



Identifikasi Potensi Gerak Tanah Berdasarkan Nilai Regangan Geser Tanah dengan metode HVSR di Kecamatan Teluk Betung, Kota Bandar Lampung

Kayila Shafira Putri Wicaksono^{1*}, Gebby Ingrid Cahya Sifa¹, Yudha Styawan¹, Rizki Wulandari¹

¹ Program Studi Teknik Geofisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sumatera Jl. Terusan Ryacudu, Way Huwi, Lampung Selatan, Lampung, 35365, Indonesia

* Kayila Shafira Putri Wicaksono. E-mail: kayilashfr@gmail.com

ABSTRAK

Studi ini bertujuan mengidentifikasi potensi gerak tanah berdasarkan nilai *Ground Shear Strain* (GSS) menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR) di Kecamatan Teluk Betung, Kota Bandar Lampung. Wilayah penelitian didominasi endapan aluvial dan sedimen vulkanik muda yang memengaruhi respons gelombang seismik. Data mikrotremor diperoleh dari 52 titik pengukuran dengan jarak antar titik sekitar 500 m untuk menentukan frekuensi dominan, faktor amplifikasi, dan Indeks Kerentanan Seismik (K_g). Selain itu, data gempa Lampung Barat tahun 1933 bermagnitudo 7,5 M_w dari United States Geological Survey (USGS) digunakan untuk menghitung nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA). *Ground Shear Strain* (GSS) merupakan parameter yang menggambarkan tingkat regangan geser yang dialami lapisan tanah akibat guncangan gempa bumi, untuk mengidentifikasi potensi deformasi tanah seperti retakan tanah, penurunan permukaan tanah, longsor, dan fenomena likuefaksi. Nilai GSS dihitung berdasarkan parameter K_g , PGA, dan kecepatan gelombang geser batuan dasar (V_b). Hasil penelitian menunjukkan nilai K_g berkisar 0–40, nilai PGA 47–107 gal dengan kategori risiko ringan, serta nilai GSS 0–0,65%. Penelitian ini mengintegrasikan parameter HVSR, PGA, dan GSS sebagai dasar identifikasi potensi deformasi permukaan, meskipun masih terbatas pada interpretasi data mikrotremor tanpa validasi pengeboran dan pengujian geoteknik lapangan.

INFO ARTIKEL

Sejarah Artikel:

Diserahkan

14 April 2026

Revisi pertama

1 Juni 2026

Diterima

9 Juni 2026

Tersedia secara online

19 Juni 2026

Tanggal Publikasi

19 Juni 2026

Kata Kunci:

Regangan Geser Tanah;
Percepatan tanah maksimum;
Indeks Kerentanan Seismik;
HVSR.

ABSTRACT

This study aims to identify the potential for ground movement based on Ground Shear Strain (GSS) values using the Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) method in Teluk Betung District, Bandar Lampung City. The study area is dominated by alluvial deposits and young volcanic sediments that affect the seismic wave response. Microtremor data were obtained from 52 measurement points with an inter-point distance of around 500 m to determine the dominant frequency, amplification factor, and Seismic Vulnerability Index (K_g). In addition, earthquake data from West Lampung in 1933 with a magnitude of 7.5 M_w from the United States Geological Survey (USGS) were used to calculate the Peak Ground Acceleration (PGA) values. Ground Shear Strain (GSS) is a parameter that describes the level of shear strain experienced by soil layers due to earthquake tremors, used to identify the potential for soil deformation such as soil cracking, land subsidence, landslides, and liquefaction phenomena. GSS values are calculated based on parameters K_g , PGA, and shear wave velocity of the bedrock (V_b). The results of the study show that the K_g values range from 0–40, the PGA values are 47–107 gal with a light risk category, and the GSS values are 0–0,65. This study integrates HVSr, PGA, and GSS parameters as a basis for identifying potential surface deformation, although it is still limited to microtremor data interpretation without validation from drilling and field geotechnical testing.

ARTICLE INFO

Article History:

Submitted

April 14, 2026

First Revised

June 1, 2026

Accepted

June 9, 2026

First Available online

June 19, 2026

Publication Date

June 19, 2026

Keyword:

Ground Shear Strain (GSS); Peak Ground Acceleration; Seismic Vulnerability Index; HVSr.

PENDAHULUAN

Indonesia adalah salah satu negara dengan potensi tinggi terjadinya gempa bumi yang dapat memicu pergerakan tanah akibat aktivitas seismik [1]. Hal ini dipengaruhi oleh aktivitas tektonik regional yang berkaitan dengan sistem tektonik Sumatera, sehingga memiliki kapasitas untuk mengalami guncangan tanah [2]. Secara fisiografis, daerah penelitian terletak pada Zona Barisan yang merupakan satuan morfologi perbukitan bergelombang dan dikontrol oleh struktur geologi regional. Keberadaan struktur patahan lokal seperti Sesar Menanga dan Sesar Lampung Panjang berpotensi memicu gempa dangkal dengan intensitas

guncangan yang cukup kuat di sekitarnya, sehingga meningkatkan bahaya seismik di wilayah tersebut [3].

Mitigasi terhadap bahaya gempa bumi dapat dilakukan dengan identifikasi karakteristik amplifikasi tanah melalui metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr). Metode HVSr digunakan untuk menganalisis karakteristik tanah dan amplifikasi gelombang seismik dengan membandingkan spektrum komponen horizontal terhadap komponen vertikal [4,5,6,7]. Hasil pengolahan HVSr yang dikombinasikan dengan hasil *Peak Ground Acceleration* (PGA) dan kecepatan gelombang geser batuan dasar (V_b) menghasilkan nilai *Ground Shear Strain*

(GSS) yang menampilkan respon dinamis tanah. Ground Shear Strain (GSS) merupakan parameter yang menggambarkan tingkat regangan geser yang dialami lapisan tanah akibat guncangan gempa bumi. Nilai GSS dapat digunakan untuk mengidentifikasi potensi deformasi tanah seperti retakan tanah, penurunan permukaan tanah, longsor, dan fenomena likuefaksi [8,9].

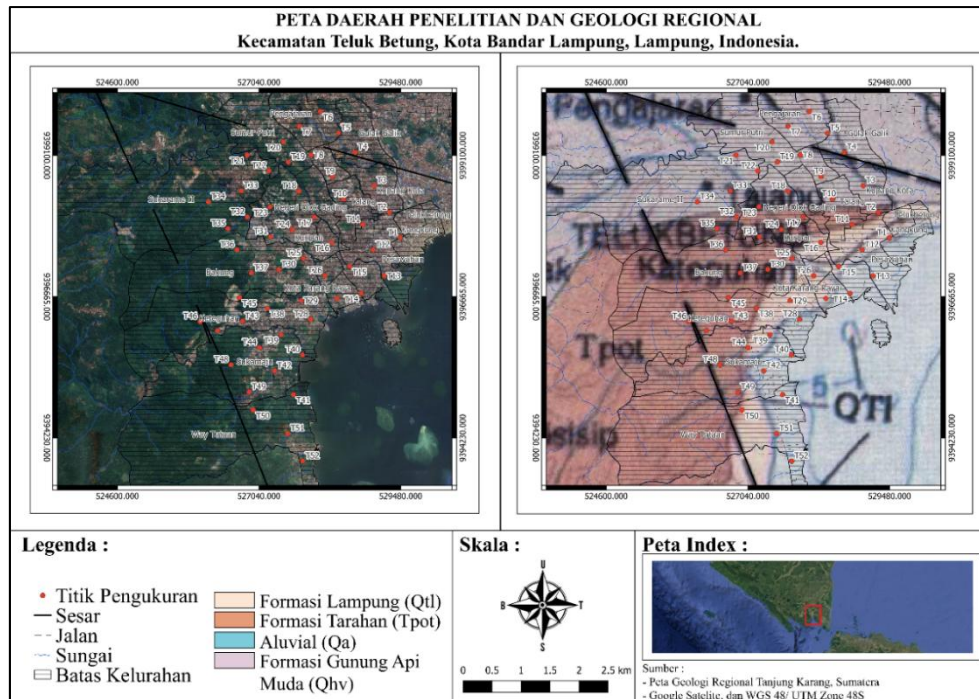
Beberapa penelitian terkait potensi gerakan tanah telah dilakukan sebelumnya menggunakan metode HVSR maupun analisis spasial. Mahli dkk. (2024) berhasil mengidentifikasi zona potensi likuifaksi di Kota Bandar Lampung berdasarkan data geologi, hidrogeologi, dan nilai v_{s30} menggunakan metode *fuzzy overlay*, dimana wilayah pesisir dengan endapan aluvial dan nilai v_{s30} rendah memiliki tingkat kerentanan lebih tinggi terhadap likuifaksi [10]. Selanjutnya, Ratte dkk. (2024) berhasil mengidentifikasi potensi gerakan tanah di Kecamatan Kadia, Kota Kendari berdasarkan nilai |GSS menggunakan metode HVSR, yang menunjukkan adanya potensi retakan dan penurunan tanah akibat dinamika tanah bersifat elasto-plastis saat terjadi gempabumi [11]. Penelitian lain oleh Ngganggu dkk. (2025) juga berhasil mengidentifikasi potensi gerakan tanah di daerah pesisir Kecamatan Moramo menggunakan metode HVSR berbasis data mikrotremor dan data gempabumi, dengan hasil berupa zona yang berpotensi

mengalami retakan, getaran, dan pergerakan tanah [12]. Namun, penelitian Mahli dkk. (2024) di Kota Bandar Lampung masih terbatas pada identifikasi potensi likuifaksi berbasis analisis spasial dan belum mengintegrasikan parameter karakteristik dinamik tanah, seperti frekuensi dominan, amplifikasi, K_g , PGA, dan GSS, dalam mengidentifikasi potensi deformasi permukaan akibat gempa bumi pada kawasan pesisir perkotaan.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan menganalisis potensi gerak tanah di Kecamatan Teluk Betung, Kota Bandar Lampung dengan metode HVSR. Hasil pengolahan data digunakan untuk mengidentifikasi potensi gerak tanah sebagai informasi awal dalam penataan ruang dan mitigasi bencana berbasis kondisi geologi lokal. Penelitian ini memiliki kebaruan dalam mengkaji karakteristik dinamik tanah berdasarkan parameter frekuensi dominan, amplifikasi, K_g , PGA, dan GSS untuk mengidentifikasi potensi gerak tanah di Kecamatan Teluk Betung, Kota Bandar Lampung.

Geologi Daerah Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan melalui survei lapangan yang menerapkan pengukuran gelombang mikrotremor secara langsung di wilayah kecamatan Teluk Betung, Kota Bandar Lampung, Provinsi Lampung. Secara geografis, wilayah penelitian terletak pada koordinat $5^{\circ}40'-5^{\circ}50'$ LS, dan $105^{\circ}20'-105^{\circ}30'$ BT.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian dan geologi regional Kecamatan Teluk Betung Selatan, Kota Bandar Lampung (dimodifikasi dari Mangga, 1993).

Berdasarkan Peta Geologi Lembar Tanjungkarang [13], Kecamatan Teluk Betung, Kota Bandar Lampung didominasi oleh satuan endapan aluvial (Qa) yang tersusun atas material lepas berupa pasir, lanau, dan lempung hasil proses pengendapan fluvial dan marin. Selain itu, terdapat pada Formasi Lampung (Qtl) yang umumnya terdiri atas tuf, breksi vulkanik, dan batuan piroklastik hasil aktivitas vulkanisme Kuartar. Di beberapa bagian wilayah dijumpai satuan Gunungapi Muda (Qhv) yang tersusun atas lava, breksi vulkanik, tuf, dan endapan piroklastik lainnya yang berasal dari aktivitas gunung api muda di sekitar wilayah Lampung. Keberadaan Formasi Tarahan (Tpot) yang tersusun atas batuan sedimen klastik seperti batupasir dan batulempung juga menunjukkan pengaruh lingkungan pengendapan laut dangkal hingga transisi

darat-laut pada masa Tersier. Secara stratigrafi, satuan-satuan ini menunjukkan bahwa wilayah penelitian mengalami evolusi geologi dari lingkungan vulkanik aktif menuju sistem pengendapan fluvial dan pesisir yang dinamis. Struktur geologi yang berkembang di sekitar daerah ini, seperti sesar-sesar lokal yang berasosiasi dengan Sesar Sumatera, turut mempengaruhi kondisi geoteknik tanah dan respons dinamik terhadap guncangan seismik [3,14]

METODE PENELITIAN

Pengumpulan dan Pengolahan Data

Data mikrotremor dikumpulkan pada 52 titik pengukuran di Kecamatan Teluk Betung, Kota Bandar Lampung dengan perangkat *Raspberry Shake 3D Outdoor* yang merekam tiga komponen gerakan tanah selama 40-60 menit per titik

dengan jarak antar titik sebesar 500 m (Gambar 1). Pemilihan jarak tersebut dilakukan untuk memperoleh distribusi data yang mampu merepresentasikan variasi kondisi geologi dan karakteristik lapisan tanah di wilayah penelitian. Penentuan jumlah serta jarak titik pengukuran juga mempertimbangkan luas wilayah penelitian, aksesibilitas lapangan, dan efektivitas waktu survei. Data mentah kemudian diolah dengan Geopsy, MATLAB 2013, dan Surfer 13 untuk menghasilkan parameter HVSR serta memetakan distribusi spasial. Validasi kualitas data dilakukan melalui proses *windowing*, pengecekan kestabilan sinyal, dan evaluasi kurva HVSR berdasarkan kriteria SESAME (2004) [15].

Tahapan awal pengolahan meliputi proses *windowing* untuk memotong sinyal yang kurang stabil, kemudian sinyal diubah dari domain waktu ke domain frekuensi dengan *Fast Fourier Transform* (FFT) melalui perangkat lunak Geopsy. Kurva HVSR dimanfaatkan untuk menentukan frekuensi dominan (f_0) dan faktor amplifikasi (A_0). Frekuensi resonansi

fundamental dan amplifikasi tanah adalah dua contoh karakteristik spesifik lokasi dari wilayah dekat permukaan yang dievaluasi menggunakan metode HVSR [16]. Berdasarkan parameter tersebut dilakukan perhitungan indeks kerentanan seismik (K_g) yang dihitung dengan persamaan (1).

$$K_g = \frac{A_0^2}{f_0} \quad (1)$$

Parameter K_g yang diperoleh digunakan untuk mengkarakterisasi respons tanah terhadap guncangan gempabumi.

v_{s30} merupakan indikator utama dari respons tanah yang secara umum memengaruhi besarnya amplifikasi getaran tanah akibat gempa bumi [17]. Adapun untuk menghitungnya nilai v_{s30} digunakan persamaan (2) sebagai berikut :

$$v_{s30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{v_{si}}} \quad (2)$$

Pada persamaan tersebut, h_i menyatakan ketebalan masing-masing lapisan tanah dalam satuan meter, sedangkan v_{si} menunjukkan hasil kecepatan gelombang geser pada tiap lapisan dalam satuan m/s^2 .



Gambar 2. Lokasi Gempa Liwa 1933 (M_w 7,5) terhadap daerah penelitian.

Selanjutnya, untuk memperoleh nilai Percepatan Puncak Tanah (PGA), digunakan data gempa yang terjadi di Kabupaten Lampung Barat pada tahun 1933 dengan koordinat episenter $5,183^{\circ}\text{LS}$ dan $104,630^{\circ}\text{BT}$, magnitudo $7,5 M_w$, serta kedalaman hiposenter sekitar 20 km berdasarkan data *United States Geological Survey* (USGS) [14]. Lokasi episenter gempa tersebut berada di wilayah Lampung Barat, sekitar 76 km dari daerah penelitian di Kecamatan Teluk Betung, Kota Bandar Lampung. Gempa tersebut dipilih karena merupakan gempa darat berkekuatan besar yang tercatat menyebabkan kerusakan signifikan di wilayah Lampung, sehingga dianggap mampu merepresentasikan skenario guncangan maksimum yang berpotensi mempengaruhi kondisi tanah di daerah penelitian. Selain itu, penggunaan data gempa dari wilayah penelitian secara langsung tidak dilakukan karena kejadian gempa lokal di Kecamatan Teluk Betung umumnya memiliki magnitudo relatif kecil dan tidak menimbulkan dampak kerusakan yang signifikan, sehingga kurang representatif untuk analisis potensi deformasi tanah dan perhitungan GSS. Riset ini mengacu pada model atenuasi gempabumi empiris yang dikembangkan oleh Zhao dkk., 2006 [18]. Model tersebut menghubungkan parameter sumber gempabumi, jarak perambatan gelombang, kedalaman fokus, mekanisme sumber, serta kondisi tanah terhadap amplitudo percepatan maksimum. PGA dihitung dengan persamaan atenuasi berbasis logaritmik yang dinyatakan pada persamaan (3) sebagai berikut :

$$\log_e(y_{i,j}) = 1,101M_{w,i} + (-0,00564)x_{i,j} - \log_e(r_{i,j}) + 0,01412(h - h_c)\delta_h + 0,251 + 0,000 + 2,607 + 0,528 \log_e(x_{i,j}) + C_k \quad (3)$$

dengan $y_{i,j}$ merupakan nilai PGA pada lokasi pengamatan, M_w adalah magnitudo momen gempabumi, dan $x_{i,j}$ adalah jarak sumber ke lokasi penelitian. Lalu Jarak efektif sumber gempa ($r_{i,j}$) dihitung dengan persamaan (4).

$$r_{i,j} = x_{i,j} + 0,0055 \exp(1,080M_{w,i}) \quad (4)$$

Persamaan tersebut digunakan untuk merepresentasikan pengaruh jarak dekat terhadap amplitudo gerakan tanah. Parameter kedalaman fokus gempa dimasukkan melalui komponen $(h - h_c)\delta_h$, Kondisi tanah lokasi penelitian direpresentasikan oleh parameter C_k yang disesuaikan dengan klasifikasi kelas berdasarkan karakteristik tanah.

Selain parameter utama tersebut, model atenuasi Zhao dkk. (2006) juga mempertimbangkan ketidakpastian prediksi melalui parameter error total (σ_T). Error total digunakan untuk menunjukkan tingkat penyimpangan hasil prediksi PGA terhadap kondisi aktual di lapangan akibat variasi karakteristik sumber gempa maupun kondisi lokal tanah yang tidak sepenuhnya dapat direpresentasikan oleh model empiris. Nilai error total dihitung menggunakan persamaan (5) sebagai berikut:

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2} \quad (5)$$

dengan σ merupakan *intra-event error* yang merepresentasikan variasi gerakan tanah pada satu kejadian gempa, sedangkan τ merupakan *inter-event error* yang menunjukkan variasi antar kejadian gempa yang berbeda.

Berdasarkan acuan dari model atenuasi standar internasional yang dikembangkan oleh Zhao dkk. (2006), nilai ketidakpastian total (σ_T) untuk parameter PGA adalah sebesar 0,723 dalam skala logaritma alami ($\log_e$). Rentang probabilitas getaran tanah aktual dihitung menggunakan persamaan eksponensial dari error total tersebut melalui persamaan (6).

$$PGA_{\text{aktual}} = PGA \times e^{\pm\sigma_T} \quad (6)$$

Persamaan tersebut diturunkan menjadi dua kondisi batas probabilitas, yaitu pada persamaan (7) dan (8).

Untuk Batas Atas (*Upper Bound* / $+1\sigma$):

$$PGA_{\text{max}} = PGA \times e^{+0.723} = PGA \times 2.06 \quad (7).$$

Sedangkan untuk Batas Bawah (*Lower Bound* / -1σ):

$$PGA_{\text{min}} = PGA \times e^{-0.723} = PGA \times 0.48 \quad (8).$$

GSS merupakan parameter yang menggambarkan kemampuan lapisan tanah untuk mengalami regangan dan pergeseran akibat pengaruh guncangan gempa bumi. Nilai K_g digunakan sebagai

parameter untuk memperkirakan tingkat respons dinamik tanah yang dipengaruhi oleh besarnya percepatan guncangan gempa bumi. Perhitungan estimasi nilai regangan geser (γ) dapat dilakukan dengan Persamaan (9) sebagai berikut [19].

$$\gamma = \frac{K_g a_g}{\pi^2 V_b} (9)$$

Berdasarkan persamaan di atas, diketahui bahwa γ mewakili regangan geser tanah, K_g mewakili indeks kerentanan seismik, a_g mewakili PGA pada batuan dasar dalam satuan gal ($1 \text{ gal} = 1 \text{ cm/s}^2 = 0,01 \text{ m/s}^2$ dan nilai gravitasi $1 \text{ g} \approx 980 \text{ gal}$), π^2 merupakan konstanta matematis ($\approx 9,87$), V_b merupakan kecepatan gelombang geser pada batuan dasar (m/s). Hubungan antara nilai regangan geser tanah dan sifat dinamis tanah yang digunakan dalam interpretasi penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hubungan antara regangan dengan sifat dinamis tanah [20]

Regangan geser (γ)	0.0001%	0.001%	0.01%	0.1%	1.0%	10.0%
Fenomena	Gelombang, Getaran		Retak, Penurunan Tanah		Longsor, Penurunan Tanah, Likuifaksi	
Sifat Dinamis	Elastis		Plastik Elastis		Keruntuhan	

Nilai GSS pada setiap titik pengukuran dipetakan menggunakan metode interpolasi kriging untuk memperoleh distribusi spasial potensi gerak tanah di Kecamatan Teluk Betung Selatan, Kota Bandar Lampung. Metode ini dipilih karena mampu memperkirakan nilai pada lokasi yang tidak terukur berdasarkan hubungan spasial antar titik pengamatan serta mempertimbangkan variabilitas data

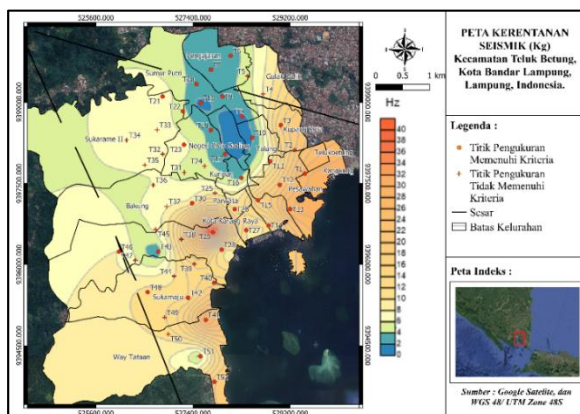
secara statistik. Selain interpolasi, pemetaan juga melibatkan ekstrapolasi terbatas pada area tepi wilayah penelitian. Ekstrapolasi merupakan estimasi suatu nilai variabel di luar rentang kumpulan data yang sudah diketahui. Oleh karena itu, Hasil estimasi tersebut digunakan untuk menyusun peta zonasi potensi gerak tanah sebagai informasi pendukung mitigasi bencana dan penataan ruang, dengan

catatan bahwa hasil ekstrapolasi masih memerlukan penelitian lebih lanjut.

Pada hasil kriging sangat dipengaruhi oleh jumlah, distribusi, dan kerapatan titik pengukuran. Pada area dengan sebaran data yang tidak merata, tingkat ketelitian estimasi dapat menurun dan kurang merepresentasikan kondisi geologi secara detail. Oleh karena itu, peta hasil estimasi pada penelitian ini digunakan sebagai gambaran umum distribusi kerentanan tanah di wilayah penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengolahan data pada penelitian ini menghasilkan distribusi spasial parameter dinamika tanah berupa K_g , PGA, GSS untuk mengidentifikasi potensi gerak tanah di Kecamatan Teluk Betung, Kota Bandar Lampung, Lampung, Indonesia. Distribusi nilai K_g , ditunjukkan pada Gambar 3.



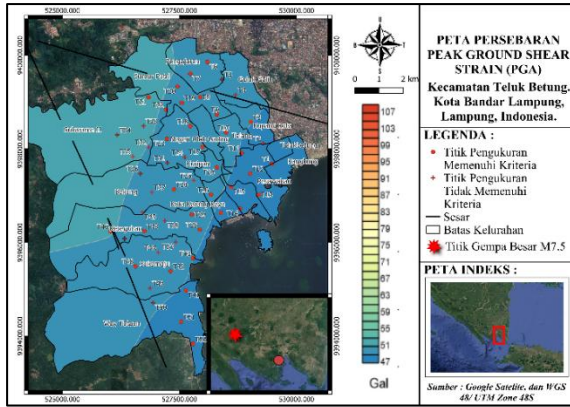
Gambar 3. Peta Kerentanan Seismik (K_g)

Pada Gambar 3, hasil kombinasi nilai K_g yang diperoleh dari parameter A_0 dan f_0 menunjukkan variasi dari rendah hingga tinggi di wilayah penelitian. Nilai $K_g < 3$ termasuk pada klasifikasi rendah, $3 \leq K_g < 6$ masuk kedalam klasifikasi sedang, dan $K_g > 6$ termasuk dalam klasifikasi yang tinggi [21]. Berdasarkan distribusi spasialnya batuan keras

dan kompak cenderung memiliki nilai amplifikasi yang rendah serta frekuensi dominan yang lebih tinggi sehingga menghasilkan nilai K_g yang kecil umumnya berada pada area yang didominasi material relatif kompak atau lapisan sedimen yang tipis, seperti pada Formasi Tarahan (Tpot). Sebaliknya, batuan atau sedimen yang lebih lunak memiliki kemampuan memperkuat gelombang seismik yang lebih besar dan frekuensi dominan yang lebih rendah, sehingga menghasilkan nilai K_g yang tinggi berada pada formasi aluvium (Qa) dan Formasi Lampung (Qtl).

Nilai K_g yang tinggi mencerminkan adanya kontras impedansi yang signifikan antara lapisan sedimen dan batuan dasar, yang menyebabkan peningkatan respons dinamik tanah terhadap guncangan gempa. Namun, tingkat respons dinamik tanah juga dipengaruhi oleh besarnya percepatan guncangan gempa bumi.

Pengolahan PGA pada batuan dasar dilakukan menggunakan persamaan atenuasi Zhao, dkk.(2006) dengan mempertimbangkan parameter Gempa Liwa Juni 1933 bermagnitudo 7,5. Perhitungan dilakukan berdasarkan dua variabel utama, yaitu magnitudo gempa dan jarak episentrum terhadap lokasi penelitian (Gambar 3). Nilai dengan rentan $PGA < 50$ gal termasuk kedalam tingkat resiko kecil, $50 \geq PGA < 125$ gal termasuk kedalam tingkat resiko sedang, $125 \geq PGA < 600$ gal masuk kedalam tingkat resiko besar, dan $PGA > 600$ gal tingkat resikonya sangat besar [22]. PGA batuan dasar yang diperoleh kemudian digunakan untuk menentukan PGA permukaan, yang selanjutnya dipetakan dan diklasifikasikan berdasarkan tingkat risiko [23,24,25].



Gambar 4. Peta Persebaran *Peak Ground Acceleration* (PGA).

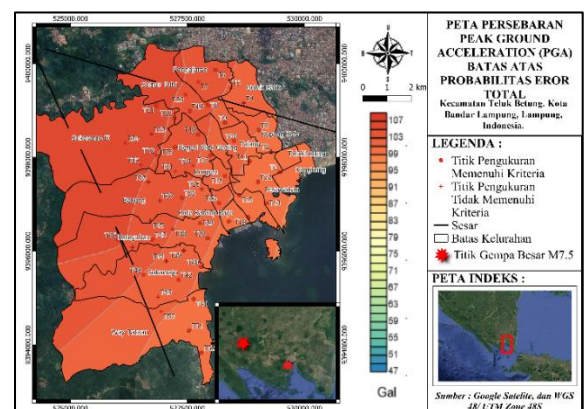
Hasil analisis pada Gambar 4 menunjukkan bahwa nilai PGA permukaan meningkat menjadi 98–107 gal setelah mempertimbangkan batas atas probabilitas eror total (σ_T) sebesar 0,723 pada model atenuasi Zhao dkk. (2006). Nilai *error total* (σ_T) bersifat konstan sehingga peningkatan PGA merepresentasikan kondisi guncangan maksimum yang masih mungkin terjadi akibat ketidakpastian model, baik yang berasal dari karakteristik sumber gempa maupun kondisi tanah lokal.

Berdasarkan peta sebaran PGA permukaan, seluruh wilayah penelitian termasuk dalam kategori risiko ringan atau tidak merusak. Meskipun terdapat variasi nilai secara spasial, perbedaannya relatif kecil sehingga tidak membentuk zonasi risiko yang berbeda secara jelas. Kondisi ini menunjukkan bahwa intensitas guncangan tanah akibat skenario Gempa tersebut cenderung terdistribusi merata di wilayah penelitian. Nilai PGA yang rendah menunjukkan tingkat percepatan tanah yang relatif kecil sehingga potensi kerusakan terhadap bangunan dan infrastruktur juga rendah. Rendahnya nilai PGA pada wilayah penelitian dipengaruhi

oleh jarak lokasi penelitian yang relatif jauh dari sumber gempa, sehingga energi gelombang seismik mengalami pelemahan selama proses perambatan menuju lokasi penelitian.

Meskipun nilai PGA relatif seragam, respons dinamik tanah pada setiap lokasi dapat berbeda akibat pengaruh kondisi geologi dan karakteristik sedimen permukaan. Untuk memastikan konsistensi hasil perhitungan tersebut, dilakukan analisis batas atas probabilitas *error total* (σ_T) sebesar 0,723 pada model atenuasi Zhao dkk. (2006) sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.

Meskipun nilai PGA meningkat, pola distribusi spasialnya tetap relatif homogen dan tidak menunjukkan perubahan zonasi yang signifikan dibandingkan hasil sebelumnya. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh ketidakpastian model lebih memengaruhi besarnya nilai PGA daripada pola persebarannya, sehingga hasil pemodelan dinilai cukup konsisten dalam merepresentasikan distribusi percepatan tanah di wilayah penelitian.

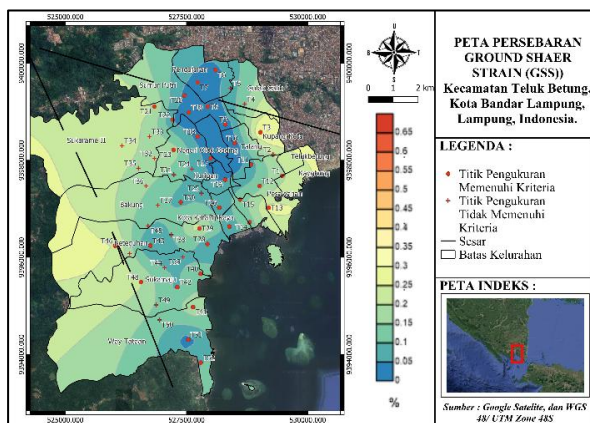


Gambar 5. Peta persebaran PGA batas atas probabilitas *error total* (σ_T).

Pada penelitian ini, analisis difokuskan pada batas atas probabilitas *error total* (*upper bound*) sebagai

pendekatan konservatif untuk menggambarkan kemungkinan guncangan maksimum. Sebaliknya, penggunaan batas bawah (*lower bound*) menghasilkan nilai PGA yang lebih kecil sehingga pengaruhnya terhadap respons dinamik tanah menjadi kurang signifikan.

Namun, tingkat kerentanan tanah terhadap guncangan gempa tidak hanya dipengaruhi oleh besarnya PGA, tetapi juga oleh karakteristik dinamik lapisan tanah yang direpresentasikan oleh K_g . Oleh karena itu, kedua parameter tersebut diintegrasikan untuk menghitung GSS sebagai indikator potensi deformasi atau gerak tanah akibat gempa bumi. Distribusi spasial nilai GSS pada wilayah penelitian ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Peta Potensi Gerak Tanah Berdasarkan Nilai *Ground Shear Strain* (GSS)

Berdasarkan peta potensi gerak tanah atau GSS, yang ditampilkan pada Gambar 5, zona dengan nilai 0–0,1% tersebar di Kelurahan Way Tataan, Bakung, Gedong Pakuon, Gunung Mas, Sumur Putri, Gulak Galik, Pengajaran, Talangan, Kuripan, Negeri Olok Gading, sebagian Kota Karang, dan sebagian Sukamaju. Zona ini umumnya berkaitan dengan satuan geologi yang

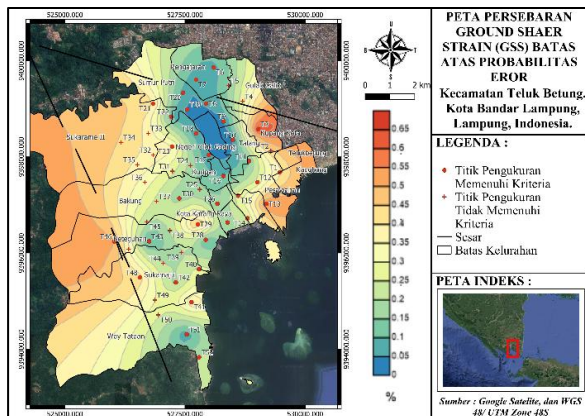
lebih kompak sehingga tanah masih menunjukkan perilaku elastis terhadap guncangan gempa dan deformasi yang terjadi relatif kecil.

Sementara itu, zona dengan nilai GSS 0,1–0,3% terkonsentrasi di Kelurahan Pesawahan, Kota Kupang, Teluk Betung, Gulak Galik, sebagian Kota Karang, serta sebagian Sukamaju dan Sukarame II. Wilayah ini didominasi oleh endapan Kuarter seperti aluvium (Qa) dan Formasi Lampung (Qtl) yang tersusun atas material lepas dan kurang terkonsolidasi. Kondisi tersebut menyebabkan amplifikasi gelombang seismik lebih tinggi sehingga tanah berpotensi mengalami retakan, amblesan lokal, dan pemadatan dinamis saat terjadi gempa. Pada rentang ini, tanah menunjukkan perilaku *elastis-plastis* sehingga sebagian deformasi dapat bersifat permanen.

Jika dibandingkan dengan penelitian di Kecamatan Kadia, Kendari, nilai GSS pada penelitian ini menunjukkan kecenderungan deformasi tanah yang lebih tinggi secara spasial, terutama pada zona tengah hingga utara wilayah penelitian. Penelitian di Kendari menunjukkan nilai GSS dominan orde 10^{-4} yang umumnya hanya menyebabkan retakan kecil dan penurunan tanah. Sementara itu, penelitian di wilayah pesisir Moramo menunjukkan bahwa sedimen pesisir dan aktivitas pemukiman dapat meningkatkan nilai GSS serta memicu retakan dan pergerakan tanah. Pola tersebut memiliki kemiripan dengan kondisi Teluk Betung, khususnya pada area pesisir dan zona sedimen lunak yang menunjukkan peningkatan regangan geser tanah. Selanjutnya, untuk melihat pengaruh

ketidakpastian model terhadap potensi deformasi tanah, dilakukan pemetaan distribusi GSS menggunakan nilai PGA batas atas probabilitas error total sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 7.

Berdasarkan hasil interpolasi pada Gambar 7, distribusi nilai GSS di wilayah penelitian berkisar antara 0–0,65%. Nilai GSS mengalami peningkatan dibandingkan hasil sebelumnya akibat kenaikan nilai PGA setelah mempertimbangkan faktor ketidakpastian model. Namun, pola distribusi spasialnya tetap relatif seragam dan tidak menunjukkan perubahan zonasi yang signifikan. Secara umum, wilayah bagian tengah hingga utara didominasi nilai GSS rendah, sedangkan wilayah barat, barat daya, dan beberapa daerah pesisir menunjukkan nilai GSS lebih tinggi.



Gambar 7. Peta Potensi Gerak Tanah Berdasarkan GSS dari batas atas probabilitas error total.

Daerah dengan nilai GSS relatif tinggi meliputi Sukarama II, Bakung, Keteguhan, Sukamaju, Way Tataan, serta wilayah pesisir seperti Kota Karang Raya dan Telukbetung. Tingginya nilai GSS menunjukkan lapisan tanah yang lebih lunak dan kurang kompak sehingga lebih mudah mengalami deformasi saat terjadi

gempa. Kondisi ini berkaitan dengan keberadaan sedimen aluvial dan endapan permukaan yang mampu mengamplifikasi gelombang seismik, serta pengaruh jalur sesar yang melemahkan struktur tanah.

Sebaliknya, wilayah Pengajaran, Negeri Olok Gading, Kuripan, dan Talang menunjukkan nilai GSS relatif rendah yang mengindikasikan kondisi tanah lebih padat dan stabil. Meskipun terjadi peningkatan nilai PGA akibat penerapan batas atas ketidakpastian model, nilai GSS yang diperoleh masih berada pada kategori rendah hingga sedang dan belum mencapai ambang $\geq 1\%$ yang umumnya berkaitan dengan likuifaksi atau keruntuhan tanah skala besar. Dengan demikian, wilayah penelitian lebih berpotensi mengalami deformasi lokal seperti retakan tanah dan penurunan permukaan dibandingkan likuifaksi signifikan.

Berdasarkan nilai GSS dari penelitian ini dapat memberikan informasi daerah yang lebih direkomendasikan untuk dilakukan pembangunan, yaitu kawasan yang memiliki nilai GSS yang lebih kecil, dan daerah yang memiliki nilai GSS yang lebih tinggi kurang direkomendasikan untuk dilakukan pembangunan.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, karakteristik dinamika tanah di Kecamatan Teluk Betung Selatan dipengaruhi oleh kondisi geologi lokal, terutama keberadaan sedimen permukaan yang relatif lunak dan tebal. Integrasi parameter indeks kerentanan seismik K_g , PGA, dan GSS menunjukkan bahwa beberapa wilayah memiliki respons dinamik tanah yang lebih

tinggi sehingga berpotensi mengalami deformasi permukaan lokal berupa retakan dan penurunan tanah saat terjadi gempa bumi. Meskipun demikian, nilai GSS yang diperoleh masih berada di bawah ambang terjadinya likuifaksi masif maupun longsor skala besar. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa metode HVSR yang dikombinasikan dengan parameter PGA dan GSS mampu memberikan gambaran awal mengenai potensi gerak tanah di kawasan pesisir perkotaan. Oleh karena itu, hasil zonasi yang diperoleh dapat dimanfaatkan sebagai informasi pendukung dalam mitigasi bencana dan penataan ruang berbasis kondisi geologi lokal. Penelitian lanjutan disarankan menggunakan data geoteknik, pengeboran, dan validasi lapangan untuk meningkatkan akurasi interpretasi potensi deformasi tanah di wilayah penelitian.

REFERENSI

- [1] Firdausa F. Prediksi dan analisis data gempa bumi di Provinsi Bengkulu dengan metode artificial neural network. *Cantilever*. 2020;8(2):45–9. doi:10.35139/cantilever.v8i2.5.
- [2] Irsyam M, dkk. Peta sumber dan bahaya gempa Indonesia tahun 2017. Bandung: Pusat Studi Gempa Nasional, Puslitbang Perumahan dan Permukiman, Balitbang, Kementerian PUPR; 2017.
- [3] Sieh K, Natawidjaja D. Neotectonics of the Sumatran fault, Indonesia. *J Geophys Res Solid Earth*. 2000;105(B12):28295–306. doi:10.1029/2000JB900120.
- [4] Nakamura. A method for dynamic characteristics estimation of using microtremor on the ground subsurface. *Railway Tech Res Inst*. 1989;30(1):25–33.
- [5] Nakamura. Clear identification of fundamental idea of Nakamura's technique and its applications. *Proc 12th World Conf Earthq Eng (12WCEE)*. 2000;1–8.
- [6] Nakamura Y, Takizawa T. Evaluation of liquefaction of surface ground using microtremor (in Japanese). *Proc 45th Annu Meet JSCE*. 1990
- [7] Ariyanto A, Farduwin A, Styawan Y, Putri IA, Junian WE, Prasetyo N, Rizki R, Wulandari R. Pemetaan kerentanan seismik melalui analisis mikrotremor HVSR di wilayah Kecamatan Kemiling dan sekitarnya. *J Geofis Eksplor*. 2024;10(2):82–99. doi:10.23960/jge.v10i2.393.
- [8] Farduwin A, Pinem JCDB, Styawan Y. Pemanfaatan metode HVSR untuk studi karakteristik tanah di Tanjung Kemala daerah Kabupaten Tanggamus. *J Geosaintek*. 2024;10(2):106–22. doi:10.12962/j25023659.v10i2.1619.

- [9] etiawati Y, Wibowo NB, Darmawan D. Analisis GSS (ground shear strain) dengan metode HVSR menggunakan data mikroseismik pada jalur sesar Opak. *J Ilmu Fisika Terapannya*. 2017;6(2):132–7. doi:10.21831/jifta.v6i2.6907.
- [10] Mahli RAK, Dewi SP, Manullang PBC, Utama HW, Mulyasari R. Identifikasi zona potensi likuifaksi di Kota Bandar Lampung berdasarkan analisis data spasial. *J Geofis Eksplor*. 2024;10(3):217–27. doi:10.23960/jge.v9i2.42.
- [11] Ratte KE, Manan A, Juarzan LI. Analisis ground shear strain HVSR untuk mengidentifikasi potensi gerakan tanah di Kecamatan Kadia, Kota Kendari. *J Rekayasa Geofisika Indones*. 2024;6(2):100–8. doi:10.56099/jrgi.v6i02.79.
- [12] Ngganggu YB, Juarzan LOI, Hamimu L, Indrawati. Identifikasi potensi gerakan tanah dengan analisis ground shear strain berdasarkan data mikrotremor dan data gempabumi menggunakan metode HVSR di daratan pesisir Kecamatan Moramo Kabupaten Konawe Selatan. *J Rekayasa Geofisika Indones*. 2025;7(1):47–58. doi:10.56099/jrgi.v7i01.39.
- [13] Mangga SA. Peta geologi lembar Tanjungkarang, Sumatera. Puslitbang Geologi; 1993.
- [14] United States Geological Survey. Search earthquake catalog. U.S. Department of the Interior. <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>. Diakses 2 Februari 2026.
- [15] SESAME European Research Project. Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations. European Commission – Research General Directorate; 2004.
- [16] Syamsuddin E, Wahyu Laode AM, Sofian S, et al. Assessing soil vulnerability in Petobo post-liquefaction using HVSR and ground shear strain (GSS). *J Degrad Min Lands Manag*. 2024;11(3):5805–15. doi:10.15243/jdmlm.2024.113.5805.
- [17] Lee CT, Tsai BR. Mapping Vs30 in Taiwan. *Terr Atmos Ocean Sci*. 2008;19(6):671–82. doi:10.3319/TAO.2008.19.6.671(PT).
- [18] Zhao JX, Zhang J, Asano A, Ohno Y, Oouchi T, Takahashi T, Ogawa H, Irikura K, Thio HK, Somerville PG, Fukushima Y, Fukushima Y. Attenuation relations of strong ground motion in Japan using site classification based on predominant

- period. Bull Seismol Soc Am. 2006;96(3):898–913.
doi:10.1785/0120050122.
- [19] Nakamura. Seismic vulnerability indices for ground and structures using microtremor. World Congr Railway Res. 1997;1–7.
- [20] Ishihara K. Soil behavior in earthquake geotechnics. Oxford University Press; 1996.
- [21] Refrizon, Hadi Al, Lestari K, Oktari T. Analisis percepatan getaran tanah maksimum dan tingkat kerentanan seismik daerah Ratu Agung Kota Bengkulu. Pros Semirata FMIPA Univ Lampung. 2013;323–8.
- [22] Fauzi, Masturyono, Sulaiman R, Nugroho S, Subardjo, Wandono, Adi R, Pasaribu R, Mardiyono R, Paritusta R, Guswanto, Yuliana RR, Muzli, Ikbil, Karyono R, Ariska, Gafur A. Aplikasi sistem informasi geografi untuk peta bencana alam di Indonesia. Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG/BMKG); 2005.
- [23] Fukushima Y, Tanaka T. A new attenuation relation for peak horizontal acceleration of strong earthquake ground motion in Japan. Bull Seismol Soc Am. 1990;80(4):757–83.
- [24] Hamida I, Sunardi B, Koesuma S. The Analysis of Peak Ground Acceleration at Bedrock And Surfaces in Brebes Regency. In Social, Humanities, and Educational Studies (SHES): Conference Series (Vol. 5, No. 4, pp. 271-280).
- [25] Mentari NF, Niyartama TF, Wibowo NB, Andi A. Analisis Zona Gerakan Tanah Menggunakan Metode Geolistrik Konfigurasi Wenner di Desa Gerbosari Kecamatan Samigaluh. Wahana Fisika.;9(1):34-46.