

## PEMETAAN KERENTANAN SEISMİK MELALUI ANALISIS MIKROTREMOR HVSR DI WILAYAH KECAMATAN KEMILING DAN SEKITARNYA

### *SEISMIC VULNERABILITY MICROZONATION THROUGH HVSR MICROTREMOR ANALYSIS IN THE KEMILING DISTRICT AND ITS SURROUNDINGS*

Agus Ariyanto<sup>1</sup>, Alhada Farduwin<sup>2\*</sup>, Yudha Styawan<sup>3</sup>, Intan Andriani Putri<sup>4</sup>, Wahyu Eko Junian<sup>5</sup>,  
Nugroho Prasetyo<sup>6</sup>, Reza Rizki<sup>7</sup>, Rizki Wulandari<sup>8</sup>

<sup>1,2,3,4,5,6,7,8</sup>Program Studi Teknik Geofisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sumatera; Jl.  
Terusan Ryacudu, Way Huwi, Jati Agung, Lampung Selatan, Lampung

Received: 2024, January 18<sup>th</sup>

Accepted: 2024, April 25<sup>th</sup>

#### Keywords:

Amplification Factor;  
Microtremor;  
Natural Frequency;  
Shear Wave Velocity;  
Vulnerability Index.

#### Correspondent Email:

[alhada.farduwin@tg.itera.ac.id](mailto:alhada.farduwin@tg.itera.ac.id)

#### How to cite this article:

Ariyanto, A., Farduwin, A.,  
Styawan, Y., Putri, I.A., Junian,  
W.E., Prasetyo, N, Rizki, R, &  
Wulandari, R. (2024). Pemetaan  
Kerentanan Seismik Melalui  
Analisis Mikrotremor HVSR di

**Abstrak.** Wilayah Kemiling yang terletak di Kota Bandar Lampung sering kali mengalami gempa lokal dengan magnitudo kecil. Gempa ini terjadi secara berulang dan dirasakan di daerah Kemiling dan sekitarnya. Hal tersebut dapat menimbulkan kekhawatiran bagi warga dan dapat merusak bangunan. Fokus utama pada studi ini adalah untuk memahami bagaimana karakteristik tanah dan indeks kerentanan seismik di daerah tersebut. Untuk meminimalisir dampak kerusakan akibat gempa, perlu dilakukan mikrozonasi pada wilayah rawan gempa. Parameter mikrozonasi yang digunakan untuk mengetahui karakteristik tanah antara lain amplifikasi ( $A_0$ ), frekuensi *natural* ( $f_0$ ), indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ), periode dominan ( $T_0$ ), dan kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 meter ( $V_{s30}$ ). Sebanyak 65 titik pengukuran mikrotremor telah diukur di Kecamatan Kemiling dan sekitarnya meliputi kota Bandar Lampung, Kecamatan Gedong Tataan, dan Kecamatan Natar. Pada penelitian ini digunakan analisis metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR) dan didapatkan bahwa frekuensi *natural* berkisar antara 0,5-31,47 Hz, periode dominan 0,03-2,0 sekon, amplifikasi 0,76-7,67 kali penguatan, indeks kerentanan seismik 0,05-76,31, dan  $V_{s30}$  49,61-777,80 m/s. Hasil penelitian menunjukkan bahwa wilayah barat daya hingga utara Kemiling memiliki risiko kerentanan yang lebih tinggi dibandingkan wilayah lainnya dengan tipe tanah berupa tanah lunak. Oleh karena itu, diperlukan tindakan mitigasi yang tepat, termasuk pengembangan rencana mitigasi risiko, pemantauan lanjutan, dan keterlibatan aktif masyarakat dalam perencanaan darurat.

Wilayah Kecamatan Kemiling dan Sekitarnya. *JGE (Jurnal Geofisika Eksplorasi)*, 10(02), 82-99.

© 2024 JGE (Jurnal Geofisika Eksplorasi). This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC)

**Abstract.** *The Kemiling area, located in the city of Bandar Lampung, often experiences small-scale local earthquakes. These earthquakes occur repeatedly and are felt in the Kemiling area and its surroundings. This situation can cause concerns for residents and potentially damage buildings. The primary focus of this study is to understand the characteristics of the soil and seismic vulnerability index in the area. To minimize the impact of earthquake damage, microzonation is needed in earthquake-prone areas. The microzonation parameters used to identified characteristics of soil include amplification ( $A_0$ ), natural frequency ( $f_0$ ), seismic vulnerability ( $K_g$ ), dominant period ( $T_0$ ), and average shear wave velocity to a depth of 30 meters ( $V_{S30}$ ). A total of 65 microtremor measurement points were taken in the Kemiling District and surrounding areas, including the city of Bandar Lampung, Gedong Tataan District, and Natar District. In this research, the Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR) method was employed, revealing that the natural frequency ranged from 0.5 to 31.47 Hz, dominant period from 0.03 to 2.0 seconds, amplification from 0.76 to 7.67 times, seismic vulnerability index from 0.05 to 76.31, and  $V_{S30}$  from 49.61 to 777.80 m/s. The results indicate that the southwestern to northern parts of the Kemiling area have a higher vulnerability risk compared to other areas, particularly due to the presence of soft soil. Therefore, appropriate mitigation measures are necessary, including the development of risk mitigation plans, ongoing monitoring, and active community involvement in emergency planning.*

## 1. PENDAHULUAN

Kecamatan Kemiling dan sekitarnya memiliki penduduk yang sangat padat dan terletak sekitar 6 kilometer di sebelah timur laut Gunung Betung. Wilayah tersebut memiliki sistem geologi yang kompleks dengan keberadaan Patahan Menanga, Patahan Lampung Panjang dan keberadaan patahan-patahan lokal. Patahan Menanga yang terletak di kompleks Pegunungan Barisan membentang mulai dari Gunung Ratai, Gunung Pesawaran dan Gunung Betung (Mangga dkk., 1993).

Pada tahun 2006, wilayah Kemiling menjadi pusat episentrum rangkaian gempa lokal yang melanda Kota Bandar Lampung. Berdasarkan catatan sejarah, gempa yang berpusat di Kecamatan Kemiling biasanya termasuk dalam kategori gempa lokal dengan magnitudo yang rendah (Mulyatno, 2006). Gempa tersebut telah menyebabkan kerusakan bangunan akibat frekuensi gempa yang berulang dan terjadi secara berkelanjutan. Wilayah Bandar Lampung, khususnya Kemiling, Kedaton, dan Panjang, termasuk dalam kategori daerah yang memiliki risiko tinggi terhadap gempa bumi.

Rahayu dkk. (2016) melakukan analisis metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR) dan memberikan hasil bahwa nilai frekuensi natural ( $f_0$ ) kurang dari 1,5 Hz. Analisis metode HVSR untuk mikrozonasi telah digunakan di wilayah Kota Bandar Lampung dan sebagian wilayah Lampung Selatan meliputi Kecamatan Natar dan Kota Baru untuk memberikan panduan umum terkait mitigasi bencana dan perencanaan pembangunan (Haerudin, 2019).

Pada penelitian ini, mikrozonasi dengan data HVSR digunakan sebagai upaya mitigasi bencana di Kecamatan Kemiling dan sekitarnya. Peta mikrozonasi yang digunakan meliputi peta frekuensi natural ( $f_0$ ), amplifikasi ( $A_0$ ), indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ), periode natural ( $T_0$ ), dan kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 meter ( $V_{S30}$ ). Tujuan utamanya untuk memberikan informasi mengenai daerah-daerah yang memiliki risiko tinggi terhadap dampak getaran gempa bumi. Selain itu, dapat juga memberikan rekomendasi kepada masyarakat dalam pengembangan rencana mitigasi risiko, pemantauan lanjutan,

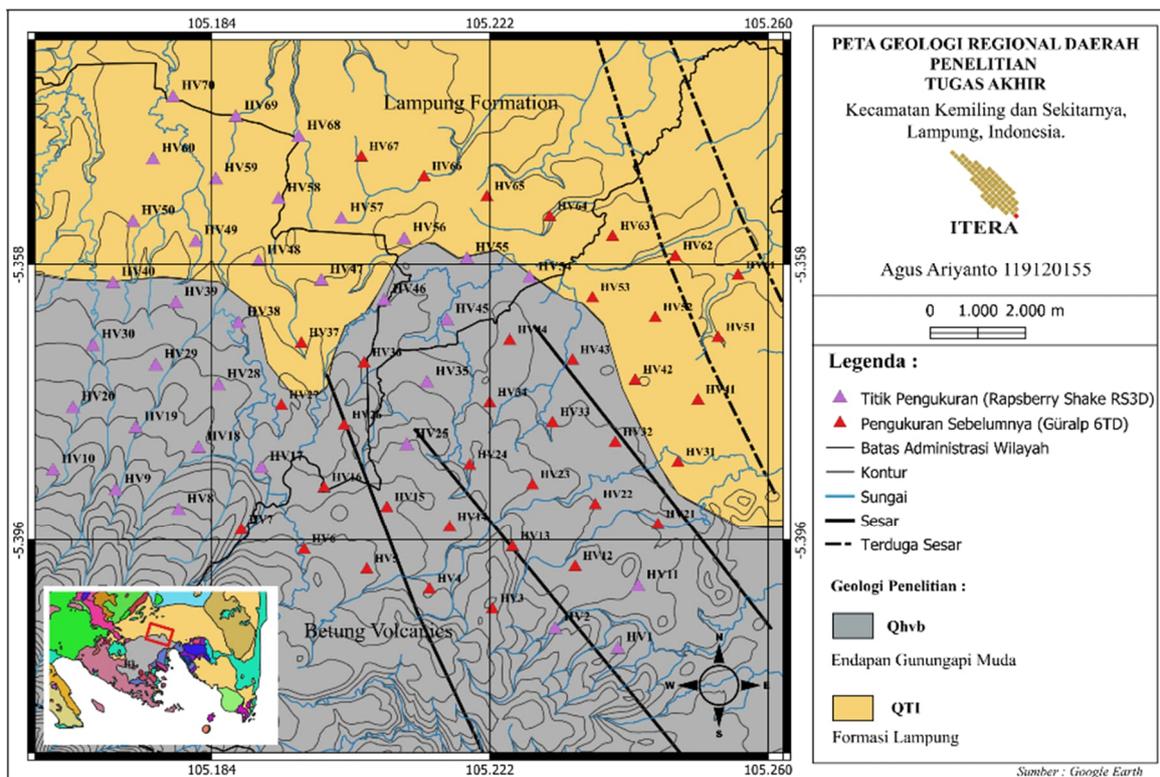
dan keterlibatan aktif masyarakat dalam perencanaan darurat.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Geologi Daerah Penelitian

Kemiling dan sekitarnya terletak pada morfologi perbukitan bergelombang yang termasuk dalam Zona Jajaran Barisan. Daerah ini dilalui Patahan Menanga, Patahan Lampung Panjang dan terdapat juga patahan lokal (Mangga dkk., 1993).

Area Kemiling yang terletak pada Endapan Gunung Api Muda (QHvb) dan Formasi Lampung (QTI) yang ditunjukkan pada **Gambar 1**. Formasi QHvb bersumber dari hasil endapan batuan gunung api yang terbentuk pada zaman Holosen dan terdiri dari breksi, tufa, dan lava andesit-basal dari letusan Gunung Betung. Sementara Formasi QTI terbentuk atas batuan gunung api pada zaman Pleistosen dan terdiri dari tuf berbatu apung, batulempung tufan, batupasir tufan, tuf riolitik, dan tuf padu tufit (Mangga dkk., 1993).



**Gambar 1.** Peta geologi regional daerah Kemiling dan sekitarnya. Simbol segitiga merah menunjukkan titik pengukuran HVSR (Mangga dkk., 1993).

### 2.2. Metode Horizontal To Vertical Spectral Ratio (HVSR)

Analisis mikrotremor menggunakan metode HVSR memiliki kapabilitas untuk menghasilkan informasi karakteristik sifat tanah meliputi nilai  $f_0$  dan  $A_0$ . Aplikasi metode ini telah banyak diterapkan dalam penilaian tingkat kerentanan terhadap risiko gempa bumi, geoteknik, pemodelan kecepatan  $V_s$  dan  $V_{s30}$  serta eksplorasi dinamika aktivitas gunung

berapi. Teknik HVSR ini pertama kali diperkenalkan pada tahun 1971 oleh Nogoshi dan Igarashi, dan pada tahun 1989 mulai diperluas oleh Nakamura. Kemudian secara masih mulai dikembangkan pada tahun 2000an untuk berbagai bidang kebumihan.

Nakamura (1989), mengabaikan keterlibatan gelombang permukaan dan menganggap bahwa gelombang geser  $S_H$  lebih mendominasi HVSR. Pada daerah kurva sekitar

$f_0$  kurva HVSr tidak terpengaruh oleh Gelombang Rayleigh, namun efek gelombang ini akan muncul pada frekuensi yang lebih tinggi. **Tabel 1** menunjukkan bagaimana sumber gelombang pada mikrotremor berdasarkan Gutenberg (1958) dan Asten (1978).

Metode HVSr membandingkan rasio amplitudo pada spektrum *Fourier* dari komponen horizontal terhadap komponen vertikal. Rasio spektral komponen horizontal

terhadap vertikal pada mikrotremor dapat dihitung menggunakan Persamaan 1.

$$HVSr = \sqrt{\frac{[(S_{North-South})^2 + (S_{East-West})^2]}{S_v}} \quad (1)$$

Keterangan:

$S_{North-South}$  : spektrum amplitudo pada komponen utara - selatan

$S_{East-West}$  : spektrum amplitudo pada komponen barat - timur

$S_v$  : spektrum amplitudo pada komponen vertikal

**Tabel 1.** Sumber mikrotremor berdasarkan nilai frekuensi (Gutenberg, 1958; Asten, 1978).

No	Sumber Mikrotremor	Gutenberg	Asten
1	Gelombang laut yang menerjang sepanjang bibir pantai	0,05 - 0,1 Hz	0,2 - 1,2 Hz
2	Tremor Vulkanik	2 - 10 Hz	-
3	Kepadatan Penduduk	1 - 100 Hz	1,4 - 30 Hz
4	Gangguan Meteorologi skala besar	0,1 - 0,25 Hz	0,16 - 0,5 Hz

### 2.3. Frekuensi Natural ( $f_0$ )

Frekuensi natural yang juga dikenal dengan istilah frekuensi dominan adalah jumlah gelombang yang terjadi dalam suatu interval waktu tertentu. Besarnya nilai  $f_0$  pada suatu wilayah akan sangat dipengaruhi oleh besarnya nilai kecepatan bawah permukaan ( $V_s$ ) dan ketebalan lapisan bawah permukaan ( $H$ ) (Mucciarelli, 2008). Frekuensi natural dan ketebalan lapisan memiliki hubungan yang berbanding terbalik, sedangkan dengan kecepatan adalah sebanding (Persada dkk., 2021).

Dengan demikian daerah dengan lapisan sedimen yang lebih tebal umumnya akan memiliki frekuensi natural yang lebih rendah.

Frekuensi natural diukur dari puncak kurva H/V pada sumbu horizontal. Perhitungan nilai frekuensi natural dapat dilakukan dengan menggunakan Persamaan 2.

$$f_0 = \frac{V_s}{4H} \quad (2)$$

Keterangan:

$f_0$  : Frekuensi *natural* (Hz)

$H$  : Ketebalan (m)

$V_s$  : Kecepatan gelombang S di bawah permukaan (m/s)

Berdasarkan kajian Kanai (1983), nilai frekuensi *natural* dapat dikelompokkan ke dalam beberapa kategori tergantung pada jenis tanah, sebagaimana terlihat dalam **Tabel 2**.

**Tabel 2.** Klasifikasi tanah menurut nilai frekuensi *natural* (Kanai, 1983).

No	Tipe	$F_0$ (Hz)	Klasifikasi tanah	Keterangan
1	I	6,67-20	Terdiri dari batua <i>hard sandy, gravel.</i> Batuan tersier (lebih tua).	Ketebalan sedimen sangat tipis dan didominasi oleh batuan keras.

2	II	4-6,67	Batuan aluvial dengan ketebalan 5 meter. Terdiri dari <i>sandy-gravel</i> , <i>sandy hard clay</i> , <i>loam</i> , dan lainnya.	Ketebalan sedimen permukaan masuk dalam kategori menengah yaitu 5- 10 meter.
3	III	2,5-4	Batuan aluvial dengan ketebalan >5 meter. Terdiri dari <i>sandy gravel</i> , <i>sandy hard clay</i> , <i>loam</i> .	Ketebalan sedimen permukaan masuk kedalam kategori tebal yaitu sekitar 10-30 meter.
4	IV	< 2,5	Batuan aluvial yang terbentuk dari hasil sedimentasi delta, <i>top soil</i> , dan lumpur, dan lainnya.	Ketebalan sedimen Permukaannya sangat tebal.

#### 2.4. Periode Dominan ( $T_0$ )

Periode dominan ( $T_0$ ) adalah periode waktu di mana sebuah gelombang memiliki amplitudo tertinggi atau frekuensi puncak.  $T_0$  sering digunakan untuk menggambarkan sifat osilasi atau gelombang pada lapisan sedimen atau struktur bumi tertentu.  $T_0$  juga menunjukkan besarnya rasio (perbandingan) antara amplitudo komponen horizontal dengan vertikal dari getaran tanah mencapai nilai maksimum. Selain itu,  $T_0$  juga menggambarkan waktu yang diperlukan oleh gelombang mikro untuk melakukan pantulan tunggal dari bidang pemantulnya kembali ke permukaan. (Warnana, 2011; Hesti dkk., 2021). Untuk mengetahui bagaimana hubungan antara  $T_0$  dan  $f_0$  dapat dilihat pada Persamaan 3.

$$T_0 = \frac{1}{f_0} \quad (3)$$

Keterangan:

$T_0$  : Periode dominan

$f_0$  : Frekuensi *natural*

Pada **Tabel 3** menunjukkan pengelompokan jenis tanah berdasarkan nilai  $T_0$  menurut Kanai (1983).

#### 2.5. Amplifikasi ( $A_0$ )

Amplifikasi gelombang seismik terjadi karena perbedaan sifat dalam lapisan-lapisan

bumi. Ketika gelombang seismik berpindah dari medium yang lebih keras ke medium yang lebih lunak, maka gelombang tersebut akan mengalami penguatan. Hal ini dijelaskan oleh Nakamura (2000), yang menyatakan bahwa nilai amplifikasi akan berkaitan dengan perbandingan kontras impedansi antara lapisan permukaan dan lapisan di bawahnya, dimana keduanya memiliki hubungan yang berbanding terbalik (Yuliawati dkk., 2019). Nilai amplifikasi dapat ditentukan menggunakan Persamaan 4.

$$A_0 = \frac{\rho_\alpha V_\alpha}{\rho_S V_S} \quad (4)$$

Keterangan:

$A_0$  : Nilai amplifikasi

$V_\alpha$  : Kecepatan gelombang batuan dasar (m/s)

$\rho_\alpha$  : Densitas batuan dasar (kg/m<sup>3</sup>)

$V_S$  : Kecepatan gelombang batuan lunak (m/s)

$\rho_S$  : Densitas batuan lunak (kg/m<sup>3</sup>)

Pengelompokan berbagai nilai faktor amplifikasi di suatu daerah dapat dilakukan dengan menggunakan klasifikasi pada **Tabel 4**, yang memungkinkan penentuan kelompok berdasarkan tingkat penguatan yang berbeda-beda.

**Tabel 3.** Klasifikasi Tanah berdasarkan Periode Dominan (Kanai, 1983).

Klasifikasi tanah		Periode dominan (s)	Keterangan	Karakter
Kanai	Omote - Nakajima			
Jenis I	Jenis A	0,05-0,15	Terdiri dari batuan pasir berkerikil keras. Batuan tersier (lebih tua).	Keras
Jenis II	Jenis A	0,15-0,25	Terdiri dari pasir berkerikil ( <i>sandy gravel</i> ), lempung keras ( <i>sandy hard clay</i> ), tanah liat, lempung ( <i>loam</i> ). Batuan aluvial dengan ketebalan 5 meter.	Sedang
Jenis III	Jenis B	0,25-0,40	Batuan aluvial hampir sama dengan jenis II hanya dibedakan oleh adanya formasi <i>bluff</i> .	Lunak
Jenis IV	Jenis C	> 0,40	Batuan aluvial terbentuk dari sedimentasi delta, topsoil, lumpur, humus, endapan delta atau endapan lumpur, yang tergolong ke dalam tanah lembek dengan kedalaman 30 meter atau lebih.	Sangat Lunak

**Tabel 4.** Klasifikasi Nilai Faktor Amplifikasi (Setiawan, 2009).

Tipe	Nilai Faktor Amplifikasi ( $A_0$ )	Keterangan
I	$A_0 < 3$	Rendah
II	$3 \leq A_0 < 6$	Sedang
III	$6 \leq A_0 < 9$	Tinggi
IV	$A_0 \geq 9$	Sangat Tinggi

### 2.6. Indeks Kerentanan Seismik ( $K_g$ )

Berdasarkan Nakamura (1997), penilaian  $K_g$  dapat dimanfaatkan sebagai cara untuk memperkirakan besarnya risiko yang mungkin terjadi disuatu wilayah saat terjadi gempa bumi, dimana masing-masing wilayah akan mempunyai nilai  $K_g$  yang berbeda. Nilai  $K_g$  ini mencerminkan tingkat kerusakan yang dapat timbul pada suatu kawasan atau struktur akibat gempa bumi.  $K_g$  sangat terkait dengan kondisi geologi bawah permukaan. Secara umum, nilai  $K_g$  yang tinggi terdapat pada area dengan lapisan sedimen yang lunak (Wulandari dkk., 2018).

Hal ini merepresentasikan bahwa kawasan tersebut mempunyai kerentanan yang tinggi

terhadap getaran gempa bumi. Begitu pula sebaliknya, Ketika suatu area memiliki nilai  $K_g$  yang rendah, maka area tersebut tersusun oleh lapisan batuan yang kuat dan stabil dan memiliki risiko kerentanan yang kecil terhadap getaran gempa bumi. **Tabel 5** menunjukkan pengelompokan nilai indeks kerentanan seismik terhadap besarnya risiko disuatu area akibat adanya getaran gempa bumi. Adapun, nilai  $K_g$  dapat diperoleh dengan Persamaan 5.

$$K_g = \frac{A_0^2}{f_0} \quad (5)$$

Keterangan:

$A_0$  : Nilai amplifikasi

$f_0$  : Frekuensi *natural*

**Tabel 5.** Klasifikasi Indeks Kerentanan Seismik (Refrizon, 2013).

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

**2.7. Kecepatan Gelombang Geser ( $V_{S30}$ )**

Estimasi nilai  $V_s$  dari 65 titik pengukuran yang dihasilkan pada kurva HVSR dilakukan dengan teknik inversi menggunakan *software ProHVSR*. Pada tahap inversi ini diperoleh besarnya nilai  $V_s$  dan  $H$  pada setiap lapisan. Berdasarkan nilai  $V_s$  dan  $H$  tersebut, selanjutnya dapat dihitung besarnya nilai  $V_{S30}$  yang menunjukkan besarnya nilai  $V_s$  hingga kedalaman 30 meter. Adapun klasifikasi nilai  $V_{S30}$  menurut National Earthquake Hazards Reduction Program/NHERP (2000) dapat

dilihat pada **Tabel 6**. Nilai  $V_{S30}$  dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 6.

$$V_{S30} = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{\sum_{i=1}^m (t_i/V_{S_i})} \tag{6}$$

Keterangan:

- $V_{S30}$  : Kecepatan  $V_s$  hingga kedalaman 30 meter
- $m$  : Jumlah lapisan hingga di kedalaman 30 meter
- $V_s$  : Kecepatan gelombang S (m/s)
- $i$  : Indeks lapisan
- $t_i$  : Ketebalan lapisan ke-  $i$

**Tabel 6.** Klasifikasi Batuan Berdasarkan Nilai  $V_{S30}$  (NEHRP, 2000).

Tipe Batuan	Jenis Batuan	$V_{S30}$
A	<i>Hard rock</i> (batuan keras)	$V_{S30} > 1.500$ m/s
B	<i>Rock</i> (bantuan sedang)	$750 < V_{S30} \leq 1.500$ m/s
C	<i>Very dense soil and soft rock</i> (tanah keras dan batuan lunak)	$350 < V_{S30} \leq 750$ m/s
D	<i>Stiff soil</i> (tanah sedang)	$175 < V_{S30} \leq 350$ m/s
E	<i>Soft soil</i> (tanah lunak)	$V_{S30} < 175$ m/s

**2.8. Inversi Particle Swarm Optimization (PSO)**

Inversi PSO merupakan algoritma optimasi global yang pertama kali dipublikasikan oleh Kennedy dan Eberhart (1995). Algoritma ini terinspirasi oleh perilaku populasi burung dalam mencari sumber makanan. Setiap partikel atau anggota populasi merupakan parameter dari kecepatan ( $v$ ) dan posisi ( $X$ ). Setiap partikel ke- $i$  pada posisi awal atau iterasi pertama ( $t$ ) akan diperbarui posisinya pada iterasi berikutnya ( $t + 1$ ) menggunakan Persamaan 7. Kecepatan pada iterasi ke- $(t + 1)$  pada Persamaan 7 dapat dinyatakan pada Persamaan 8.

$$X_i^{t+1} = X_i^t + v_i^{t+1} \tag{7}$$

$$v_i^{t+1} = \omega v_i^t + c_1 r_1 (p_{best(i)}^t - X_i^t) + c_2 r_2 (g_{best}^t - X_i^t) \tag{8}$$

Keterangan:

- $v_i^t$  : Kecepatan awal
- $v_i^{t+1}$  : Kecepatan berikutnya
- $X_i^t$  : Posisi awal
- $X_i^{t+1}$  : Posisi berikutnya
- $p_{best}^t$  : Posisi terbaik individu
- $g_{best}^t$  : Posisi terbaik populasi
- $c_1, c_2$  : Koefisien akselerasi lokal dan global
- $r_1, r_2$  : Bilangan acak antara 0 dan 1
- $\omega$  : Bobot inersia

**3. METODE PENELITIAN**

Lokasi penelitian terletak di Kecamatan Kemiling dan sekitarnya meliputi tiga wilayah kabupaten dan kota, antara lain Kabupaten

Pesawaran yang meliputi Kecamatan Gedong Tataan, Kabupaten Lampung Selatan yang meliputi Kecamatan Natar, dan Kota Bandar Lampung.

Data Observasi yang digunakan berupa seismogram dalam domain waktu diukur menggunakan seismometer tiga komponen (Utara-Selatan, Barat-Timur, dan vertikal) Raspberry Shake RS3D Outdoor dan Güralp 6TD yang memiliki *sampling rate* sebesar 100 Hz. Pengukuran data seismogram dilakukan dengan durasi perekaman dalam rentang 40-60 menit. Durasi tersebut mengacu pada SESAME (2004) yang menyatakan bahwa minimum perekaman 30 menit digunakan untuk mendapatkan frekuensi natural minimal 0,2 Hz. Titik pengukuran sejumlah 65 titik yang tersebar di Kecamatan Kemiling dan sekitarnya dengan jarak antar titik sebesar satu kilometer (**Gambar 2**).

Kontrol kualitas data perlu dilakukan untuk mendapatkan hasil yang optimal. Kriteria data pengukuran yang dianggap baik adalah memenuhi ketentuan *reliability* dan *clarity* dari SESAME (2004). *Reliability* yang dimaksud adalah kemampuan data mencapai tiga kriteria dari segi frekuensi puncak kurva HVSR, *number of significant cycles*, dan standar deviasi pada rentang frekuensi tertentu. Semua kriteria *reliability* ini harus terpenuhi. Kriteria berikutnya adalah *clarity* harus memenuhi 5 dari 6 kriteria yang dapat dilihat dalam peta desain akuisisi pada **Gambar 2**.

Penelitian ini memiliki prosedur pengolahan data untuk memenuhi tujuan penelitian antara lain:

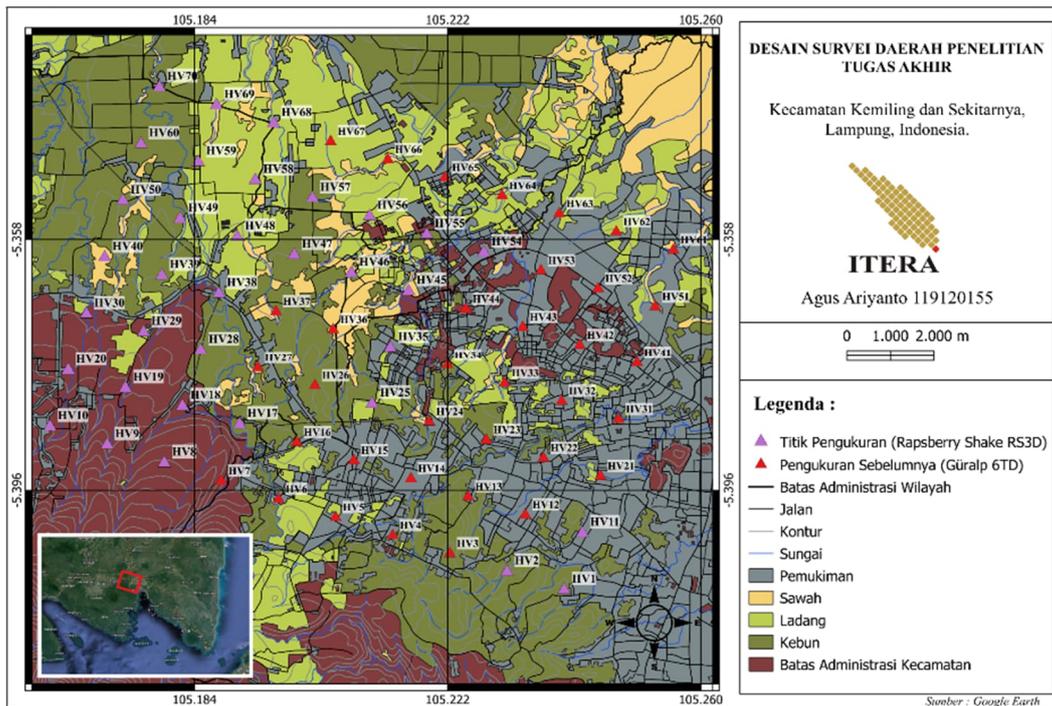
1. *Windowing* sinyal merupakan proses untuk ekstraksi gelombang dari mikrotremor dan minimalisasi *aliasing* pada sinyal.
2. Transformasi Fourier merupakan tahapan untuk merubah sinyal

seismogram dari domain waktu ke dalam domain frekuensi.

3. Menghitung HVSR menggunakan Persamaan 1 dalam domain frekuensi.
4. Kontrol kualitas untuk memilih data pengukuran yang memenuhi kriteria *reliable* dan *clarity*.
5. *Smoothing* merupakan proses untuk memperjelas bentuk kurva HVSR dan mempermudah proses inversi.
6. Ekstraksi  $f_0$  dengan Persamaan 2 dan  $A_0$  berdasarkan kurva HVSR (Persamaan 4)
7. Menghitung Periode Dominan ( $T_0$ ) dari frekuensi *natural* ( $f_0$ )
8. Menghitung nilai  $Kg$  menggunakan Persamaan 5.
9. Menghitung nilai  $Vs$  dengan teknik inversi.

Perhitungan variasi nilai  $Vs$  secara vertikal dibutuhkan untuk memperoleh frekuensi *natural*, periode dominan, indeks kerentanan seismik, amplifikasi, dan  $Vs_{30}$ . Pemodelan inversi nilai  $Vs$  ini dilakukan menggunakan metode algoritma optimasi global PSO. Metode ini diakomodir di dalam perangkat lunak *ProHVSR* yang ditulis dalam bahasa pemrograman *Python*.

Sebaran nilai frekuensi *natural*, periode dominan, indeks kerentanan seismik, amplifikasi, dan  $Vs_{30}$  yang diperoleh dari hasil perhitungan akan bermanfaat jika mampu memberikan informasi secara geospasial. Pembuatan peta untuk setiap parameter membutuhkan interpolasi agar dapat memberikan informasi secara spasial. Penelitian ini menggunakan metode interpolasi kriging dalam pembuatan peta untuk setiap parameter. Peta ini dibuat menggunakan perangkat lunak QGIS (Quantum GIS).



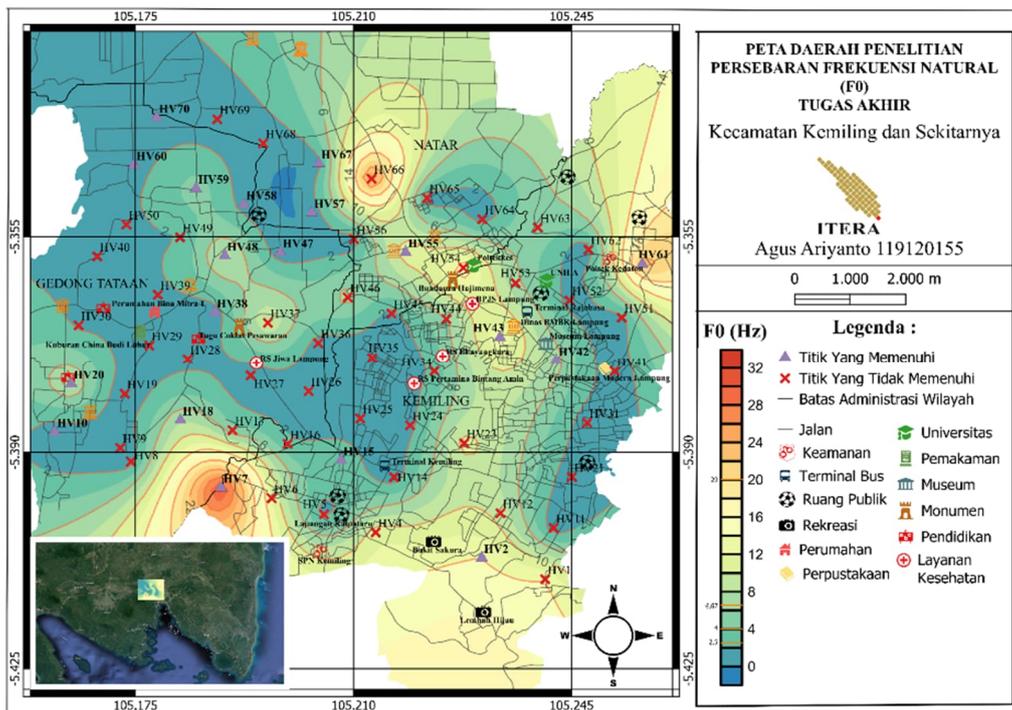
Gambar 2. Peta desain akuisisi pengukuran mikrotremor (Haerudin, 2019).

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

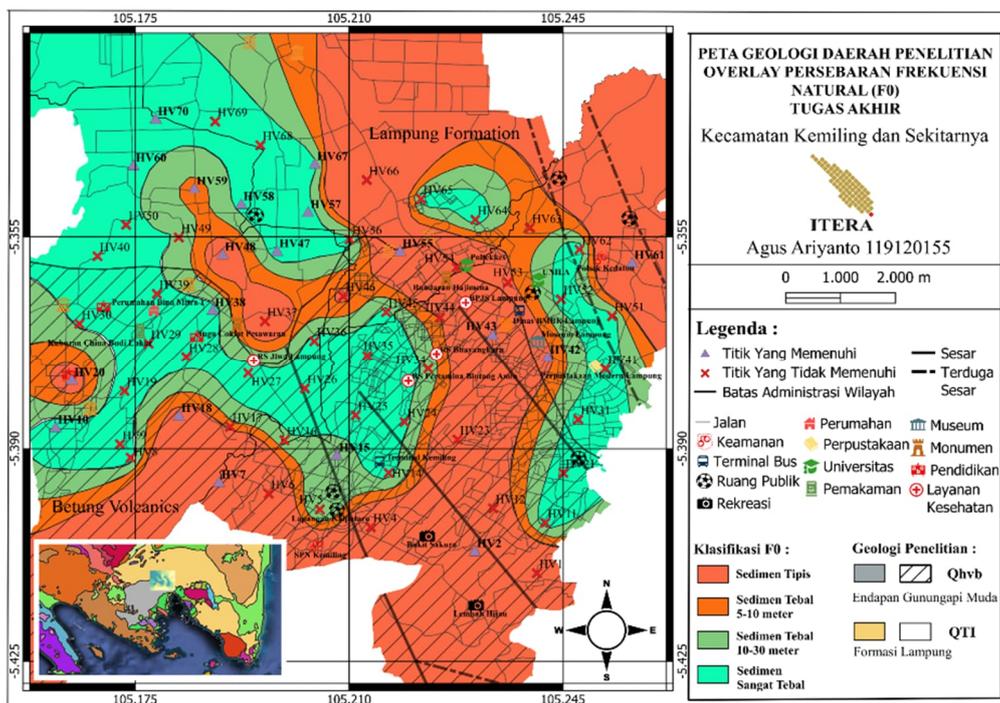
##### 4.1. Peta Persebaran Frekuensi Natural ( $f_0$ )

Nilai persebaran  $f_0$  pada daerah penelitian mempunyai nilai yang bervariasi dalam rentang nilai 0,5 – 31,47 Hz. Peta persebaran  $f_0$  berupa kontur dengan interval 2 Hz dapat dilihat pada Gambar 3. Nilai  $f_0$  rendah didominasi pada wilayah bagian barat pada Formasi Gunung Api Muda (Qhvb) yang diarsir hingga barat laut daerah penelitian mencakup pada Formasi Lampung (QTI) yang tidak diarsir pada Gambar 4 berada di Kelurahan Beringin Raya, Bernung, Gedong Meneng, Hajimena, Kemiling Permai, Kemiling Raya, Kurungan

Nyawa, Labuhan Ratu, Labuhan Ratu Raya, Natar, Negara Ratu, Negeri Sakti, Pemanggilan, Rajabasa Nunyai, Segala Mider, Suka Banjar, Sumber Rejo Sejahtera, dan Sungai Langka. Daerah tersebut merupakan daerah yang terletak pada topografi rendah. Kemudian, daerah dengan  $f_0$  tinggi didominasi pada wilayah bagian selatan, timur laut, dan sebagian utara pada Kelurahan Gedong Meneng, Gunung Agung, Gunung Terang, Hajimena, Kelapa Tiga Permai, Kurungan Nyawa, Labuhan Dalam, Negeri Sakti, Pemanggilan, Pinang Jaya, Rajabasa, Rajabasa Jaya, Rajabasa Nunyai, Rajabasa Pemuka, Sumber Rejo Sejahtera, Sungai Langka, Susunan Baru.



Gambar 3. Peta persebaran frekuensi *natural* ( $f_0$ ).



Gambar 4. Peta distribusi nilai  $f_0$  yang di *overlay* dengan peta geologi daerah penelitian.

Wilayah dengan nilai  $f_0$  tinggi memiliki kerapatan kontur yang tinggi dan morfologi berupa Gunung Betung terlihat pada Gambar 4 pada titik HV7 di Kelurahan Pinang Jaya

terdapat pada wilayah yang diarsir yang menjelaskan bahwa daerah tersebut berada pada Formasi Gunung Api Muda. Berdasarkan klasifikasi Kanai diketahui bahwa wilayah

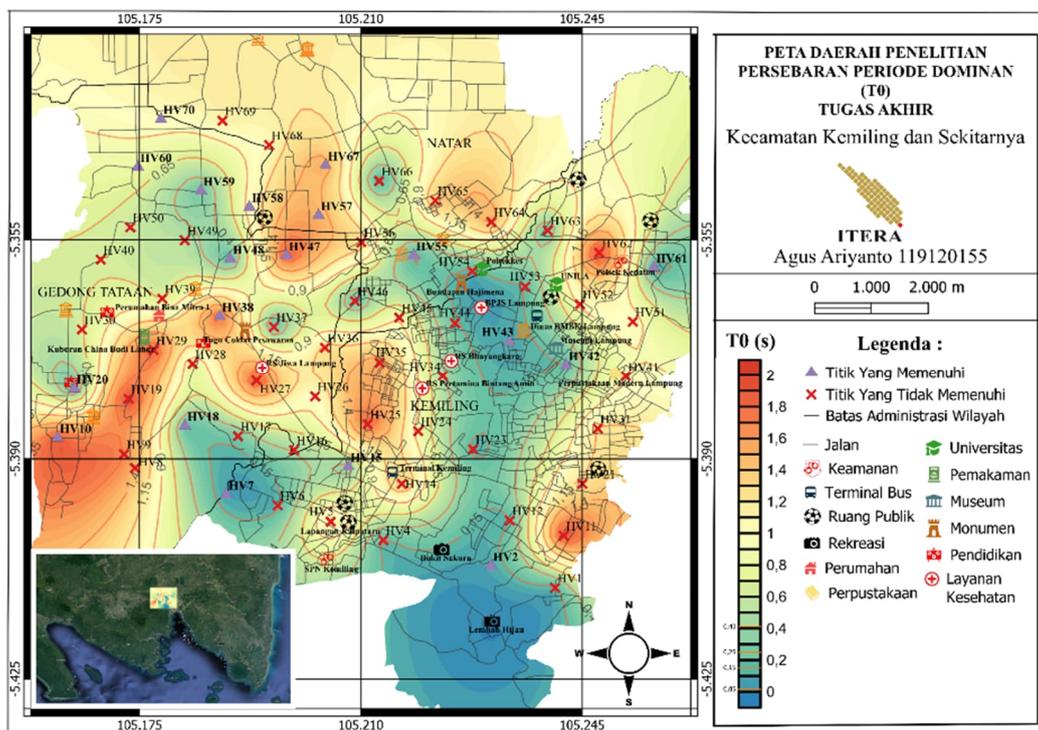
dengan nilai  $f_0$  tinggi mempunyai lapisan sedimen yang tipis dan didominasi oleh batuan yang keras. Berbanding terbalik wilayah dengan nilai  $f_0$  rendah memiliki ketebalan sedimen yang tebal dan didominasi oleh endapan aluvial dari produk sedimentasi delta, *top soil* dan lumpur.

**4.2. Peta Persebaran Periode Dominan ( $T_0$ )**

Persebaran nilai  $T_0$  menunjukkan variasi sebesar 0,03–2,0 sekon di area penelitian. Sebaran nilai  $T_0$  disajikan dalam peta kontur

dengan interval 0,1 sekon dapat dilihat pada **Gambar 5**.

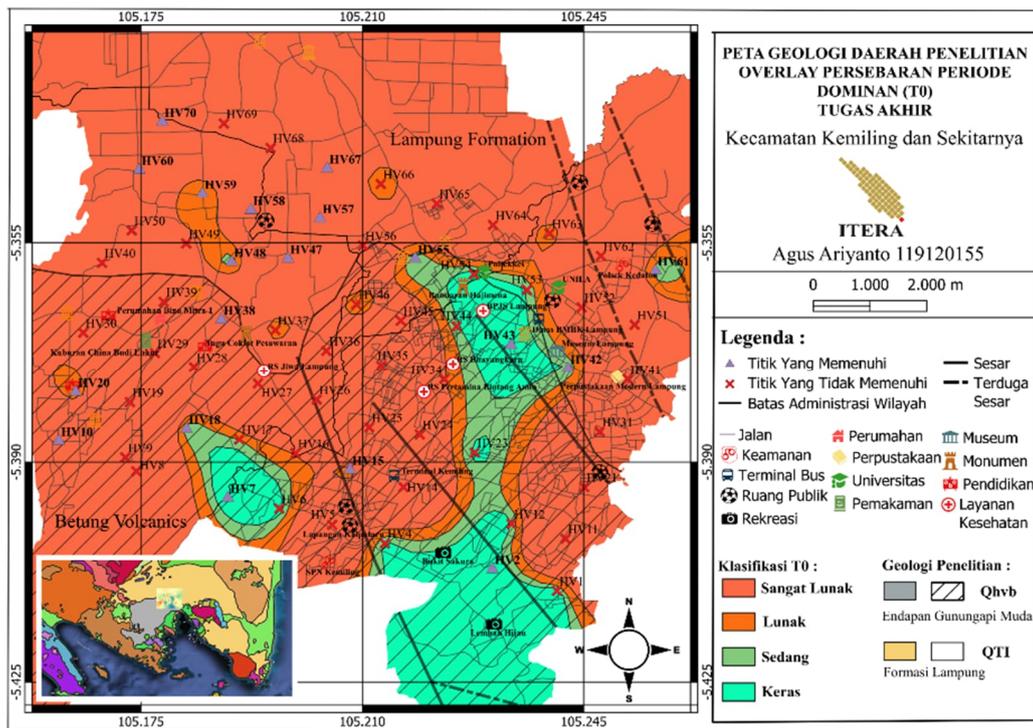
Daerah dengan nilai  $T_0$  rendah mendominasi wilayah bagian tenggara hingga sedikit ke wilayah utara penelitian, sedangkan daerah yang memiliki nilai  $T_0$  tinggi didominasi di wilayah bagian barat daya hingga timur laut. Nilai  $T_0$  terendah berada pada titik HV7, sedangkan nilai periode dominan tertinggi berada pada titik HV47.



**Gambar 5.** Peta persebaran periode dominan ( $T_0$ ).

Persebaran nilai  $T_0$  tinggi juga berada pada Kelurahan Kemiling Raya di wilayah titik HV25 bernilai 1,82 sekon. Berdasarkan klasifikasi Kanai (1983), dapat disimpulkan bahwa daerah dengan nilai  $T_0$  rendah memiliki karakteristik tanah keras, sedangkan daerah dengan nilai periode dominan tinggi memiliki karakteristik tanah sangat lunak. Daerah yang memiliki  $T_0$  tinggi merupakan area yang rentan mengalami

kerusakan akibat gempa karena terindikasi memiliki sedimentasi/lapisan lapuk yang tebal (Kanai, 1983). Pada nilai periode dominan tinggi didominasi pada Formasi Lampung (QTI), sedangkan pada nilai  $T_0$  rendah didominasi pada Formasi Gunung Api Muda Betung (Qhvb), dapat dilihat pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Peta overlaysebaran nilai periode dominan pada peta geologi regional daerah penelitian.

**4.1 Peta Persebaran Amplifikasi (A<sub>0</sub>)**

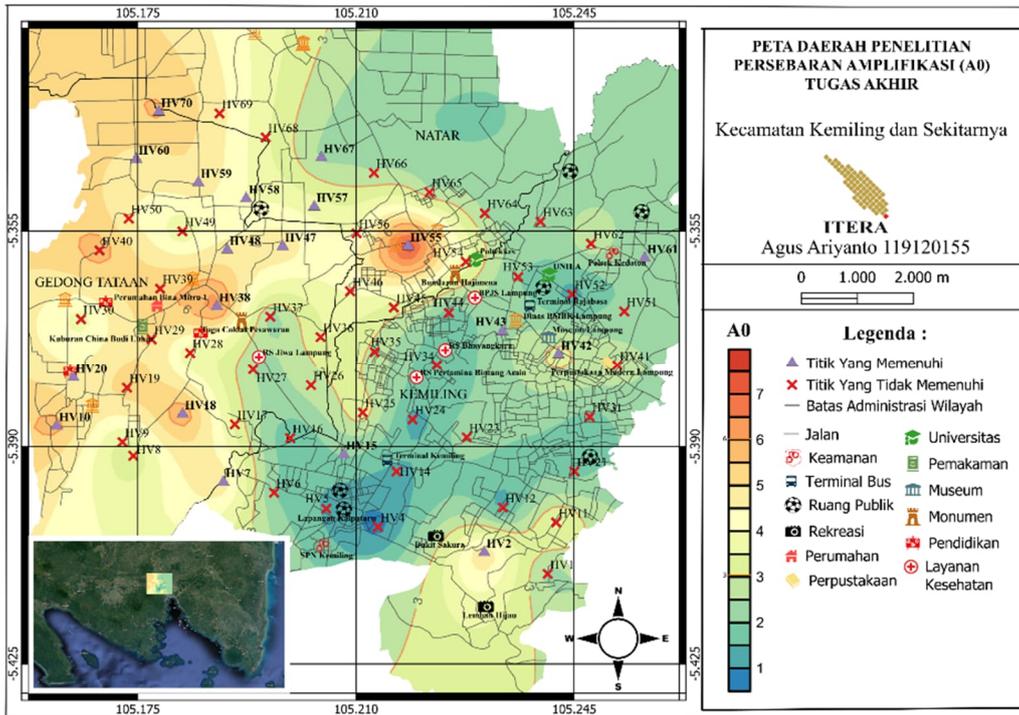
Amplifikasi pada suatu area akan berhubungan dengan besarnya penguatan gelombang seismik yang diakibatkan karena adanya kontras impedansi antara lapisan sedimen yang ada di permukaan dengan lapisan *bedrock* di bawahnya. Pada daerah penelitian memiliki persebaran *A<sub>0</sub>* dari rendah–sangat tinggi dengan variasi nilai amplifikasi berkisar dari 0,76 - 7,67 kali penguatan. Peta persebaran dan kontur klasifikasi nilai *A<sub>0</sub>* pada daerah penelitian dapat dilihat pada Gambar 7.

Kecepatan gelombang dipengaruhi oleh kerapatan batuan di sekitarnya. Saat kerapatan batuan di suatu wilayah berkurang, maka kecepatan gelombang yang melewati wilayah tersebut akan melambat dan menghasilkan faktor penguatan yang lebih tinggi (Nakamura, 2000).

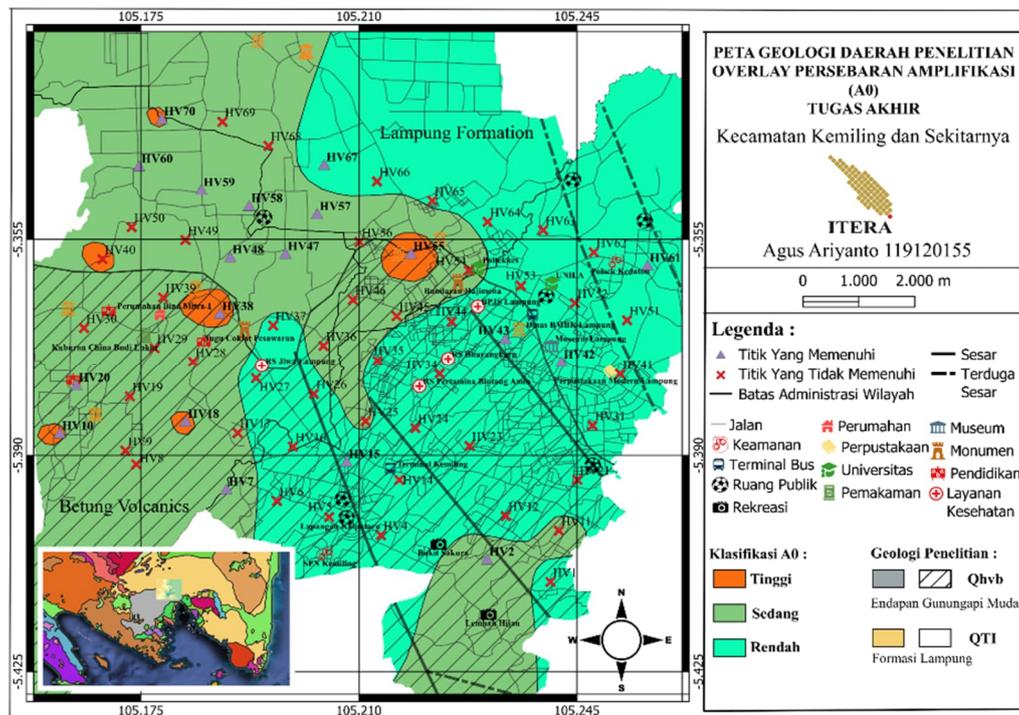
Wilayah yang memiliki penguatan *A<sub>0</sub>* rendah didominasi di wilayah bagian timur dengan nilai *A<sub>0</sub>* terendah 0,76 kali yaitu terletak pada titik HV4 di Kelurahan Sumber Rejo Sejahtera. Kemudian wilayah yang memiliki penguatan gelombang (*A<sub>0</sub>*) yang tinggi

didominasi di wilayah bagian barat dengan nilai *A<sub>0</sub>* tertinggi yaitu 7,67 penguatan pada titik HV55 terletak di Kelurahan Hajimena. Hal ini memiliki hubungan terhadap sebaran formasi batuan di area penelitian seperti wilayah dengan nilai penguatan gelombang rendah didominasi pada Formasi Gunung Api Muda Betung (Qhvb): lava (andesit-basal), breksi, dan tuf, sedangkan wilayah dengan nilai amplifikasi atau penguatan gelombang tinggi didominasi pada wilayah Formasi Lampung (QTI): tuf riolitik, tuf berbatu apung, batu pasir tufa, batu lempung tufa, dan tuf terlihat pada Gambar 8.

Berdasarkan tingkat amplifikasi tersebut diketahui bahwa amplifikasi tidak berkorelasi dengan frekuensi *natural*. Hal Ini disebabkan oleh amplifikasi yang timbul dari pengaruh kecepatan gelombang geser dan densitas bawah permukaan. Nilai amplifikasi yang tinggi akan meningkatkan kerusakan bangunan akibat guncangan gempa dan begitu pula sebaliknya daerah dengan amplifikasi rendah akan mengalami kerusakan yang rendah akibat guncangan gempa berdasarkan analisis nilai kerentanan seismik (Nakamura, 2000).



Gambar 7. Peta persebaran amplifikasi ( $A_0$ ).



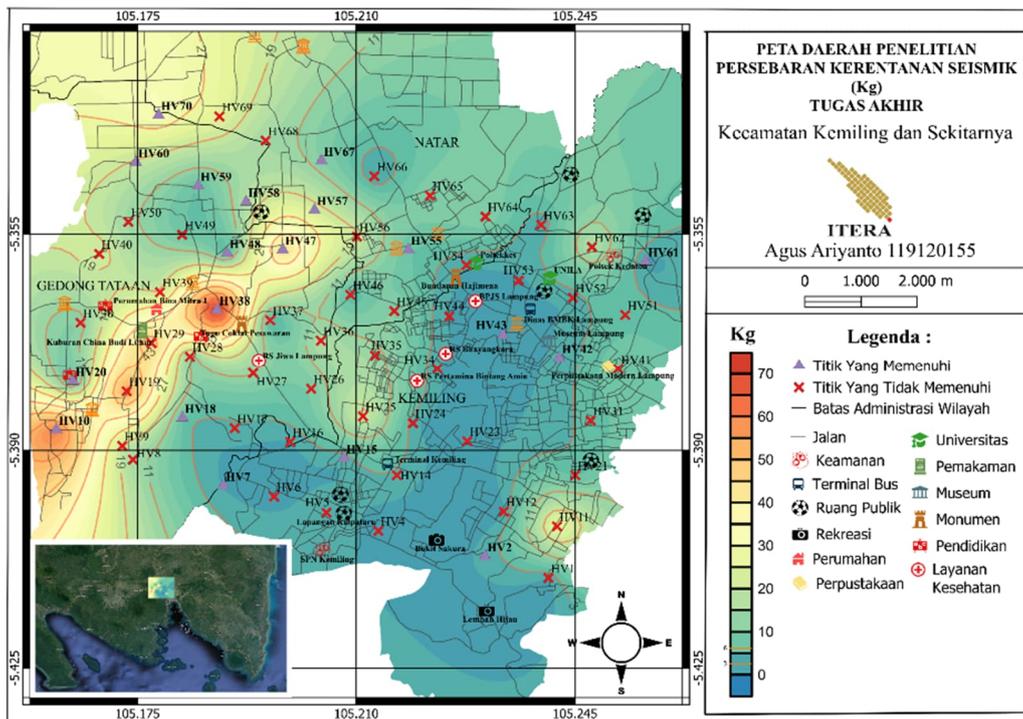
Gambar 8. Peta distribusi nilai  $A_0$  pada daerah penelitian yang disandingkan dengan peta geologi.

#### 4.2 Peta Persebaran Indeks Kerentanan Seismik ( $K_g$ )

Nilai  $K_g$  akan merepresentasikan besarnya tingkat kerentanan lapisan tanah di

permukaan pada suatu wilayah terhadap deformasi selama gempa bumi. Ukuran nilai frekuensi *natural* dan faktor amplifikasi berdampak pada kerentanan seismik atau indeks kerentanan tanah, dimana nilai  $K_g$  akan meningkat ketika nilai  $A_0$  tinggi dan nilai  $f_0$  rendah. Sebaliknya, nilai  $K_g$  akan lebih rendah ketika nilai  $A_0$  rendah dan nilai  $f_0$  tinggi.

Distribusi nilai  $K_g$  sangat bervariasi dan berkisar antara 0,05 - 76,31. Namun secara keseluruhan, daerah penelitian didominasi oleh nilai  $K_g$  yang tinggi. Adapun peta persebaran dan kontur klasifikasi nilai  $K_g$  pada daerah penelitian dapat dilihat pada **Gambar 9**.



**Gambar 9.** Peta distribusi nilai  $K_g$ .

Wilayah yang memiliki kerentanan seismik yang rendah didominasi di wilayah bagian Timur pada Selatan Formasi Gunung Api Muda Betung (Qhvb) daerah yang diarsir hingga Utara Formasi Lampung (QTI) daerah yang tidak diarsir wilayah penelitian dengan nilai  $K_g$  terendah yaitu pada titik HV4 yang terletak di Kelurahan Sumber Rejo Sejahtera.

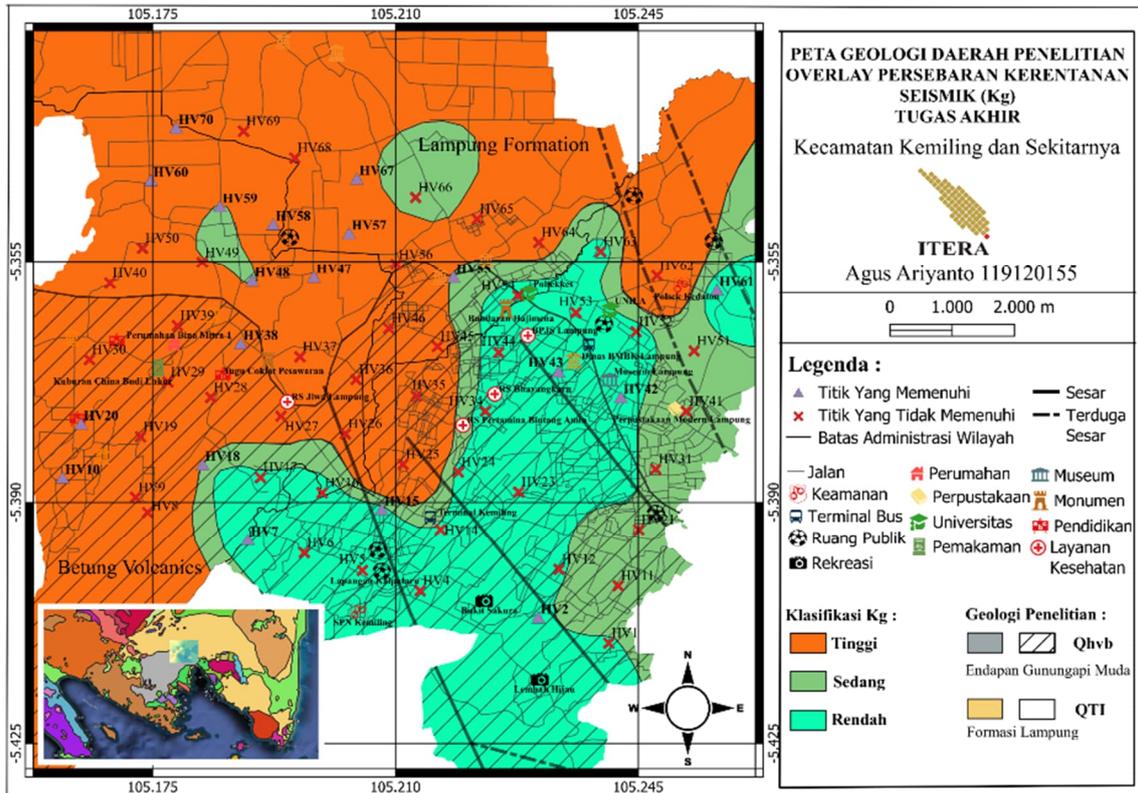
Wilayah dengan kerentanan seismik yang tinggi (daerah yang diarsir pada **Gambar 10**) mendominasi wilayah bagian Barat Daya Formasi Gunung Api Muda Betung (Qhvb) hingga bagian Utara Formasi Lampung (QTI), wilayah penelitian dengan nilai kerentanan seismik tertinggi yaitu pada titik HV38 di Kelurahan Negeri Sakti dapat dilihat pada

**Gambar 9.** Berdasarkan klasifikasi tingkat kerentanan seismik, indeks kerentanan seismik ini terbagi dalam 3 zona antara lain zona rendah, sedang, dan tinggi. Terdapat sebanyak 27 titik pengukuran yang berada dalam zona kerentanan seismik yang rendah, dengan indeks kerentanan seismik antara 0,05-2,69. Sementara titik dengan zona sedang sebanyak 6 titik dengan indeks kerentanan seismik sebesar 3,77-5,18. Untuk zona tinggi, terdapat sebanyak 32 titik yang berada dalam zona tinggi dengan indeks kerentanan seismik antara 6,34-76,31. Kondisi geologi juga mempengaruhi tingkat indeks kerentanan seismik.

Berdasarkan kondisi geologi setempat dapat diketahui bahwa nilai  $K_g$  yang tinggi dominan

berada pada Formasi Lampung (QTI) sedangkan nilai  $K_g$  yang rendah dominan terletak di Formasi Gunung Api Muda Betung (Qhvb). Dari analisis tersebut, dapat disimpulkan bahwa nilai  $K_g$  akan tinggi pada

wilayah yang memiliki karakteristik tanah yang lunak (Formasi Lampung) dan akan semakin rendah pada wilayah yang memiliki karakteristik tanah yang keras (Formasi Gunung Api Muda Betung).



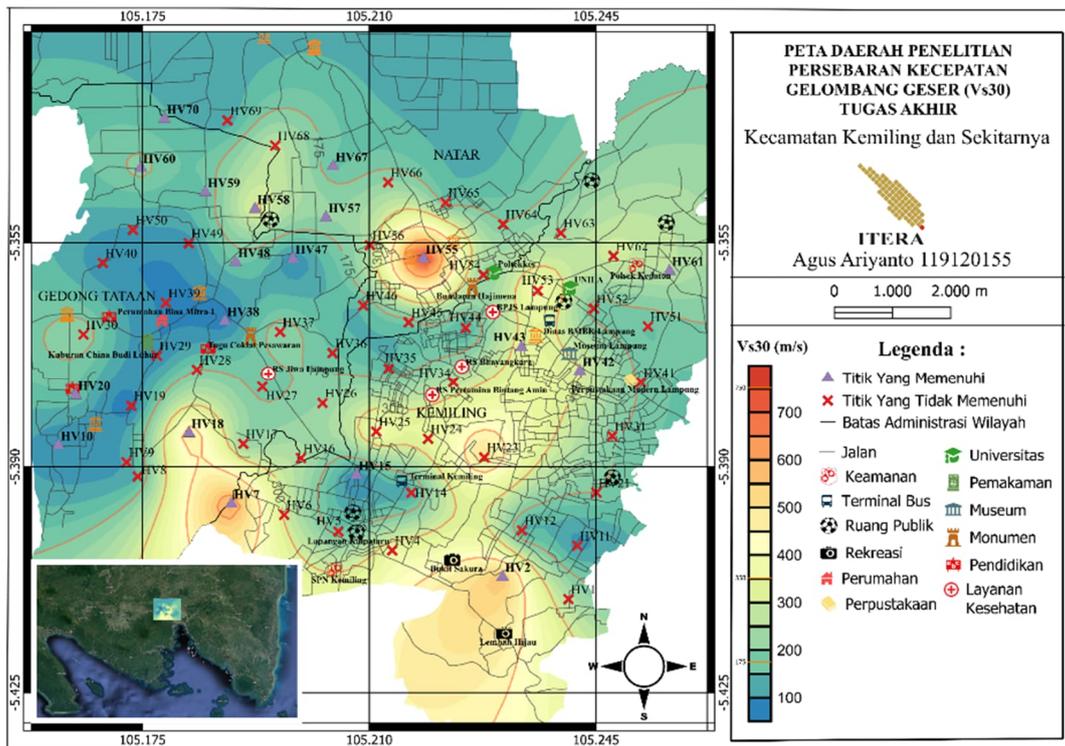
Gambar 10. Peta distribusi nilai  $K_g$  pada daerah penelitian yang di overlay dengan peta geologi.

#### 4.3 Peta Persebaran Kecepatan Gelombang Geser ( $V_{s30}$ )

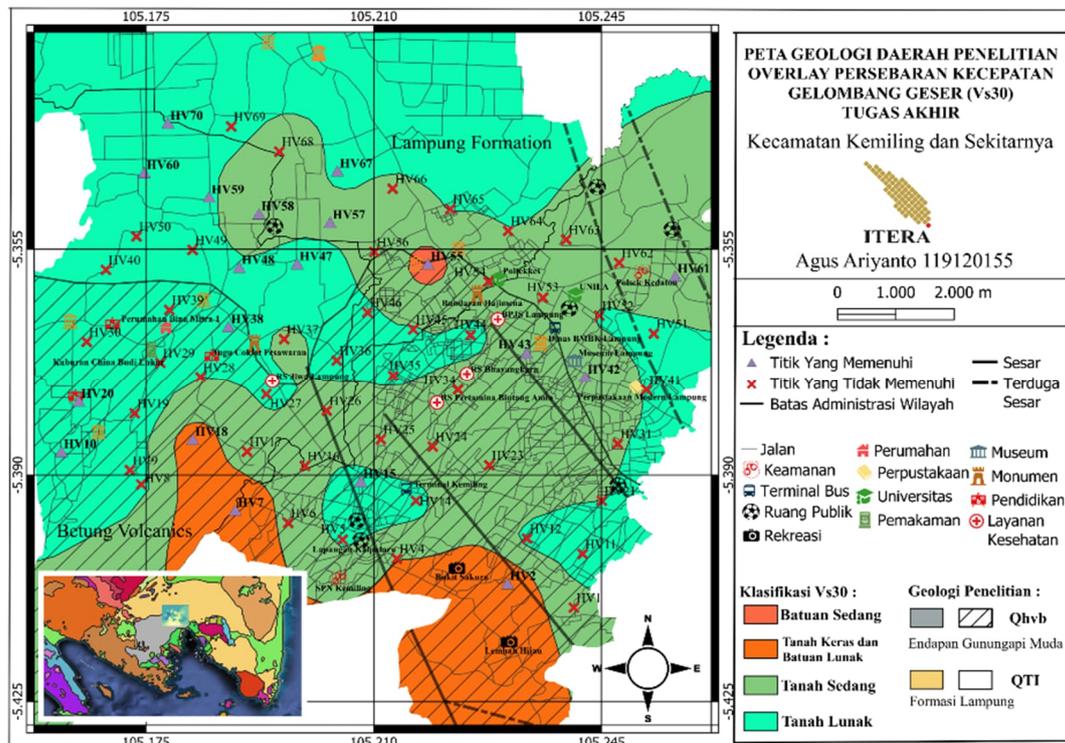
Nilai  $V_{s30}$  pada daerah penelitian berkisar antara 49,61–777,80 m/s. Adapun peta persebaran dan kontur klasifikasi nilai  $V_{s30}$  pada daerah penelitian dapat dilihat pada Gambar 11.

Berdasarkan klasifikasi Nilai  $V_{s30}$  oleh NHERP (2000) diketahui persebaran nilai  $V_{s30}$  di area Kemiling dan sekitarnya termasuk dalam Tipe batuan E (Tanah Lunak) dan Tipe D (Tanah Sedang). Tipe batuan E didominasi pada wilayah bagian barat – utara yang tersebar

di beberapa kelurahan yaitu Beringin Raya, Bernung, Gedong Air, Gedong Meneng, Gunung Agung, Hajimena, Kemiling Permai, Kurungan Nyawa, Labuhan Ratu, Labuhan Ratu Raya, Negara Ratu, Negeri Sakti, Pemanggilan, Rajabasa Pemuka, Suka Banjar, Sumber Rejo Sejahtera, Sungai Langka. Tipe batuan D tersebar di wilayah Kelurahan Bernung, Gedong Meneng, Hajimena, Kelapa Tiga Permai, Kemiling Raya, Kurungan Nyawa, Labuhan Dalam, Natar, Negeri Sakti, Pemanggilan, Pinang Jaya, Rajabasa Jaya, Rajabasa Nunyai, Segala Mider, Suka Banjar.



Gambar 11. Peta persebaran kecepatan gelombang geser ( $V_{s30}$ ).



Gambar 12. Peta overlay sebaran kecepatan gelombang geser ( $V_{s30}$ ) pada peta geologi regional daerah penelitian.

$V_{s30}$  berkorelasi terhadap tingkat kekerasan lapisan bawah permukaan. Nilai  $V_{s30}$  yang tinggi umumnya berada pada wilayah yang memiliki lapisan bawah permukaan yang keras, sedangkan nilai  $V_{s30}$  yang rendah umumnya berada pada wilayah yang memiliki lapisan bawah permukaan yang lunak berdasarkan National Earthquake Hazards Reduction Program (NEHRP, 2000). Jika dihubungkan dengan kondisi geologi daerah setempat diketahui bahwa wilayah dengan nilai  $V_{s30}$  tinggi berada pada Formasi Gunung Api Muda Betung (Qhvb). Sedangkan wilayah dengan nilai  $V_{s30}$  rendah tersebar di sebagian Formasi Lampung (QTI). Berdasarkan jenis batuan pada formasi tersebut dapat diketahui bahwa nilai  $V_{s30}$  bergantung pada tingkat kekerasan batuan, sebagaimana formasi Qhvb yang didominasi oleh batuan beku. Adapun peta persebaran nilai  $V_{s30}$  dan klasifikasi NEHRP (2000) pada daerah geologi penelitian dapat dilihat pada **Gambar 12**.

## 5. KESIMPULAN

Frekuensi *natural* ( $f_0$ ) di daerah penelitian mencakup rentang 0,5 – 31,47 Hz dan cenderung didominasi oleh frekuensi *natural* yang rendah. Nilai periode dominan ( $T_0$ ) berkisar antara 0,03 hingga 2,0 sekon dan lebih cenderung didominasi oleh periode dominan yang lebih tinggi. Nilai amplifikasi ( $A_0$ ) berkisar antara 0,76 hingga 7,67 kali penguatan, dengan dominasi nilai amplifikasi relatif sedang. Indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) memiliki sebaran dengan kisaran nilai 0,05 hingga 76,31 diklasifikasikan sebagai kerentanan seismik yang tinggi.

Dengan kata lain, daerah penelitian menunjukkan tingkat risiko guncangan yang relatif tinggi, terutama di Kecamatan Kemiling, dan dominasi nilai kerentanan ini terlihat pada wilayah barat penelitian, khususnya di Kecamatan Gedong Tataan pada Formasi Gunung Api Muda Betung (Qhvb) dan Formasi Lampung (QTI). Nilai  $V_{s30}$  pada daerah penelitian berkisar 49,61 - 777,80 m/s yang memiliki karakteristik Tipe batuan E (Tanah

Lunak) dan Tipe D (Tanah Sedang). Berdasarkan fokus penelitian di Kecamatan Kemiling memiliki potensi untuk menyebabkan penguatan gelombang seismik karena adanya perbedaan kontras pada nilai kecepatan gelombang geser  $V_s$  di lapisan bawah permukaan sebagai indikasi perbedaan karakteristik kekerasan jenis batuan bawah permukaan.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak terkait yang telah memberi dukungan terhadap penelitian ini. Semoga penelitian ini dapat dijadikan acuan atau referensi dalam pengolahan data selanjutnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Asten, M. W. (1978). Geological Control on The Three-Component Spectral of Rayleigh-Wave Microseisms. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 68(6), 1623-1636.
- Gutenberg, B. (1958). Caustics Produced by Waves Through The Earth's Core. *Geophysical Journal International*, 1(3), 238-248.
- Haerudin, N. F. (2019). *Mikroseismik, Mikrotremor dan Microearthquake Dalam Kebumihan*. Bandar Lampung: Pusaka Media.
- Hesti, H., Suharno, S., Mulyasari, R., & Hidayatika, A. (2021). Analisis Karakteristik Lapisan Sedimen Berdasarkan Data Mikrotremor Di Area Rumah Sakit Pendidikan Unila. *JGE (Jurnal Geofisika Eksplorasi)*, 7(2), 150-159. doi:<https://doi.org/10.23960/jge.v7i2.123>
- Kanai, K. (1983). *Engineering Seismology*. University Of Tokyo.
- Kennedy, J. & Eberhart, R. (1995). Particle Swarm Optimization. Washington, DC. *Purdue School of Engineering and Technology*.
- Mangga, S., Gafoer, & Sidarto. (1993). *Geological Maps Of The Tanjungkarang Quadrangle, Sumatera*. Bandung: Geological Research and Development Center.
- Mucciarelli, M. O. (2008). Assesment of Seismic Site Amplification and of Seismic Building Vulnerability in the Republic of Macedonia, Croatia and Slovenia. *The 14th World Conference on Earthquake Engineering October*, 12-17.

- Mulyatno, B. S. (2006). Analisis Geofisika Gempa Swarm Kemiling. Teknik Geofisika Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
- Nakamura, Y. (1989). A Method For Dynamic Characteristics Estimation Of Subsurface Using Microtremor On The Ground Surface. *Quarterly Report of RTRI*, 30(1), 25-33.
- Nakamura, Y. 1997. Seismic Vulnerability Indices for Ground and Structures using Microtremor. Worlds Congress on Railway Research: Florence.
- Nakamura, Y. (2000). Clear Identification of Fundamental Idea of Nakamura's Technique and Its Application. *System and Data Research Co. Ltd., 3-25- 3 Fujimidai, Kunitachi-Shi, Tokyo, Japan*, 1-8.
- NEHRP. (2000). Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures Part 2: Commentary. *National Earthquake Hazards Reduction Program: A research and implementation partnership*, 4.
- Nogoshi, M. & Igarashi, T. (1971). On The Amplitude Characteristics of Microtremor (Part 2)", *Zisin (Journal of the Seismological Society of Japan. 2nd ser.)*, 24(1), 26-40.
- Persada, Y., Ilham, I., Amaninida, H., Ariyanto, P., & Gustono, S. (2021). Pendugaan Awal Deposit Emas Wilayah Poboya, Palu Dengan Metode Inversi HVSR. *JGE (Jurnal Geofisika Eksplorasi)*, 7(1), 30-40. doi:<https://doi.org/10.23960/jge.v7i1.122>
- Rahayu, T. S., Utami, H. A., Muharoroh, E., Nuarini, D. A., & Rasimeng, S. (2016). *Analisis Resiko Gempa Bumi Di Daerah Bandar Lampung Berdasarkan Metode Horizontal To Vertical Spectrum Ratio (Hvsr) Mikrotremor*. Bandar Lampung: Ikatan Ahli Kebencanaan Indonesia (IABI).
- Refrizon, Hadi, A. I., Lestari, K., & Oktari, T. (2013). Analisis Percepatan Tanah Maksimum dan Tingkat Kerentanan Seismik Daerah Ratu Agung Kota Bengkulu. *Prosiding Semirata FMIPA, Universitas Lampung*, 25-27.
- SESAME (2004). *Guidelines For The Implementation Of The H/V Spectral Ratio Technique On Ambient Vibrations: Measurements, Processing And Interpretation*. Europe: SESAME European Research Project. Retrieved from <http://fp5.obs.ujf-grenoble.fr/index.htm>
- Setiawan, J. (2009). *Mikrozonasi Seismisitas Daerah Yogyakarta dan Sekitarnya*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Warnana (2011). Assessment to The Soil-Structure Resonance Using Microtremor Analysis On Pare-East Java, Indonesia. *Asian Tran. Eng.*, 1(4), 6-12.
- Wulandari, A., Suharno, S., & Rustadi, R. (2020). Pemetaan Mikrozonasi Daerah Rawan Gempabumi Menggunakan Metode HVSR Daerah Painan Sumatera Barat. *JGE (Jurnal Geofisika Eksplorasi)*, 4(1), 31-45. doi:<https://doi.org/10.23960/jge.v4i1.5>
- Yuliawati, W., Rasimeng, S., & Karyanto, K. (2020). Pengolahan Data Mikrotremor Berdasarkan Metode HVSR Dengan Menggunakan Matlab. *JGE (Jurnal Geofisika Eksplorasi)*, 5(1), 45-59. doi:<https://doi.org/10.23960/jge.v5i1.22>