merupakan Formasi Lampung yang tersusun oleh tuf, batu lempung tufan dan batu pasir tufa. Pada bagian barat merupakan formasi gunung api muda yang tesusun oleh lava (andesit-basal), tufa dan breksi yang dapat dilihat pada (Mangga dkk, 1993).

Berdasarkan peta Geologi Lembar Tanjung Karang dengan daerah penelitian di Rajabasa , Kemiling dan Teluk Betung Barat. Ciri litologi yang tersingkap pada daerah penelitian terdiri dari 2 formasi batuan yaitu Formasi Gunung api muda (*QHV*) yang terdiri dari lava andesit-basalt, breksi dan tuf. dan Formasi Lampung (*QTI*) yang terdiri dari Tuf berbatu apung, tuf riotik , batu lempung tufan dan batu pasir tufan **Gambar 2.**

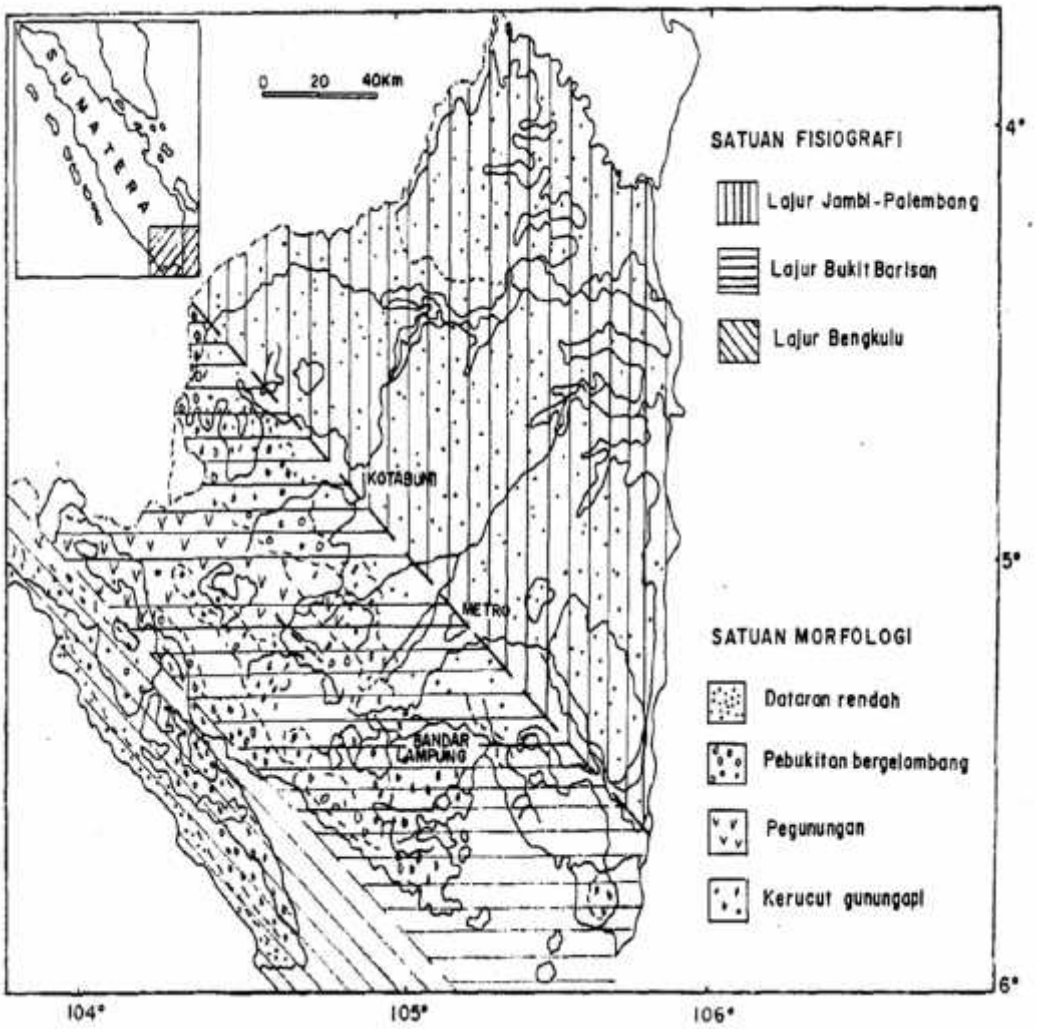



**Gambar 2.** Peta geologi lokasi daerah penelitian.

## C. Fisiografi dan Morfologi

Sumatera dapat dibagi menjadi empat tektonik yaitu Lajur Akrasi atau Lajur Mentawai, Lajur Busur-Muka atau Lajur Bengkulu. Lajur Busur Magma atau Lajur Bengkulu, Lajur Busur-Belakang atau Lajur Jambi Palembang. Sedangkan Lembar geologi Tanjung Karang terletak didalam Lajur Busur Magma, di sudut Timur Laut meluas ke lajur belakang. Secara umum daerah Lampung dapat dibagi menjadi beberapa satuan morfologi yaitu pada bagian timur dan timur laut terdapat dataran bergelombang, di bagian tengah dan barat daya terdapat pegunungan kasar dan berbukit pada daerah pantai. Pada daerah dataran bergelombang dengan ketinggian beberapa puluh meter dan terdiri dari endapan vulkano klastik tersier - kuarter dan alluvium. Pegunungan Bukit Barisan menempati 25-30% luas lembar, terdiri dari batuan beku dan malihan serta batuan

gunung api muda. Lereng-lereng umumnya curam dengan ketinggian antara 500-1680 m diatas muka laut. yang dapat dilihat pada **Gambar 3.**

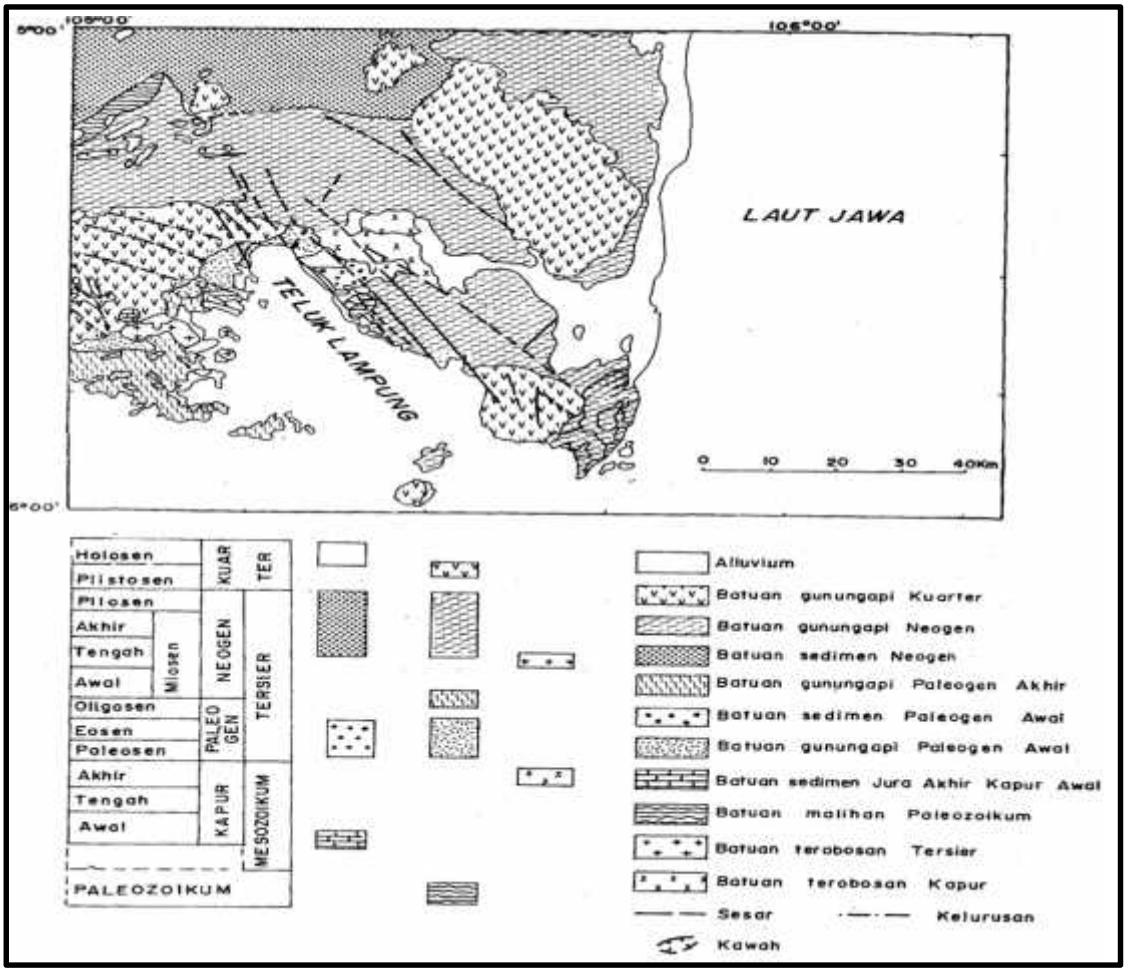



**Gambar 3.** Peta fisiologi dan morfologi Lampung (Mangga dkk,1993).

## D. Stratigrafi

Lembar Tanjung Karang terletak di sudut tenggara Sumatera Selatan, dibatasi oleh koordinat 105°00'-106°30' BT dan 5°00'-6°00' LS meliputi daratan seluas lebih kurang 7.800 km$^2$, sebelah timur dibatasi oleh laut Jawa, di sebelah selatan oleh selat Sunda, di sebelah utara oleh Lembar Menggala dan di sebelah barat oleh Lembar Kota Agung .

Pada lembar Tanjung Karang memiliki tiga urutan stratigrafi yaitu pra - tersier, tersier dan kuarter. Lembar Tanjung Karang meliputi bagian cekungan Sumatera Selatan di lajur busur-belakang dan Pegunungan Barisan di lajur busur magma yaitu Lajur Palembang dan Lajur Barisan, yang berumur antara pra-karbon sampai kuarter, seperti yang terlihat pada **Gambar 4.**




**Gambar 4.** Peta Geologi Lembar Tanjung Karang (Mangga dkk, 1993).

Pada urutan pra-tersier, batuan tertua yang tersingkap adalah runtuhan batuan malihan derajat rendah dan sedang, yang terdiri dari sekis, genes, pualam, dan sekis gampingan, kuarsa pelitik dan grafitik, pualam dan sekis gampingan, kuarsit, serisit, yang termasuk Kompleks Gunung Kasih (*Pzg*). Formasi

Menanga (*Km*) yang berumur Mesozoikum tidak mengalami pemalihan dan di penampang tipe sepanjang sesar menanga yang terletak di utara Teluk Ratai, terlihat bersentuhan tektonik dengan sekis kompleks Gunung Kasih. Formasi ini terdiri dari batu lempung - batu pasir tufan dan gampingan.

Pada urutan tersier, batuan tersier yang tersingkap di lembar Tanjung Karang terdiri dari runtunan batuan gunung api busur benua dan sedimen yang diendapkan di tepi busur gunung api, yang bersama-sama diendapkan secara luas dengan menggunakan formasi Sabu, Campang, dan Tarahan. Ketiganya berumur Paleosen sampai Oligosen awal dan ditafsirkan setara secara mendatar, walaupun umur masing-masing belum dapat dibuktikan. Formasi Sabu (*Tpos*) yang di endapkan di lingkungan fluviatil, menindih tak selaras runtunana pra-tersier dan ditindih tak selaras oleh batuan gunung api. Formasi ini terdiri dari breksi konglomeratan dan batu pasir bagian bawah. Batuan gunung api Formasi Tarahan (*Tpot*) terdiri berupa tuf dan breksi tufan dengan sedikit lava, dan sedangkan Formasi Campang (*Tpoc*) terdiri dari batu lempung, serpih, klastik gamping, tuf dan breksi.

Pada urutan kuarter terdiri dari lava plistosen, breksi, dan tuf tersusun dari andesit basal di lajur barisan, basalt Sukadana celah di lajur Palembang, endapan batu gamping dan sedimen alluvium Holosen. Satuan Gunung api Mufa (*Qhv*) tersebar di seluruh bukit barisan terdiri dari lava andesit-basal, breksi dan tuf. Basalt Sukadana (*Qbs*) terdiri dari kumpulan basal teolitik melalui celah celah disepanjang retakan arah barat laut - tenggara (Mangga, dkk., 1993)..

# III. TEORI DASAR

## A. Klasifikasi Gempa Bumi

Gempa bumi merupakan peristiwa pelepasan sejumlah energi pada batuan yang berada pada kerak bumi. Salah satu energi tersebut adalah energi gelombang seismik. Gelombang ini dipancarkan dari sumbernya dan menjalar ke segala arah, sehingga dapat dideteksi oleh sensor seismik (Gunawan, 2005).

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 yag kita kenal sebagai Gempa Bumi.

Menurut Sumber terjadinya gempa, 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 gerakan magma karena aktifitas dari gunung api.
3. Gempa Bumi longsoran atau runtuhan yaitu gempa bumi yang terjadi karena aktifitas runtuhan pada daerah pertambangan atau daerah tanah longsor.

4. Gempa Buatan adalah getaran gempa bumi yang diakibatkan oleh adanya aktifitas manusia yang menyebabkan getaran yang cukup kuat.

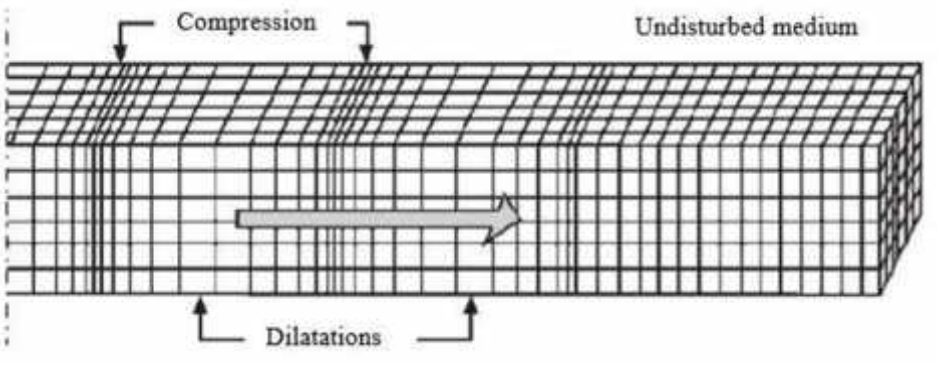
Titik di mana pusat gempa dapat dinyatakan berdasarkan dengan lintang, bujur dan kedalaman dibawah permukaan atau disebut dengan *fokus* atau *hypocenter* (Fulki, 2011).

## B. Gelombang Seismik

Gelombang seismik adalah gelombang yang merambat ke dalam bumi yang disesbabkan adanya deformasi struktur. Gelombang seismik ada yang merambat melalui interior bumi (*Body wave*) dan ada juga melalui permukaaan bumi (*surface wave*) ditimbulkan dengan dua metode yaitu metode pasif dan aktif. Metode aktif adalah metode penimbulan gelombang seismik secara aktif atau dengan disengaja yang dibuat oleh manusia sedangkan metode Pasif adalah gangguan yang mucul secara alamiah atau yang disebabkan secara alami contohnya seperti Gempa tektonik, Gempa vulkanik dan runtuhan atau longsoran. Pada dasarnya ada dua jenis gelombang yang dilepas pada saat terjadi gempa (Susilawati, 2008).

### 1. Gelombang Badan (*Body Wave*)

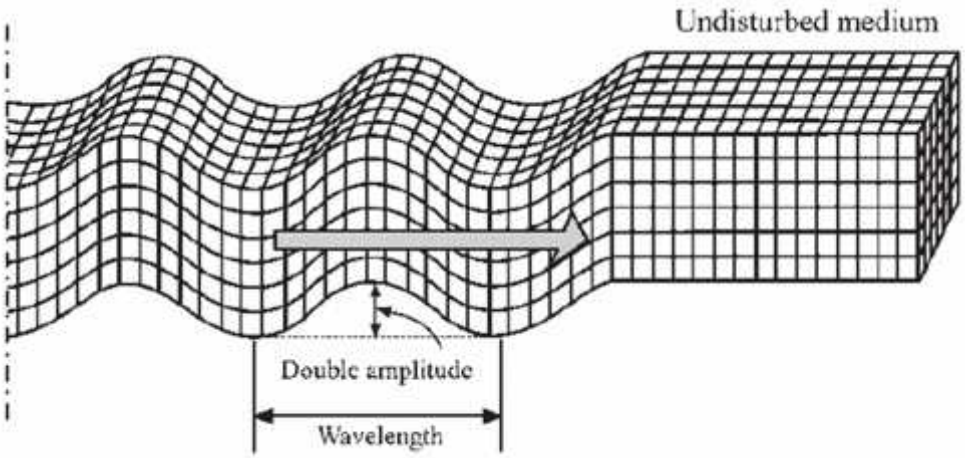
Gelombang badan atau *Body wave* merupakan gelombang yang menjalar dalam media elastik dan arah perambatanya ke seluruh bagian dalam bumi. Lalu dibedakan arah penjalarannnya menjadi gelombang P dan gelombang S. Gelombang P disebut dengan gelombang kompresi/gelombang longitudinal yang dapat dilihat pada **Gambar 5.**




**Gambar 5.** Gelombang P (Primer) (Elnashai dan Sarno, 2008).

Gelombang primer (P) ini memiliki kecepatan rambat paling besar dibandingkan gelombang seismik yang lain, dapat merambat melalui medium padat dan cair seperti lapisan batuan air atau lapisan cair bumi.

Gelombang S disebut dengan gelombang *shear* / gelombang transversal yang dapat dilihat pada **Gambar 6.**



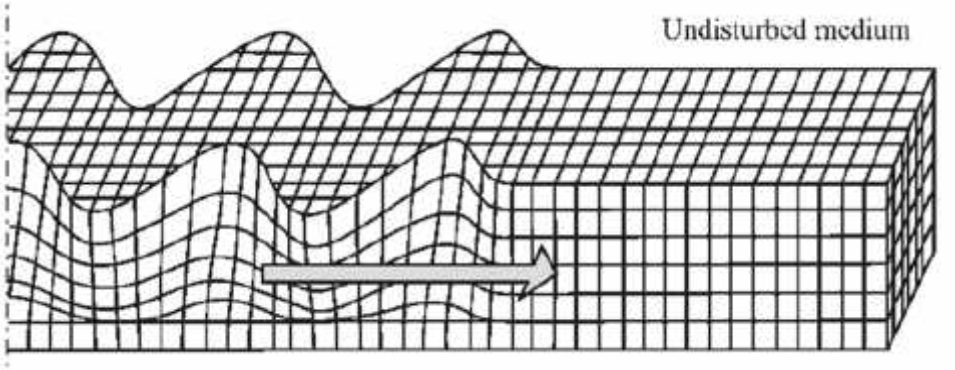

**Gambar 6.** Gelombang S (Sekunder) (Elnashai dan Sarno, 2008).

Gelombang S (sekunder) ini memiliki cepat rambat yang lebih lambat dibandingkan gelombang P dan hanya dapat merambat pada medium padat saja, Gelombang S tegak lurus terhadap arah rambatnya (Elnashai dan Sarno, 2008).

**2. Gelombang permukaan (*surface wave)***

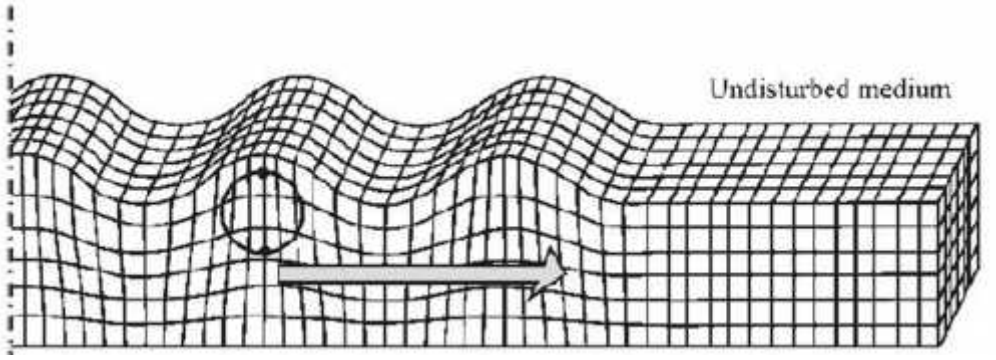
Gelombang permukaan bisa diibaratkan seperti gelombang air yang menjalar di atas permukaan bumi. Gelombang ini memiliki waktu penjalaran yang lebih lambat dibandingkan dengan gelombang badan. Berdasarkan sifat gerakan partikel media elastik, gelombang permukaaan merupakan gelombang yang kompleks dengan frekuensi rendah dan amplitudo yang besar. Hal ini diakibatkan oleh adanya suatu dispersi pada gelombang permukaan (Susilawati, 2008). Berdasarkan jenis dari gelombang permukaan ada dua yaitu Gelombang *Love* dan *Raylegh.*

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) yang dapat ditunjukkan pada **Gambar 7.**




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

Gelombang *Rayleigh* merupakan gelombang yang penjalarannya di permukaan membuat seperti berbentuk elips dan arahnya gerak mundur. Kecepatan pada gelombang Rayleigh dalam satu medium yang sama lebih kecil bila berbanding dengan kecepatan gelombang geser. Gelombang Rayleigh memiliki ciri dengan amplitudo yang besar dan frekuensi yang kecil (Telford dkk., 1976) dapat dilihat pada **Gambar 8.**



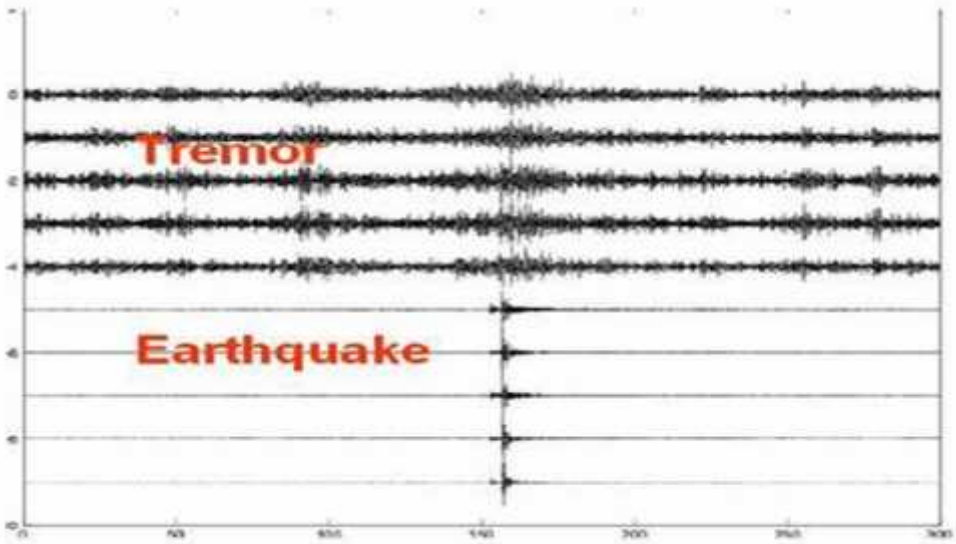

**Gambar 8.** Gelombang *Rayleigh* (Elnashai dan Sarno, 2008).

## C. Mikrotremor

Mikrotremor merupakan getaran lingkungan (*ambient vibration*) yang berasal dari dua sumber utama yaitu dari manusia dan alam, mikrotremor terjadi karaana getaran akibat orang yang sedang berjalan, getaran mobil geteran mesin pabrik atau getaran alamiah dari tanah (Kanai, 1983). Mikrotremor juga dapat diartikan sebagai getaran harmonik alami tanah yang terjadi secara terus menerus, terjebak di lapisan sedimen permukaan, terpantulkan oleh adanya bidang batas lapisan dengan frekuensi yang tetap, disebabkan oleh getaran mikro dibawah permukaan tanah dan kegiatan alam lainnya. Penelitian mikrotremor dapat digunakan untuk mengetahui karakteristik lapisan tanah berdasarkan parameter frekuensi dominanya dan daktor penguatan gelombangnya (amplifikasi).

Secara umum perekaman mikrotremor memerlukan sesimometer yang memiliki tiga komponen yang merekam komponen EW (*east-west*), NS (*north-south*), dan komponen vertikal (*up-down*). Pada perekaman mikrotremor tidak dibutuhkan adanya sumber berupa gempa bumi, namun pengukurannya langsung dilakukan karena yang direkam merupakan gelombang yang timbul dari alam. Respon lokasi pada daerah sedimen sangat berhubungan dengan ketebalan sedimen dan kecepatan gelombang geser, respon lokasi yang diperoleh dari teknik perbandingan spektra dapat digunakan untuk menentukan ketebalan sedimen (Syahruddin dkk., 2014).

Gempa bumi dan tremor dapat dibedakan dengan mudah bila dilihat pada rekaman seismograf. Getaran tremor berupa getaran yang terus menerus, tidak dapat ditentukan dimana awal getaranya secara jelas. Getaran gempa bumi berupa getaran yang besar dan secara tiba-tiba, seperti yang dapat dilihat pada **Gambar 8.**




**Gambar 9.** Perbedaan sinyal tremor dan gempa bumi (Ibrahim dan Subardjo, 2005).

## D. Mikrozonasi

Mikrozonasi mikrotremor adalah suatu proses pembagian area berdasarkan parameter tertentu, antara lain adalah getaran tanah, faktor penguapan (amplifikasi) dan periode dominan. Secara umum mikrozonasi mikrotremor dapat dikatakan sebagai proses memperkirakan respon dan tingkah laku dari lapisan tanah atau sedimen terhadap adanya gempa bumi dalam mikrozonasi mikrotremor. Terdapat beberapa analisis yang bisa digunakan untuk menentukan nilai mikrozonasi mikrotremor antara lain :

**1. *Horizontal to Vertical Spectral Rasio (*HVSR*)***

HVSR adalah metode membandingkan spektrum komponen horizontal terhadap komponen vertikal dari gelombang mikrotremor. Teknik perbandingan spektra gelombang komponen horizontal terhadap vertikal (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) dari *noise* gelombang seismik dapat digunakan untuk memperkirakan kedalaman *bedrock* secara cepat. Metode H/V berguna untuk menunjukkan frekuensi resonansi dominan ($f_0$) dan nilai puncak HVSR ($A_0$), yang mempresentasikan karakteristik dinamis lapisan sedimen.

Sumber-sumber gelombang non-alamiah di permukaan cenderung memicu gelombang *Rayleigh* yang merambat pada lapisan *soil*/sedimen lunak. Gelombang *Rayleigh* tersebut mempengaruhi baik komponen horizontal maupun vertikal dipermukaan. Faktor amplifikasi gerakan horizontal dan vertikal pada 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 dapat dilihat horizontal $T_H$ dapat dilihat pada persamaan 1.

$$T_H = \frac{S_{HS}}{S_{HB}} \quad (1)$$

Dimana :

$S_{HS}$ = Spektrum dari komponen gerak horisontal di permukaan tanah

$S_{HB}$ = Spektrum dari komponen gerak horisontal pada dasar lapisan tanah

Besarnya faktor amplifikasi vertikal $T_v$ dapat dilihat pada persamaan 2.

$$T_v = \frac{S_{VS}}{S_{VB}} \quad (2)$$

Dimana :

$S_{VS}$ = Spektrum dari komponen gerak vertikal di permukaan tanah

$S_{VB}$ = Spektrum dai komponen gerak vertikal pada dasar lapisan tanah

Data mikrotremor tersusun atas beberapa jenis gelombang, tetapi yang utama adalah gelombang *Rayleigh* yang merambat pada lapisan sedimen diatas batuan dasar. ngaruh dari gelombang *Rayleigh* 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 seperti pada persamaan 3.

$$\frac{S_{HB}}{S_{VB}} = 1 \quad (3)$$

Karena rasio spektrum antara komponen horizontal dan vertikal di batuan dasar mendekati nilai 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 berdasrkan persamaan 1, 2 dan 3 didapatkan besar $T_{site}$ seperti persamaan 4.

$$T_{site} = \frac{T_H}{T_V} = \frac{S_{HS}}{S_{VS}}$$

Sehingga diperoleh persamaan 5

$$HV = T_{site} = \frac{\sqrt{(S_{Utara-Selatan})^2}\,(S_{Barat-Timur})^2}{S_{VS}} \quad (5)$$

Persamaan 5 ini menjadi dasar perhitungan rasio spektrum mikrotremor komponen horizontal terhadap komponen vertikal atau *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR).

**2. Frekuensi Dominan**

Frekuensi Dominan adalah nilai frekuensi yang kerap muncul sehingga diakui sebagai nilai frekuensi dari lapisan batuan pada wilayah tersebut sehingga nilai frekuensi dapat menunjukkan jenis dan karakteristik batuan tersebut. Lachet dan Brad pada 1994 melakukan uji simulasi dengan menggunakan 6 model struktur geologi sederhana dengan kombinasi variasi kontras kecepatan gelombang geser dan ketebalan lapisan sedimen. Hasil simulasi menunjukkan nilai puncak frekuensi berubah terhadap variasi kondisi geologi (Lachet dan Brad, 1994).

**Tabel 1.** Klasifikasi Tanah Berdasarkan Nilai Frekuensi Dominan Mikrotremor oleh Kanai (modifikasi) (Kanai, op cit Yuliawati, 2017**).**

| **1981 (*Revised*)** | | **1950** | **Kondisi Tanah** |
|---|---|---|---|
| **Klasifikasi** | **Frekuensi Dominan ($h^z$)** | **Klasifikasi** | |
| Jenis 1 | > 5 | Jenis 1 | Batuan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan *hard sandy gravel* |
| Jenis 2 | 1,33 – 5 | Jenis 2 | Sebagian besar lapisan aluvial dengan perbandingan ketebalan lapisan *gravel* pada area yang luas. Terdiri dari *gravel*, *sandy hard clay* dan *loam* |
| | | Jenis 3 | Sebagian besar sangat didominasi oleh lapisan aluvial, Terdiri dari *sand*, *sandy clay* dan *clay* |
| Jenis 3 | < 1,33 | Jenis 4 | Tanah yang sangat lunak yang terbentuk pada rawa dan lumpur. Terutama lapisan alluvial |

**3. 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 **Tabel 2** yang berada di suatu wilayah.

**Tabel 2.** Klasifikasi Tanah Kanai dan Omote - Nakajima (Arifin dkk,2014).

| **Klasifikasi Tanah** | | **Periode (T) (sekon)** | **Keterangan** | **karakter** |
|---|---|---|---|---|
| **Kanai** | **Omote - Nakajima** | | | |
| Jenis I | Jenis A | 0,05 – 0,15 | Batuan tersier atau lebih tua. | Keras |
| Jenis II | | 0,10 – 0,25 | Batuan alluvial, dengan ketebalan 5m. Terdiri dari *sandy - gravel, sandy hard* | Sedang |
| Jenis III | Jenis B | 0,25 – 0,40 | Batuan alluvial, dengan ketebalan >5m. Terdiri dari *sandy-gravel hard clay,* | Lunak |
| Jenis IV | Jenis C | > 0,40 | Bahan alluvial, yang terbentuk dari sedimentasi delta, top soil, lumpur, dll. | Sangat Lunak |

Nilai Periode dominan didapatkan berdasarkan Persamaan 6

$$T_0 = \frac{1}{f_0} \tag{6}$$

Dimana:

$T_0$ = Periode dominan (s)

$f_0$ = Frekuensi dominan (hz)

**4. *Fast Fourier Transform* (FFT)**

Analisis *Fourier* adalah metode untuk mendekomposisi sebuah gelombang seismik menjadi beberapa gelombang harmonik sinusoidal dengan frekuensi berbeda beda. Jadi, sebuah gelombang seismik dapat dihasilkan dengan menjumlahkan beberapa gelombang sinusoidal frekuensi tunggal. Sedangkan sejumlah gelombang sinusoidal terebut dikenal dengan Deret *Fourier* (Riyanto

dkk., 2009). Transformasi *fourier* adalah metoda untuk mengubah gelombang seismik dalam domain waktu menjadi domain frekuensi. Transformasi Fourier dapat dituliskan pada Persamaan 7. (7)

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)\, e^{-j2\pi f t} \mathrm{dt}$$

Dimana :

$X(f)$ : Fungsi dalam domain frekuensi

$x(t)$ : Fungsi dalam domain waktu

$e^{-j2\pi f t}$ : Fungsi Kernel

**E. 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. Besaran amplifikasi dapat diestimasi dari kontras parameter perambatan gelombang (densitas dan kecepatan) pada *bedrock* dan sedimen permukaan. Semakin besar perbedaan parameter tersebut, semakin besar pula nilai amplifikasi perambatan gelombangnya (Gosar, 2007). Nilai amplifikasi dipengaruhi oleh variasi formasi geologi, ketebalan dan sifat-sifat fisika lapisan tanah dan batuan, seperti batuan mengalami deformasi (pelapukan, pelipatan, dan pergeseran) yang mengubah sifat fisik batuan. Pada batuan yang sama nilai amplifikasi dapat bervariasi sesuai dengan tingkat deformasi dan pelapukan pada tubuh batuan tersebut.

Gejala amplifikasi pada suatu daerah disebabkan adanya gelombang seismik yang terjebak di dalam suatu perlapisan sedimen. Besaran amplifikasi tanah dapat dihitung secara teoritis, seperti yang dilakukan oleh Wakamatsu (2006) dalam membuat Hazardzoning map untuk wilayah Jepang. Amplifikasi dapat dihitung dengan Persamaan 8 sebagai berikut:

$$Log\ Amp = 2{,}367 - 0.852 \cdot log\ (VS_{30}) \quad (8)$$

Pusat Survey Geologi dalam hal ini membagi zona amplifikasi tanah yang ditunjukkan pada **Tabel 3**

**Tabel 3.** Pembagian Zona Amplifikasi tanah (Marjiyono, 2010)

| No | Amplifikasi Tanah | Warna Dalam Pemetaaan | Keterangan Resiko |
|---|---|---|---|
| 1 | 0-3 | Biru | Rendah |
| 2 | 3-6 | Hijau | Sedang |
| 3 | 6-9 | Kuning | Tinggi |
| 4 | Lebih dari 9 | Merah | Sangat Tinggi |

**F. $Vs_{30}$ (Kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 m)**

$Vs_{30}$ adalah rata-rata kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 meter dari permukaan tanah yang telah banyak digunakan di *Ground Motion Prediction Equations* (GMPEs), meskipun sendiri tidak bisa mewakili *site effect* karena kecepatan gelombang *shear* hingga kedalaman 30 meter dari permukaan, kedalaman *bedrock* dan rasio impedansi antara lapisan tanah dan *bedrock*, semuanya berkontribusi secara signifikan terhadap *respons site* (Castellaro dkk., 2008). Ketebalan sedimen dapat diestimasi dengan rasio spektrum H/V. Metode

HVSR didasari oleh terperangkapnya getaran gelombang geser pada medium sedimen di atas *bedrock*. Besarnya frekuensi dominan pada bawah permukaan tanah dapat dinyatakan dengan Persamaan 9 (Nakamura, 2008).

$$f_0 = \frac{Vs}{4h} \tag{9}$$

Dengan $f_0$, Vs, h berturut-turut menunjukkan frekuensi dominan, kecepatan gelombang geser dan ketebalan sedimen sehingga dapat dilihat pada Persamaan 10.

$$Vs30 = f_0 . 4h \tag{10}$$

Dimana:

$VS_{30}$ = Kecepatan gelombang geser pada kedalaman 30 meter (m/s)

$f_0$ = Frekuensi dominan (hz)

h = Ketebalan (m)

Adapun klasifikasi nilai $VS_{30}$ (kecepatan gelombang geser pada kedalaman maksimum 30 m) berdasarkan *site class* $VS_{30}$ NEHRP ditunjukkan pada **Tabel 4** .

**Tabel 4.** Klasifikasi *site class* $VS_{30}$ NEHRP (modified FEMA, 2009)

| Site Class | Deskripsi | Vs (min) | Vs (max) | Keterangan |
|---|---|---|---|---|
| A | Batuan atau formasi batuan keras lainnya. | 800 | | Hard Rock (Batuan Keras) |
| B | Endapan *sand* atau *clay* yang sangat padat, *gravel*, pada ketebalan beberapa puluh meter, ditandai dengan peningkatan sifat mekanik terhadap kedalaman. | 360 | 800 | SOFT ROCK (Batuan Sedang) |
| C | Endapan sand padat atau setengah padat yang tebal, *gravel* atau *clay* padat dengan ketebalan beberapa puluhan hingga ratusan meter. | 180 | 360 | MEDIUM DENSE SOIL (Tanah Keras Menengah) |
| D | Endapan tanah kohesi rendah sampai sedang (dengan atau tanpa beberapa lapisan kohesi rendah), atau terutama pada tanah kohesi rendah. | | 180 | POOR CONSISTENCY (Tanah Lunak ) |
| E | Lapisan tanah terdiri aluvium pada permukaan dengan nilai Vs tipe C atau D dengan ketebalan bervariasi antara 5 m dan 20 meter, dibawah tanah ini berupa material keras dengan Vs >800 m/s. | | | SUBSOIL TERRAIN |
| S1 | Terdiri dari endapan, atau mengandung lapisan minimal 10 m, pada tanah lempung lunak atau lempung lanauan dengan indeks keplastisan/ kekenyalan dan kadar air yang tinggi. | | 100 | ALLUVIUM |
| S2 | Endapan tanah encer, tanah liat yang sensitif, atau tanah lain yang tidak termasuk dalam tipe A-E atau S1. | | | LIQUEFACTION |

## G. Indeks Kerentanan Seismik

Indeks kerentanan seismik merupakan indeks yang menggambarkan tingkat kerentanan lapisan tanah permukaan terhadap deformasi saat terjadi gempa bumi. Indeks kerentanan seismik berkaitan dengan kondisi geomorfologis. Beberapa faktor yang mempengaruhi indeks kerentanan seismik di antaranya adalah sedimen berusia Kuarter yang memiliki tingkat soliditas rendah sehingga sangat berpengaruh terhadap faktor amplifikasi saat terjadi gempa bumi, sedangkan pada batuan berumur Tersier cenderung lebih solid dan sangat stabil terhadap getaran gempa bumi sehingga tidak menimbulkan amplifikasi. Indeks kerentanan seismik bermanfaat untuk memprediksi zona lemah saat terjadi gempa bumi. Gempa bumi merusak terjadi bilamana batas renggang-geser terlampaui sehingga terjadi deformasi lapisan tanah permukaan (Nakamura, 2008). Indeks kerentanan seismik bersama-sama dengan percepatan batuan dasar berguna untuk menghitung nilai renggang-geser lapisan tanah permukaan (Nakamura, 2000). Indeks kerentanan seismik berdasarkan mikrotremor juga bermanfaat untuk memprediksi zona rawan likuifaksi dan rekahan tanah akibat gempa bumi (Huang dan Tseng, 2002). Indeks kerentanan seismik dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 11.

$$K_g = \frac{Ag^2}{f_0} \tag{11}$$

Dimana:

$K_g$ = Indeks kerentanan seismik

$A_g$ = Faktor Amplifikasi

$f_0$ = Frekuensi dominan

Daerah yang sering terkena kerusakan memiliki nilai indeks kerentanan seismik $(kg)$ lebih besar dari 10 $m^2s$, sedangkan untuk daerah yang minim kerusakan memiliki nilai indeks kerentanan seismik $(kg)$ kurang dari atau sama dengan 10 $m^2s$ (Nakamura, 2000). Nilai indeks kerentanan seismik dapat memberikan informasi potensi tingkat goncangan akibat gempa bumi pada suatu daerah. Indeks kerentanan siesmik $(kg)$ menunjukan korelasi hubungan antara Faktor $(A_0)$ dengan frekuensi dominan $(f_0)$. Efek lokal yang menyebab kerusakan saat gempa bumi berkorelasi dengan parameter HVSR mikrotremor, yang dicirikan oleh frekuensi dominan tanah $(f_0)$ rendah (periode tinggi) dan faktor amplifikasi tanah $(A_0)$ tinggi.

# IV. METODOLOGI PENELITIAN

## A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada Januari 2019 di Kecamatan Rajabasa, Kemiling dan Teluk Betung Barat Kota Bandar Lampung. Adapun tahap penelitian di paparkan pada **Tabel 5.**

**Tabel 5.** Jadwal penelitian

| Jadwal Penelitian | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Kegiatan | Bulan | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Januari | | | | Februari | | | | Maret | | | | April | | | | Mei | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Studi literatur | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Penyusunan Proposal Penelitian | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pengambilan Data | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Seminar Proposal Penelitian | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pengolahan data dan Analisis | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Penyusunan Laporan | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Seminar Hasil | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Kompre | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

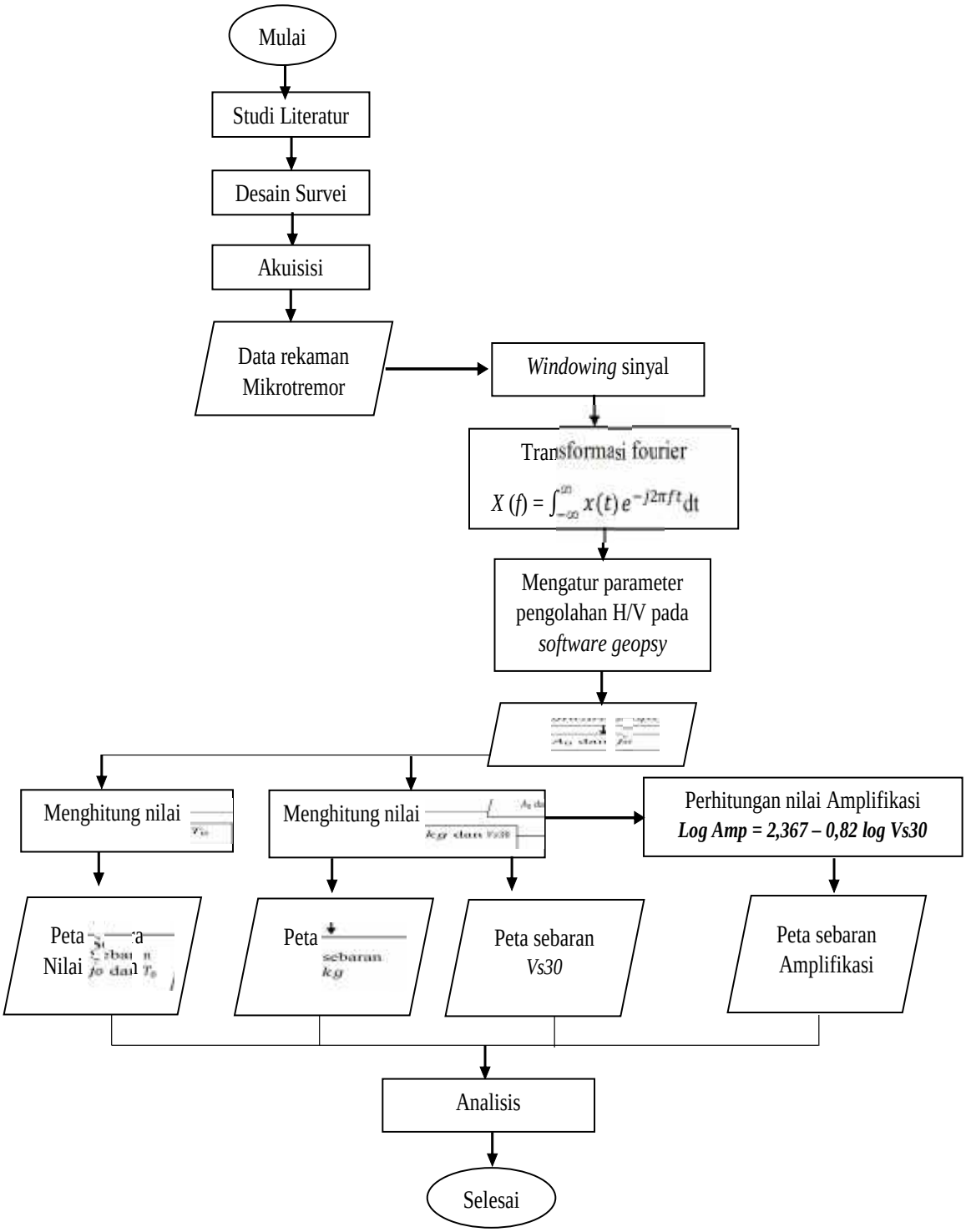
**B. Alat dan Bahan**

Data Primer :

1. Mikrotremor
   a. Reftek models 130-SMHR
   b. Aki 12 volt merk HGP
   c. GPS garmin antena
   d. Tripod
   e. Kabel Penghubung antara aki dan reftek kemudian antara GPS dan Reftek serta antara reftek dengan Laptop
   f. Garmin GPSMap 78s (1 buah)
   g. Kompas Brunton 5008 Kompas Geologi
   h. Plat besi
   i. Peta Geologi Lembar Tanjung Karang
   j. Alat tulis
   k. Payung (1 buah)
   l. Laptop
   m. Microsoft excel
   n. Microsoft word
   *o. Google Earth Pro*
   *p. Software Geopsy*
   q. Surfer 12
   r. ArcGIS 10.3

## C. Diagram Alir Penelitian

Adapun diagram alir pada penelitian diperlihatkan pada **Gambar 10.**




**Gambar 10**. Diagram alir penelitian.

## D. Pengolahan Data Mikrotremor

### 1. Konversi data rekaman mikrotremor

Data yang terekam oleh alat mikrotremor tidak dapat langsung terbaca oleh *software* pengolah data yaitu *software geopsy*. Agar dapat terbaca data perlu dikonversi ke dalam format *.sac*. Konversi data ini menggunakan program *cmd* (*windows command processor*) dengan menjalankan *script pas2sac* diperlihatkan pada **Gambar 11**.

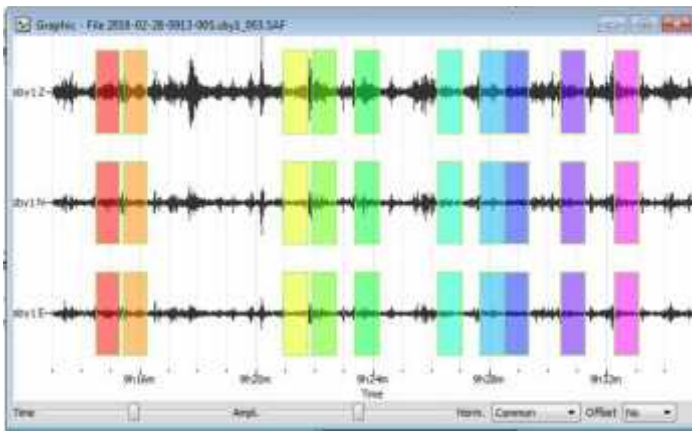
```
Switches                Description                                  Default
-------------------------------------------------------------------------------
  -Dc      include DT info in log file: Y, +, N or -                (NO)
  -Is      INI filename                                             (rtu.ini)
  -Lc      Log file output: Y, +, N or -                            (YES)
  -Nc      file Name option:                                        (Auto)
             0/A = use Station Name if present, else use Unit ID
             1/I = always use Unit ID
  -Pn      output Path levels                                       (0)
             0 = no additional subdirectories
             1 = one subdirectory level:  YYYY_DDD
             2 = two subdirectory levels: YYYY_DDD\HH
             3 = two subdirectory levels: YYYY_DDD\HH_MM
             4 = two subdirectory levels: YYYY_DDD\HH_MM_SS
  -Qc      QCC File output: Y, +, N or -                            (NO)
  -Rn      sample Rate (if not found in the data)                   (100)
  -Sn      Sample count per channel per event                       (4294967295)
  -Tn      Toss n samples from each event                           (0)
  -Vc      Verbose message output: Y, +, N or -                     (ENABLED)

Switches may appear anywhere on the command line.
Switches are NOT case sensitive.

D:\>pas2sac 034104005_00021340
```

**Gambar 11**. Proses konversi data.

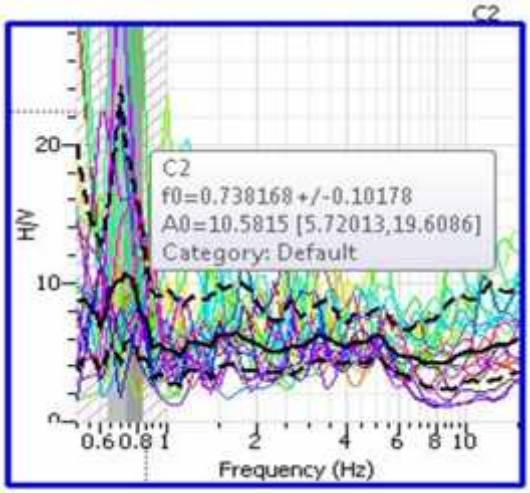
### 2. Menentukan nilai $f_0$ dan $A_0$

Data rekaman mikrotremor yang telah dikonversi dibuka pada *software geopsy*. Data ini tercatat dalam tiga komponen, yaitu komponen vertikal (*up-down*), timur-barat (*east-west*) dan utara-selatan (*north-south*). Untuk mendapatkan gelombang mikrotremor, data di *filter* dengan menggunakan jenis *filter* yaitu *band pass filter* dengan *filtering band* 0,5 - 25 Hz. Metode *filter* yang digunakan yaitu *butterworth's filter*. Selanjutnya untuk mendapatkan data yang halus digunakan *smoothing* dengan tipe *smoothing* yang umum digunakan adalah mengacu pada algoritma *Konno & Ohmachi*. Lalu konstanta *smoothing* dengan koefisien

*bandwith* digunakan adalah 40. Kemudian dilakukan *windowing* sinyal dengan memilih gelombang yang konstan, hal ini dilakukan agar nilai frekuensi yang diperoleh merupakan nilai frekuensi dominan titik perekaman bukan faktor *noise*. Lebar *window* yang digunakan adalah 10 $s$ hal ini menyesuaikan dengan keberadaan *noise* yang terekam. *Windowing sinyal* serta nilai $f_0$ dan $A_0$ tiap titik perekaman dapat dilihat pada Lampiran . Setelah itu diperoleh nilai $f_0$ dan $A_0$ diperlihatkan pada Gambar 12. Lalu menghitung nilai , amplifikasi dan $Vs_{30}$ menggunakan Persamaan 8 dan 10. Nilai $kg$ dan $Vs_{30}$ tiap titik perekaman dapat dilihat pada Lampiran .



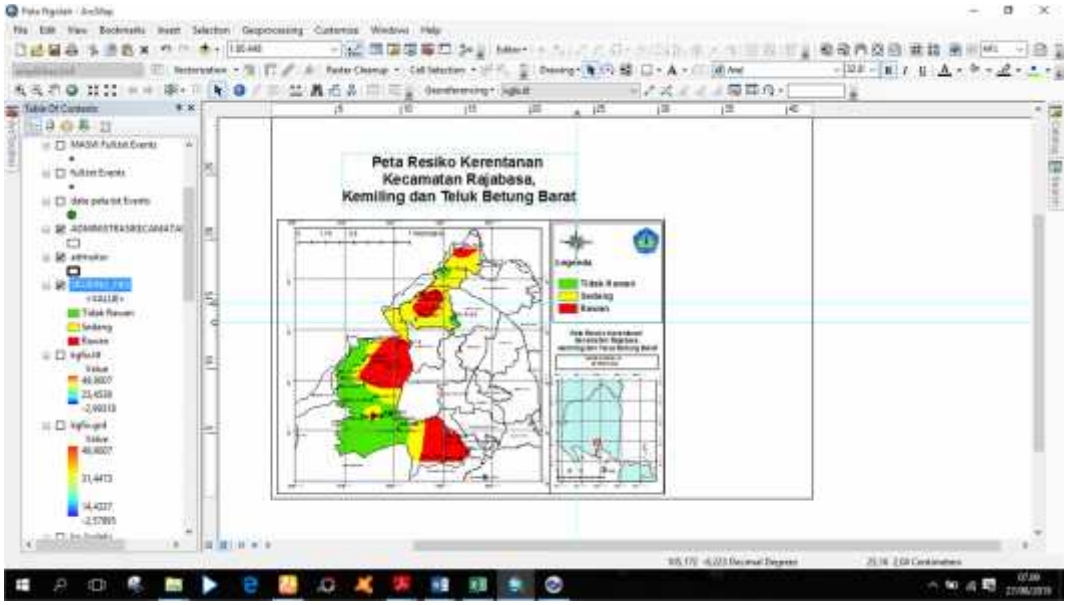
**Gambar 12.** Panjang *time window*




**Gambar 13.** Kurva *HVSR*

### 3. Membuat peta $f_0$, $kg$ , Amplifikasi dan $Vs30$

Nilai $f_0$, $kg$, Amplifikasi dan $Vs_{30}$ yang diperoleh disusun dalam *microsoft excel* dengan menggunakan koordinat. Selanjutnya nilai tersebut di *grid* menggunakan *software surfer*. Kemudian memberikan keterangan peta dari hasil *grid* yang diperoleh menggunakan *software ArcGIS* 10.3 diperlihatkan pada **Gambar 16**. Setalah itu menganalisis peta yang dihasilkan.




**Gambar 14.** Pembuatan peta dengan software ArcGIS 10.3

## E. Spesifikasi Alat Reftek 130-SMHR

REF TEK Menggabungkan Gerakan Kuat dan Produk Rekayasa Gempa Bumi Ketiga *Generasi Broadband Seismic Recorder* (REF TEK 130-01) dan canggih akselerometer kekuatan-keseimbangan *noise* rendah dengan respons frekuensi datar dari DC ke > 100 Hz. Ditempatkan di dalam *case* instrumen aluminium *anodized* dengan satu titik pemasangan dan 3 level leveling. Reftek 130-SMHR memiliki tiga saluran yang terhubung ke accelerometer triaksial internal. Ketika

memerintahkan sebagai unit enam-channel, tiga saluran tambahan dapat dihubungkan ke sensor eksternal. Dengan spesifikasi alat sebagai berikut :

| | |
|---|---|
| Ukuran: | • 9,25" tinggi x 8,0" lebar x 13,25" panjang (23,5 cm x 20,3 cm x 33,7 cm) |
| Berat: | • 10,5 lbs (4,8 kg), tanpa baterai internal |
| Input Daya Voltage | • 10 sampai 16 VDC |
| Power Baterai | • 12 VDC, disegel timbal-asam, 12 AmpHr (opsional, internal) |
| Channels: | • 3 or 6 channels |
| Input Impedance | • Matched to accelerometer |
| Input Full Scale: | • Matched to accelerometer |
| Bit Weight: | • 1.589 µV |
| Self Noise Level: | • 2 counts RMS @ 200 sps |
| Sample Rates | • 500 - 50 sps |
| Dynamic Range | • >137 dB |
| Disk (2 per unit): | • 8GB atau 16GB |

# VI. KESIMPULAN DAN SARAN

## A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Persebaran nilai frekuensi dominan daerah Kecamatan Rajabasa, Kemiling, dan Teluk Betung Barat memiliki nilai frekuensi dominan ($f_0$) sekitar

   0,6 – 5,6 Hz.
2. Nilai periode dominan daerah Kecamatan Rajabasa, Kemiling, dan Teluk Betung Barat 0,18 – 1,5 sekon.
3. Nilai $Vs_{30}$ daerah Kecamatan Rajabasa, Kemiling, dan Teluk Betung Barat 74,3 – 676 m/s sehingga didapatkan *site class* B (Batuan sedang), C (Tanah keras menengah) dan D (Tanah lunak).
4. Amplifikasi daerah penilitian memiliki nilai Amplifikasi sekitar 0,9 – 5,4 kali sehingga dibagi menjadi dua zona wilayah yaitu Rendah dan Sedang dalam pewarnaan peta Biru dan Hijau.
5. Zona rawan didominasi berada pada wilayah sebagian Teluk Betung Barat dan Kemiling , Zona Sedang didominasi wilayah kecamatan Rajabasa dan zona Tidak Rawan didominasi berada pada wiayah kecamatan Kemiling.

## B. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka pada penelitian selanjutnya disarankan sebagai berikut:

1. Diperlukan survei lanjutan dengan MASW (*Multi Chanel Surface Wave Method*) dan Seismik Refraksi agar dapat mengetahui ketebalan sedimen disetiap daerah yang rentan.
2. Diperlukan metode lain seperti data log atau hasil sampel *coring* untuk data pendukung agar dapat membantu keakuratan dalam penentuan lapisan bawah permukaan.

# DAFTAR PUSTAKA


Arifin, S.S., Mulyatno, B.S., Marjiyono, dan Setyanegara, R. Penentuan Zona Rawan Guncangan Bencana Gempa Bumi Berdasarkan Analisis Nilai Amplifikasi HVSR Mikrotremor dan Analisis Periode Dominan Daerah Liwa dan Sekitarnya. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, 2014, Vol 2(1)

Badan Pusat Staistik Kota Bandar Lampung http//bandarlampungkota.bps.go.id/,

Castellaro, S., Mulargia F., dan Rossi, P. L. *$V_{S30}$: Proxy for Seismic Amplification.* Seismol. Res. Letters, 2008, Vol.79(4) pp.540-543.

Elnashai, S.A. dan Sarno, D.L. 2008. *Fundamental of Earthquake Engineering. Wiley*. Hongkong

Fulki, A. 2011. *Skripsi Analisis Parameter Gempa, b Value dan PGA di Daerah Papua*. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah. Jakarta.

FEMA, 2009, NEHRP (National Earthquake Hazards Reduction Program) Recommended Seismic Provisions for New Buildings and Other Structures, Federal Emergency Management Agency of the U.S.

Gadallah, R.M dan Fisher, R. 2009. *Exploration Geophysics*. Springer. Berlin.

Gosar, A. (2007). *Microtremor HVSR Study for Assesing Site Effects in the Bovec Basin (NW Slovenia) Related to 1998 M w 5.6 and 2004 M w 5.2 Earthquake* ELSEIVER Engineering Gelogy 91.

Gunawan I dan Subarjo, 2005. *Pengantar Seismologi***.** Badan Meteorologi dan Geofisika: Jakarta.

Huang, H. dan Tseng, Y. Characteristics of soil liquefaction using H/V of microtremors in Yuan-Lin area, Taiwan. Terrestrial Atmospheric and Oceanic Sciences, 2002, Vol.13(3) pp.325-338

Ibrahim, G. dan Subardjo. 2005. *Pengetahuan Seismologi*. Badan Meteorologi dan Geofisika, Jakarta.

Irsyam, M., Sengara, W., Aldiamar, F., Widiyantoro, S., Triyoso, W., Hilman, D., Kertapati, E., Meilano, I., Suhardjono, Asrurifak, M., dan Ridwan, M. 2010. *Development of Seismic Hazard Maps of Indonesia for Revision of Seismic Hazard Map in SNI 93-1726-2002*. Bandung.

Kanai, K. 1983. *Seismology in Engineering*. Tokyo University. Japan.

Kurniawan, R., Eva, M.N., Marjiyono, M., Sismanto, S. Pemetaan Daerah Rawan Resiko Gempa Bumi Menggunakan Metode HVSR Di Kotamadya Denpasar Dan Sekitarnya. KURVATEK, 2017, Vol.2 (1) pp.21-30

Lachet, C., dan Brad, P. Y. *Numerical and Theoretical Investigation on The Possibilities and Limitations of Nakamura's Technique*. J. Phys. Earth, 1994, Vol.42 pp.377-397.

Mangga, S.A., Amirudin, T., Suwarti, S., Gafoer., dan Sidarto, S. 1993. *Peta Lembar Tanjungkarang, Sumatra.* Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.

Marjiyono. 2010. *Estimasi Karakteristik Dinamika Tanah Dari Data Mikrotremor Wilayah Bandung.* Thesis ITB. Bandung.

Mufida, A., Santosa, B.J., Warnana, D.D., Profilng Kecepatan Gelombang Geser (Vs) Surabaya Berdasarkan Pengolahan Data Mikrotremor. Jurnal SAINS dan Seni POMITS, 2013, Vol.2 (2)

Nakamura, Y., 2000. *Clear Indentification of Fundamental Idea of Nakamura's Technique and Its Application*. Tokyo University. Japan.

Nurahmi, Effendi. R. dan Sandra. Analisis Kecepatan Gelombang Geser Vs30 Menggunakan Metode Refraksi Mikrotremor (Remi) Di Kelurahan Talise. *Gravitasi,* 2015, Vol.14(1)

Park, C.B., Miller, R.D., and Xia, J. *Multichannel analysis of* surface waves, Geophysics, 1999, Vol. 64(3) pp. 800–808 .

Rasimeng, S., Ayu Utami H., Setianing Rahayu T., Muharoroh E., Amanda D., 2016. *Microzonation Earthquake Hazard at Bandar Lampung City with Horizontal To Vertical Spectral Ratio(HVSR).* Proceeding of seminar on disaster. The Association of Indonesian Disaster.

Riyanto, R., Prinalli E.P., dan Hendi, I. 2009. *Pengembangan Aplikasi Sistem Informasi Geografis Berbasis Desktob dan Web.* Yogyakarta : Gava Media.

Rustadi, Haerudin, N., R., Fitriawan, H., Siska, D., dan Farid, M. *Earthquake Disaster Mitigation Mapping by Modeling of Land Layer and Site effect Zone in the KOTA BARU of SOUTH LAMPUNG.* Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika Al-BiRuNi. 2019, Vol 8 (1) pp.53-67

Soemitro, R.A., Warnana, D.D., Utama, W., dan Asmaranto, R. *Assesment to the Local Site Effects during Earthquake Induced Landslide Using Microtremor Measurement* , Journal of Basic and applied Scientific Research, 2011. Vol1(5) P 412-417

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

Syahruddin, M.H., Aswad, S., Palullungan E.F., Maria, dan Syamsuddin, S. Penentuan Profil Ketebalan Sedimen Lintasan Kota Makassar dengan Mikrotremor. Universitas Hasanuddin. *Jurnal Fisika*, 2014, Vol. 4(1)

Telford, W.M., Geldart, L.P., Sherrif, R.E., dan Keys., D.A. 1976. *Applied Geophysics*. Cambridge University Pess.

Tuncel, A. Akgum, M. *Obtaining the ground seismicVulnerability Indexe using microtremor method.* ICENS . Dokuz Eylul University, 2016. pp.369-373

Wakamatsu, K., dan Matsuoka, M. 2006. *Development of the 7.5-Arc-Second Engineering Geomorphologic Classification Database and its Application to Seismic Microzoning*, Bulletin of.

Warnana, D.D., Soemitro, R.A., Utama,W . *Applicartion of Microtremor HVSR Method for Assesing Site Efect in Residual Soil Slope*. International journal of Basic & Applied Scineces IJBAS-IJENS, 2011, Vol.11 No.4

Yuliawati, W.S. 2017. Pengolahan Data Mikrotremor Berdasarkan Metode HVSR dengan Menggunakan Matlab. Skripsi. Lampung: Universitas Lampung.