



Analisis Mikrozonasi Menggunakan Metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr) di Wilayah Sabah Balau, Tanjung Bintang, Lampung Selatan

Muhammad Ikhwan Habib Arifi¹, Purwaditya Nugraha², Alhada Farduwin³, Reyhan Putra Bagaskara⁴

^{1,2,3,4} Program Studi Teknik Geofisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sumatera, Jalan Terusan Ryacudu, Way Huwi, Kecamatan Jati Agung, Kabupaten Lampung Selatan, Provinsi Lampung

DOI: <https://doi.org/10.29303/Goescienceed.v6i4.1515>

Article Info

Received: 05 November 2025

Revised: 23 November 2025

Accepted: 30 November 2025

Correspondence:

muhammadikhwanhabibarifi@gmail.com

Abstract: Penelitian ini bertujuan untuk melakukan mikrozonasi seismik di wilayah Sabah Balau dan Tanjung Bintang, Lampung Selatan, dengan menganalisis parameter frekuensi natural (f_0), amplifikasi (A_0), indeks kerentanan seismik (K_g), dan kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 meter (V_{s30}) menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr) pada 36 titik pengukuran. Tujuan ini penting karena wilayah tersebut memiliki karakteristik geologi Kuartar yang didominasi oleh endapan piroklastik muda serta kedekatannya dengan terduga sesar aktif pada Lembar Geologi Tanjung Karang, sehingga berpotensi mengalami amplifikasi guncangan gempa yang signifikan. Hasil menunjukkan dominasi ketebalan sedimen sangat tebal (f_0 : 1,211–2,474 Hz), amplifikasi sedang hingga tinggi (3,105–8,844), dan indeks kerentanan tinggi (6,274–24,805), dengan nilai V_{s30} berkisar antara 160,270–591,905 m/s yang didominasi oleh karakteristik tanah sedang (175–350 m/s). Zonasi kerentanan menunjukkan 18 titik berada dalam zona tinggi, 7 titik dalam zona menengah, dan 7 titik lainnya dalam zona rendah. Proses inversi menggunakan algoritma genetika menghasilkan model bawah permukaan yang konsisten dengan data observasi, sehingga hasil mikrozonasi ini krusial untuk mendukung perencanaan pembangunan dan strategi mitigasi bencana gempa bumi di wilayah tersebut.

Keywords: Amplifikasi, HVSr, Indeks kerentanan seismik, Mikrozonasi seismik, V_{s30}

Citation: Arifi, M. I. H., Nugraha, P., Farduwin, A., & Bagaskara, R. P. (2025). Analisis Mikrozonasi Menggunakan Metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr) di Wilayah Sabah Balau, Tanjung Bintang, Lampung Selatan. *Jurnal Pendidikan Sains, Geologi, dan Geofisika (GeoScienceEd)*. 6(4), 2284–2295. doi: <https://doi.org/10.29303/Goescienceed.v6i4.1515>

Pendahuluan

Tahun 2025 berdasarkan *World Population Review* penduduk Indonesia menempati peringkat ke-4 dengan penduduk terbanyak didunia mencapai 285,7 juta jiwa yang tersebar di seluruh wilayah dari Pulau Sumatra hingga Pulau Papua. Tingginya kepadatan demografi dan jumlah penduduk yang banyak ini menjadi ancaman akan potensi bencana alam yang ada di Indonesia, terutama di wilayah-wilayah yang memiliki tingkat kerentanan geologis tinggi. Secara tektonik, Posisi Indonesia yang sebagian besar berada di batas pada pertemuan tiga lempeng besar dunia, seperti Lempeng Pasifik, Lempeng Eurasia, dan Lempeng Indo-Australia yang menjadikannya sangat

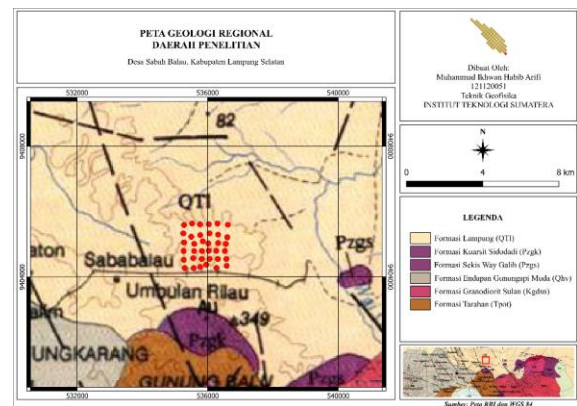
rentan terhadap gempa bumi dan aktivitas vulkanik (Hall, 2012). Zona subduksi yang terbentuk akibat pergerakan lempeng ini membentang hampir di seluruh pulau besar di Indonesia terkecuali Pulau Kalimantan. Akibatnya Indonesia menjadi bagian dari kawasan Cincin Api (*Ring of Fire*), yaitu jalur gunung api aktif yang terbentuk dari proses subduksi dan membentang mengelilingi Samudra Pasifik seperti sebuah cincin (Rijanta dkk, 2014).

Menurut Pusat Studi Gempa Nasional (PuSGeN, 2022), Indonesia berada dalam zona dengan intensitas guncangan gempa bumi yang sangat tinggi, sehingga berpotensi menimbulkan dampak luas terhadap keselamatan penduduk dan infrastruktur. Salah satu

Email: muhammadikhwanhabibarifi@gmail.com

wilayah dengan tingkat kerentanan seismik yang signifikan adalah Pulau Sumatra, yang dipengaruhi oleh keberadaan beberapa sumber gempa utama, seperti zona subduksi Mentawai dan Sesar Semangko. Zona subduksi Mentawai merupakan hasil interaksi antara Lempeng Indo-Australia dan Eurasia, membentuk segmen megathrust dengan akumulasi slip defisit yang tinggi dan potensi pelepasan energi besar. Fenomena ini tercermin dalam gempa Mentawai tahun 2010 (Mw 7,8) yang terjadi pada kedalaman <6 km dan memicu tsunami lokal dengan runup mencapai 6 meter (Hill dkk, 2012). Sesar Semangko, yang membentang sepanjang ± 1.900 km dari Aceh hingga Lampung, telah memicu sejumlah gempa merusak di segmen Lampung, seperti gempa Ranau 1903 (7,5 SR), Suoh 1933 (7,5 SR), Liwa 1994 (7 SR), dan Kotaagung 2021 (5,2 SR) (Sarkowi dkk, 2022). Selain itu, jalur Pegunungan Barisan yang memanjang di sepanjang pulau ini merupakan kawasan vulkanik aktif yang turut meningkatkan potensi bencana geologi. Kajian risiko oleh BNPB menunjukkan bahwa wilayah Kepulauan Mentawai memiliki tingkat risiko gempa dan tsunami yang sangat tinggi terhadap keselamatan penduduk dan infrastruktur (BNPB, 2010). Penelitian oleh Samodra dan Chandra (2013) juga mengungkapkan bahwa potensi gempa di Pulau Sumatra lebih besar dibandingkan dengan Pulau Jawa, dengan pusat gempa yang lebih dangkal dan intensitas guncangan yang lebih tinggi, yaitu dengan rasio 4:1. Perbedaan ini dipengaruhi oleh sudut subduksi yang lebih tumpul di Sumatra dibandingkan dengan Jawa.

Salah satu provinsi yang berada di jalur aktif gempa tersebut adalah Provinsi Lampung, yang secara geologis termasuk dalam zona rawan gempa bumi. Berdasarkan data dari USGS (2025), tercatat sebanyak 78 kejadian gempa bumi di wilayah ini antara tahun 2000 hingga 2023, dengan rata-rata magnitudo sebesar 4,8 dan kedalaman kurang dari 60 km, menunjukkan aktivitas seismik yang cukup intens. Salah satu wilayah yang perlu mendapat perhatian khusus adalah Desa Sabah Balau, yang dihuni oleh sekitar 6.508 jiwa per tahun 2022 (BPS Lampung Selatan, 2025) dan berlokasi hanya 1,5 kilometer dari titik penelitian terdekat ke arah terduga sesar yang teridentifikasi di Lembar Geologi Tanjung Karang. Oleh karena itu untuk penelitian menggunakan metode HVSR perlu dilakukan dengan mengamati parameter - parameternya seperti, f_0 , A_0 , K_g , dan V_{s30} akan dilakukan mikrozonasi untuk mengetahui tingkat kerawanan wilayah penelitian terhadap gempa bumi dan untuk mengetahui karakteristik tanah guna mendukung pembangunan yang aman di wilayah penelitian.



Gambar 1. Peta Geologi Regional Daerah Penelitian (Mangga dkk., 1994).

Pada Gambar 1. di atas merupakan Peta Geologi Regional Wilayah Sabah Balau, Tanjung Bintang, Lampung Selatan yang terletak pada Formasi Lampung. Formasi ini terbentuk pada Periode yang terdiri atas endapan piroklastik dan beragam jenis batuan piroklastik, antara lain tuf berbatuapung, tuf riolitik, tuf padu, tufit, batulempung tufan, serta batupasir tufan (Mangga dkk., 1994). Endapan piroklastik ini tersebar luas di wilayah Provinsi Lampung, khususnya di bagian selatan Pulau Sumatra. Endapan ini memiliki peran signifikan terhadap amplifikasi gelombang seismik, yang berkontribusi terhadap tingkat kerentanan suatu wilayah terhadap guncangan gempa bumi. Keberadaan litologi lunak ini diperkuat oleh hasil penelitian yang dilakukan oleh Ipmawan dkk. (2025) yang menunjukkan bahwa pada daerah Lampung bagian selatan terdapat ketebalan sedimen yang beragam. Selain itu pada daerah penelitian berdasarkan Lembar Geologi Tanjung Karang ditemukan adanya terduga sesar yang berjarak sekitar 1,5 km dari titik terdekat penelitian seperti yang terlihat pada Gambar 1.

Metodologi

1. Proses HVSR

Data yang digunakan adalah data yang berasal dari kegiatan akuisisi sebanyak 36 titik pengukuran di wilayah penelitian. Pengambilan data menggunakan seismometer *Raspberry Shake RS3D*, dilengkapi dengan GPS untuk penentuan posisi titik akurat. Setiap titik pengukuran dilakukan selama minimal 40 menit untuk memastikan kestabilan sinyal mikrotremor, dengan pertimbangan menghindari gangguan atau *noise* eksternal sesuai dengan rekomendasi dari SESAME (2004).

Pengolahan data dilakukan secara bertahap dengan bantuan perangkat lunak *HVSR.py*, yaitu paket Python yang dikembangkan oleh J.P. Vantassel dan tersedia secara terbuka melalui GitHub (Vantassel, 2025). *Fitering* sinyal digunakan untuk meloloskan sinyal pada frekuensi tertentu sebesar 0,5 Hz-25 Hz. Hal ini dimaksudkan agar sinyal yang difokuskan hanya berada pada rentang tersebut dikarenakan tabel acuan klasifikasi frekuensi natural dari Kanai (1983) berada pada rentang tersebut. Selanjutnya digunakan panjang jendela sebesar 60 detik sesuai dengan anjuran SESAME yang mengharuskan panjang jendela minimal sebesar 50. Setelah itu, sinyal akan memasuki proses FFT untuk mengubahnya dari domain waktu menjadi domain frekuensi. Kemudian sinyal akan memasuki proses penghalusan, proses ini dimaksudkan untuk membuat hasil dari FFT memiliki spektrum yang halus dan mudah dibaca. Dalam hal ini menggunakan acuan yang berasal dari Konno dan Ohmachi (1998) dengan *bandwith* 40 (Subakti & Haurissa, 2022).

Pengecekan kriteria dilakukan untuk menilai kelayakan hasil pengolahan yang digunakan dalam hal ini terdapat dua aspek penilaian yakni, aspek *clarity* dan *reliability*. Aspek *clarity* ditinjau menunjukkan tingkat kejelasan puncak kurva HVSR, sedangkan *reliability* mengacu pada konsistensi spektrum antar *window* data. Berdasarkan kriteria SESAME, data yang digunakan telah memenuhi keseluruhan aspek *reliability* sebanyak 3 poin dan aspek sebanyak 5 poin minimum *clarity* sesuai dengan acuan SESAME (2004).

Hasil yang diperoleh merupakan grafik yang menyajikan nilai frekuensi pada sumbu x, H/V pada sumbu y dan amplifikasi pada puncak tertinggi. Frekuensi natural menggambarkan ketebalan sedimen pada daerah penelitian sedangkan amplifikasi menggambarkan seberapa besar amplitudo gelombang seismik mengalami penguatan ketika melewati lapisan tanah lunak atau heterogen (Herak, 2008). Adapun secara matematis besaran ini digambarkan pada persamaan 1 dan persamaan 2 sebagai berikut:

$$f_0 = \frac{V_s}{4H} \dots\dots\dots(1)$$

$$A_0 = \frac{\rho_a V_a}{\rho_s v_s} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana:

- f_0 = Nilai frekuensi natural (Hz)
- V_s = Kecepatan gelombang S (m/s)
- H = Ketebalan lapisan (m)
- A_0 = Nilai amplifikasi

ρ_a = Densitas batuan dasar (Kg/m³)

V_a = Kecepatan rambat gelombang batuan dasar (m/s)

ρ_s = Densitas batuan lunak (Kg/m³)

v_s = Kecepatan rambat gelombang batuan lunak (m/s)

Selanjutnya nilai f_0 dan A_0 akan digunakan untuk menghitung nilai indeks kerentanan seismik (K_g), adapun persamaan yang digunakan tersaji pada persamaan 3 sebagai berikut:

$$K_g = \frac{(A_0)^2}{f_0} \dots\dots\dots(3)$$

2. Proses Inversi

Proses inversi digunakan untuk mendapatkan nilai kecepatan gelombang geser pada masing-masing lapisan, guna mengetahui karakteristik tanah berdasarkan nilai V_s -nya. Inversi yang digunakan merupakan inversi *Genetic Algorithm* (GA). GA adalah metode optimasi *heuristik* yang meniru prinsip seleksi alam (*natural selection*) dalam proses evolusi biologis. Algoritma ini memanfaatkan populasi solusi, bukan satu titik solusi seperti pada optimasi konvensional, untuk mencari solusi optimal dari masalah non-linear dan kompleks seperti inversi geofisika (Goldberg, 1989). Inversi ini dipilih dikarenakan GA mampu menghindari *local minima* di bandingkan *grid search*, tidak memerlukan turunan (*derivative-free*), dan cocok untuk sistem *non linear* dan *overparameterized*.

Dalam prosesnya data yang berisikan frekuensi dan amplifikasi hasil pengolahan sebelumnya dimasukkan kedalam proses inversi GA ini. Selanjutnya Model awal dalam inversi ini mengacu pada penelitian sebelumnya yang menggunakan metode HVSR untuk melakukan identifikasi karakteristik tanah di daerah Sukabumi, Bandar Lampung dengan inversi GA (Mirta dkk, 2024). Adapun beberapa parameter yang digunakan dalam proses inversi yakni, $V_{s,min}$, $V_{s,max}$, H_{min} , H_{max} , jumlah lapisan (5 lapisan yang digunakan), jumlah partikel, jumlah iterasi, V_s limit dan *Depth limit*. Adapun nilai yang digunakan dalam parameter ini disajikan dalam Tabel 1. di bawah dengan jumlah partikel sebanyak 2000 partikel, jumlah iterasi 30, batas bawah V_s limit sebesar 0, batas atas V_s limit sebesar 1500, batas bawah *Depth*

limit 0, dan batas atas *Depth limit* sebesar 200. Selanjutnya dilakukan perhitungan nilai V_{s30} atau kecepatan gelombang S dari kedalaman 0 - 30 meter untuk mengetahui karakteristik tanah dengan persamaan 4, sebagai berikut:

$$V_{s30} = \frac{\sum_{i=1}^m (t_i)}{\sum_{i=1}^m \left(\frac{t_i}{v_{s_i}}\right)} \dots\dots\dots(4)$$

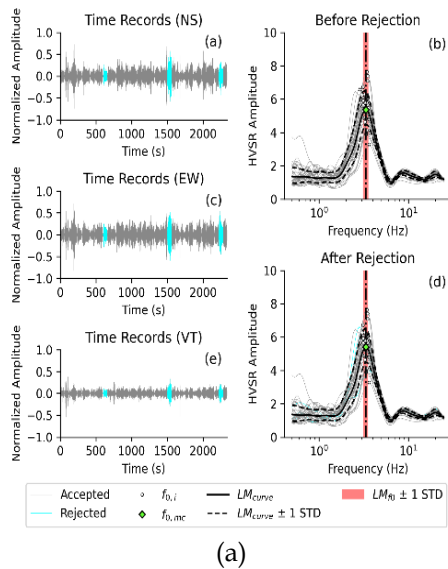
Dimana,

- V_{s30} : Kecepatan V_s hingga kedalaman 30
- i : Indeks perlapisan
- m : Jumlah lapisan hingga kedalaman 30 meter
- t_i : Ketebalan lapisan ke- i

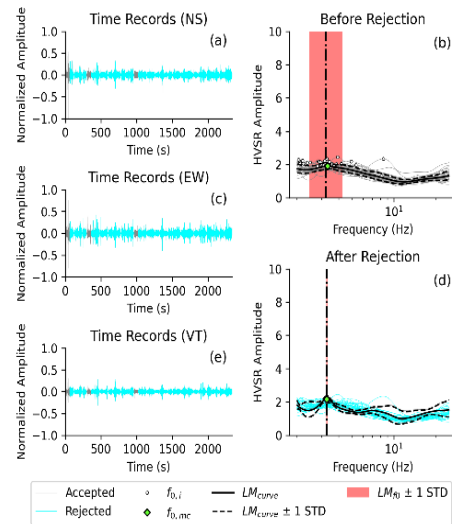
Tabel 1. Parameter yang digunakan dalam inversi

Lapisan	V_{s_min}	V_{s_max}	H_{min}	H_{max}
1	100	600	5	50
2	100	600	5	50
3	100	1000	5	50
4	500	1500	5	50
5	500	1500	5	50

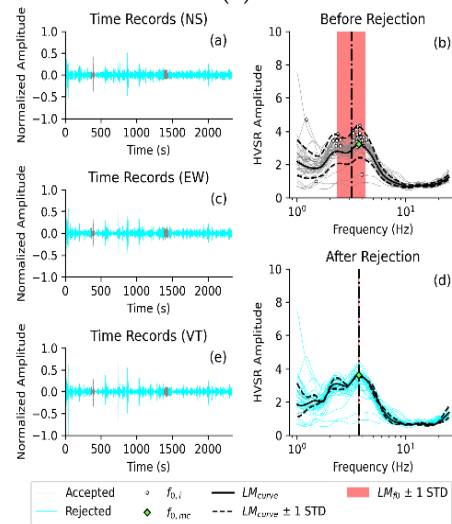
Hasil dan Diskusi



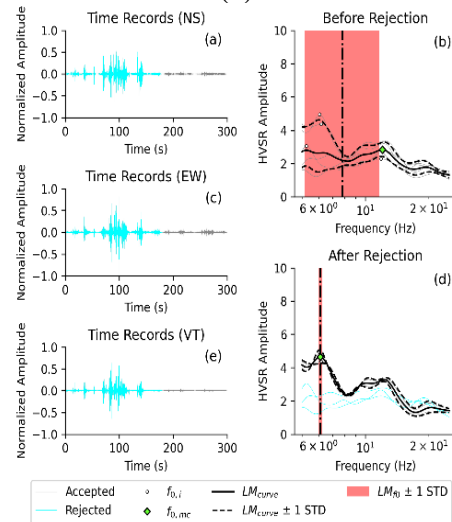
(a)



(b)



(c)

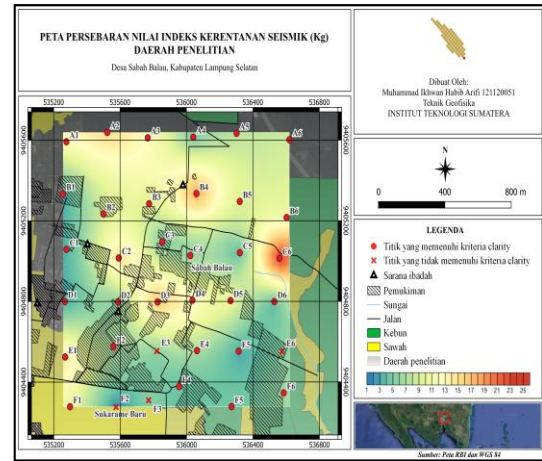


(d)

Gambar 2. Kurva *clear peak* (a), *broad peak* (b), *flat H/V curve* (c), dan *double peak* (d)

Hasil kurva pengolahan HVSR pada perangkat lunak kode *HVSR.py* yang terlihat pada Gambar 2. di atas. Kurva tersebut

memiliki 2 bagian, bagian atas merupakan bagian sebelum dilakukan *rejection* yaitu kurva yang dihasilkan masih mengandung *noise* karena masih menggunakan keseluruhan *window* dan bagian kedua yakni pada bagian bawah yang sudah dilakukan *rejection* yang berarti beberapa *noise* sudah dihilangkan. Hasil kurva HVSR yang diperoleh menunjukkan empat kategori utama, yaitu *clear peak*, *broad peak*, *flat H/V curve*, dan *double peak*. Pola *clear peak* mengindikasikan adanya perbedaan impedansi yang jelas pada kedalaman tertentu, sedangkan *double peak* menunjukkan variasi impedansi pada dua kedalaman berbeda, yaitu lapisan dangkal yang kurang padat dan lapisan lebih dalam yang lebih kompak. Sementara itu, *broad peak* mengarah pada kemungkinan adanya cekungan atau kemiringan pada lapisan batuan dasar, dan *flat H/V curve* menandakan tidak adanya kontras impedansi yang signifikan di wilayah tersebut. Klasifikasi ini merujuk pada pedoman interpretasi yang disusun oleh SESAME (2004).

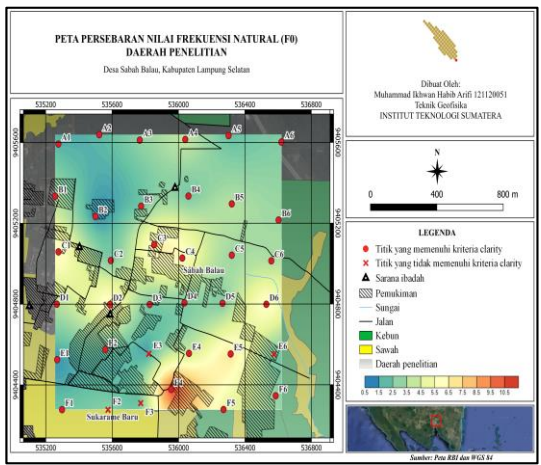


(c)

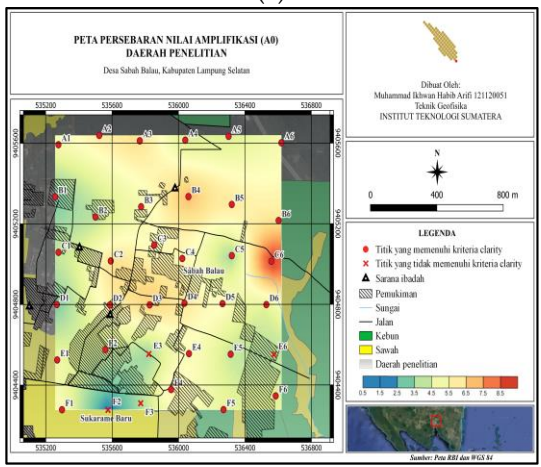
Gambar 3. Peta Distribusi dari f_0 (a), A_0 (b), dan K_g (c)

Amplifikasi atau faktor penguatan tanah merupakan peningkatan kekuatan gelombang saat melewati suatu medium yang ditinjau melalui perbedaan karakteristik antara *bedrock* dengan batuan lunak. Jenis klasifikasi yang digunakan berdasar pada Setiawan (2009). Secara keseluruhan nilai amplifikasi pada daerah penelitian yang ditunjukkan oleh Gambar 3(b). memiliki rentang dari 2,135 sampai dengan 8,844 dengan dominasi amplifikasi sedang kemudian diikuti oleh amplifikasi tinggi, dan amplifikasi rendah. Amplifikasi sedang memiliki rentang 3,105 sampai 5,730, amplifikasi tinggi dengan rentang 6,063 sampai dengan 8,844, dan amplifikasi rendah berada pada rentang 2,135 sampai dengan 2,617.

Indeks kerentanan seismik atau K_g merupakan besaran yang digunakan untuk menggambarkan kerentanan lapisan tanah terhadap deformasi ketika terjadinya gempa (Tanjung dkk., 2019), hal ini ditinjau dari perbandingan antara nilai amplifikasi kuadrat dengan nilai frekuensi naturalnya. Jika nilai K_g tinggi hal ini menandakan bahwa wilayah tersebut memiliki tingkat kerentanan yang tinggi dan sebaliknya. Berdasarkan klasifikasi dari Refrizon (2013) yang ditunjukkan oleh Gambar 3(c). daerah penelitian memiliki lebih dari 50% tempat atau 18 titik dari 32 titik pengukuran termasuk dalam kategori tinggi dengan rentang 6,274 sampai dengan 24,805 kemudian diikuti oleh 7 titik kategori menengah dengan rentang 4,490 sampai dengan 5,929 dan 7 titik kategori rendah dengan rentang nilai dari 1,390 sampai dengan 2,991. Berdasarkan ketiga parameter tersebut diketahui bahwa dominasi ketebalan yang sangat tebal dan amplifikasi yang sedang

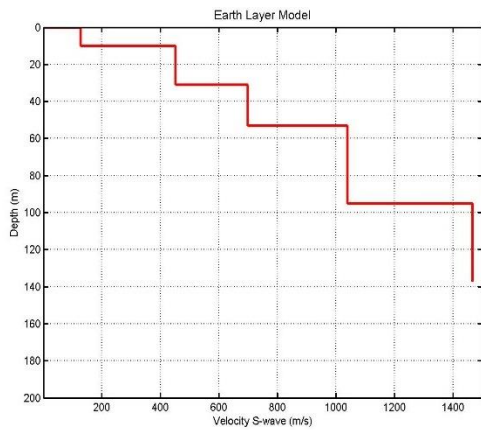


(a)

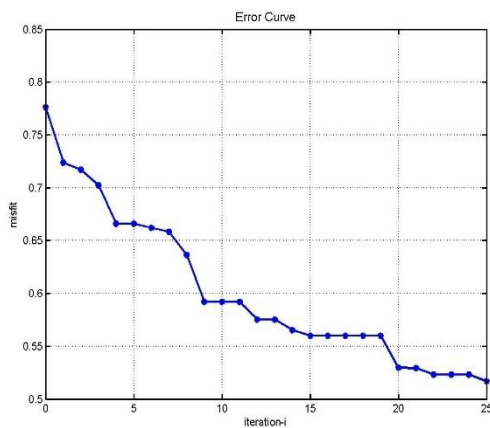


(b)

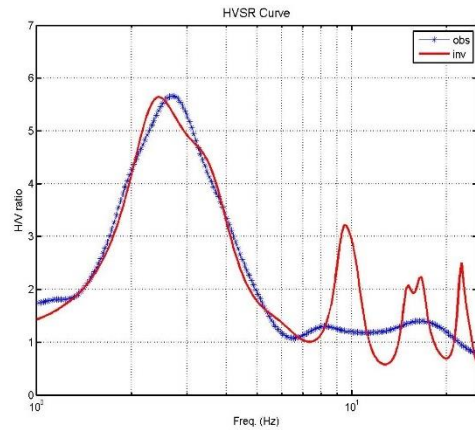
membuat daerah penelitian memiliki kerentanan tanah terhadap deformasi ketika terjadinya gempa menjadi tinggi. Hal ini juga sesuai dengan kondisi geologi yang masuk dalam umur Kuartar dan didominasi oleh batuan piroklastik yang merupakan umur termuda dalam skala waktu geologi, hal ini membuat lapisan tanah di wilayah tersebut belum terendapkan dengan baik sehingga membuat ketebalan sedimen menjadi tebal dan amplifikasi sedang yang berakhir pada tingkat kerentanan yang tinggi. Keberadaan patahan memungkinkan untuk membuat wilayah disekitar memiliki tingkat deformasi yang tinggi, sehingga penelitian lebih lanjut mengenai aktif tidaknya patahan tersebut perlu dilakukan untuk meninjau peran patahan pada tingkat deformasi di wilayah penelitian.



(a)



(b)

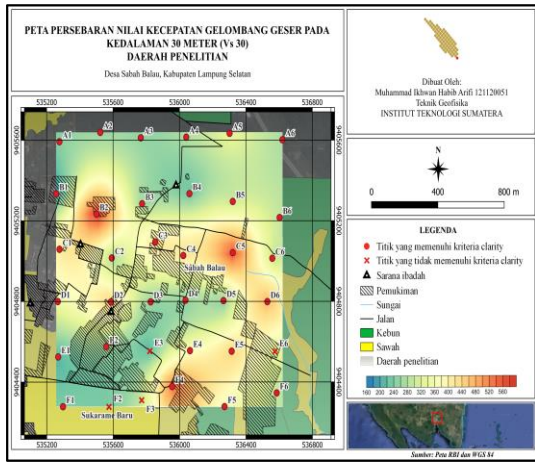


(c)

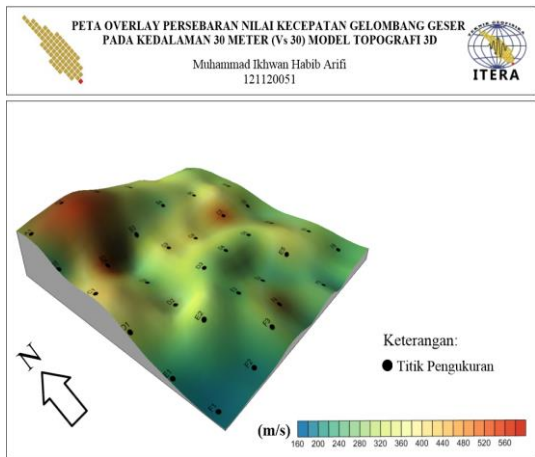
Gambar 4. Hasil Inversi Model Lapisan Bawah Permukaan (a), Kurva Error (b), dan Kecocokan Kurva Data Observasi dengan Data Kalkulasi (c)

Gambar 4. di atas merupakan gambar hasil salah satu inversi yang dilakukan pada titik A3. Gambar 4(a). merupakan hasil representasi lapisan bawah permukaan di titik A3 yang menggambarkan hubungan kedalaman dengan nilai kecepatan gelombang S diketahui bahwa estimasi kedalaman yang diperoleh pada titik tersebut menyentuh angka mendekati 140 meter dengan *trend* grafik yang meningkat seiring dengan bertambahnya kedalaman, hal ini sesuai bahwa kecenderungan lapisan semakin dalam akan semakin padat dan umurnya akan lebih tua. Gambar 4(b). merupakan kurva *error* yang menggambarkan hubungan antara nilai *RMS error* dan jumlah iterasi dalam proses inversi. Iterasi merupakan proses berulang yang bertujuan untuk menyempurnakan model atau solusi hingga memenuhi kriteria konvergensi, yaitu ketika nilai *error* yang tergambar dalam grafik telah mencapai kestabilan dan tidak mengalami perubahan signifikan. Berdasarkan hasil yang diperoleh, kurva *error* terhadap iterasi telah menunjukkan tanda-tanda konvergensi, sehingga dapat disimpulkan bahwa model yang dihasilkan sudah optimal dan yang terakhir pada Gambar 4(c). merupakan grafik kecocokan antara data observasi dengan data kalkulasi. Kurva berwarna merah merepresentasikan data kalkulasi, sedangkan kurva biru menunjukkan data observasi. Data observasi merupakan hasil pengukuran langsung di lapangan, dalam hal ini berupa nilai f_0 dan A_0 . Sementara itu, data kalkulasi diperoleh melalui proses pemodelan ke depan (*forward modeling*), yang dilakukan terlebih dahulu untuk menghasilkan data yang

akan digunakan dalam proses inversi. Berdasarkan kurva observasi dan kalkulasi terlihat antara keduanya sudah cukup *fit* satu sama lain.



(a)



(b)

Gambar 5. Peta Distribusi dari V_{s30} (a) dan V_{s30} dengan Topografi (b)

Gambar 5(a). merupakan Peta V_{s30} yang tergambar di daerah penelitian dengan dominasi oleh karakteristik tanah sedang, tanah keras dan batuan lunak, dan tanah lunak. Tanah dengan karakteristik sedang mendominasi 20 dari 32 titik daerah penelitian yang tersebar di seluruh cakupan area penelitian dengan rentang nilai 194,735 m/s sampai dengan 347,720 m/s, diikuti oleh karakteristik tanah keras dan batuan lunak dengan rentang nilai 362,478 m/s sampai dengan 591,905 m/s dan karakteristik tanah dengan nilai 160, 27 m/s pada titik B1.

Gambar 5(b). menunjukkan hasil integrasi data topografi terhadap Peta V_{s30} , yang bertujuan untuk mengkaji hubungan antara elevasi dan nilai V_{s30} di wilayah penelitian. Elevasi di lokasi tersebut berkisar antara 60

hingga 220 meter. Titik tertinggi berada di lokasi A2, yang memiliki ketebalan sedimen sangat tebal, amplifikasi sedang, dan karakteristik tanah sedang. Titik elevasi tinggi lainnya berada di antara titik C1 dan D1, dengan ketebalan sedimen sedang hingga menengah, amplifikasi rendah hingga sedang, serta karakteristik tanah berupa batuan lunak dan tanah sedang, dan tanah keras.

Sementara itu, titik terendah berada di lokasi B2, yang justru memiliki ketebalan sedimen sangat tebal, amplifikasi sedang, dan karakteristik tanah berupa batuan lunak dan tanah keras. Temuan ini menunjukkan bahwa hubungan antara elevasi dan nilai V_{s30} tidak selalu bersifat linier. Hal ini disebabkan oleh kondisi geologi lokal, di mana wilayah penelitian yang mencakup area permukiman dan perkebunan secara umum diasumsikan memiliki nilai V_{s30} tinggi apabila tanahnya padat, topografinya rendah, dan ketebalan sedimen sangat tipis. Namun, asumsi tersebut tidak sepenuhnya berlaku di wilayah ini yang tersusun atas satuan batuan berumur Kuartar. Pada satuan ini, endapan permukaan cenderung masih muda dan belum mengalami proses pemadatan secara signifikan, sehingga meskipun berada pada topografi rendah, nilai V_{s30} tetap dapat rendah akibat ketebalan sedimen yang besar dan karakteristik tanah yang lunak.

Berdasarkan hasil mikrozonasi yang diperoleh dari analisis parameter frekuensi natural (f_0), amplifikasi (A_0), indeks kerentanan seismik (K_g), dan kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 meter (V_{s30}), wilayah Sabah Balau dan Tanjung Bintang dapat diklasifikasikan ke dalam tiga zona kerentanan seismik utama. Zona dengan tingkat kerentanan tinggi ditandai oleh ketebalan sedimen yang sangat tebal (f_0 rendah antara 1,211–2,474 Hz), amplifikasi sedang hingga tinggi (3,105–8,844), dan nilai K_g yang tinggi (6,274–24,805), serta nilai V_{s30} yang rendah hingga sedang (150–340 m/s). Zona ini mencakup titik-titik A1, A2, A3, A5, A6, B2, B3, B4, B5, B6, C2, C6, D3, D4, D5, E1, E2, dan F1, yang direkomendasikan untuk mendapat perhatian khusus dalam perencanaan struktur bangunan tahan gempa, terutama dengan fondasi yang diperkuat dan evaluasi geoteknik mendalam.

Zona kerentanan menengah memiliki karakteristik ketebalan sedimen tebal hingga menengah (f_0 antara 2,682–6,22 Hz), amplifikasi sedang, dan nilai K_g antara 4,490–

5,929, dengan nilai V_{s30} sedang hingga tinggi (340–440 m/s). Titik-titik seperti A4, C3, C4, D2, E4, F5, dan F6 termasuk dalam kategori ini, dan direkomendasikan untuk pembangunan dengan standar struktur menengah serta tetap memperhatikan aspek mitigasi gempa. Sementara itu, zona kerentanan rendah yang relatif aman ditandai oleh ketebalan sedimen menengah hingga sangat tipis, amplifikasi rendah hingga sedang, dan nilai K_g rendah (1,390–2,991), dengan nilai V_{s30} masuk dalam kategori tanah keras dan batuan lunak atau nilai $V_{s30} > 340$ m/s. Titik-titik seperti B1, C1, C5, D1, D6, E5, dan F4 berada dalam zona ini dan cocok untuk pembangunan infrastruktur ringan hingga menengah, meskipun tetap disarankan dilakukan kajian lokal sebelum konstruksi besar. Secara keseluruhan, hasil mikrozonasi ini menunjukkan bahwa sebagian besar wilayah penelitian memiliki tingkat kerentanan seismik yang tinggi, sehingga sangat penting untuk menjadikan temuan ini sebagai dasar dalam perencanaan tata ruang, desain bangunan, dan strategi mitigasi bencana gempa bumi.

Tabel 2. Hasil Nilai dan Klasifikasi dari f_0 , A_0 , K_g , dan V_{s30}

Titik	f_0 (Hz)	A_0	K_g	V_{s30} (m/s)	Kategori Ketebalan Sedimen	Kategori Amplifikasi	Kategori Tingkat Kerentan	Karakteristik Tanah
A1	1.761	4.530	11.649	239.159	Sangat Tebal	Sedang	Tinggi	Tanah Sedang
A2	1.879	5.333	15.135	247.098	Sangat Tebal	Sedang	Tinggi	Tanah Sedang
A3	2.682	5.662	11.953	244.946	Tebal	Sedang	Tinggi	Tanah Sedang
A4	3.707	3.597	3.490	267.848	Tebal	Sedang	Sedang	Tanah Sedang
A5	1.973	3.631	6.685	329.279	Sangat Tebal	Sedang	Tinggi	Tanah Keras dan Batuan Lunak
A6	2.474	4.406	7.846	262.103	Sangat Tebal	Rendah	Tinggi	Tanah Sedang
B1	3.281	2.161	1.424	160.270	Tebal	Sedang	Rendah	Tanah Lunak
B2	1.211	3.105	7.961	591.905	Sangat Tebal	Sedang	Tinggi	Tanah Keras dan Batuan Lunak
B3	2.184	4.339	8.619	248.598	Sangat Tebal	Tinggi	Tinggi	Tanah Sedang
B4	2.228	6.472	18.803	214.558	Sangat Tebal	Sedang	Tinggi	Tanah Sedang
B5	3.366	5.393	8.641	291.035	Tebal	Sedang	Tinggi	Tanah Sedang
B6	2.956	5.397	9.856	285.516	Tebal	Sedang	Tinggi	Tanah Sedang
C1	5.831	3.384	1.964	404.569	Menengah	Sedang	Rendah	Tanah Keras dan Batuan Lunak
C2	2.139	5.730	15.354	248.681	Sangat Tebal	Sedang	Tinggi	Tanah Sedang
C3	6.120	4.647	3.528	420,571	Menengah	Sedang	Sedang	Tanah Keras dan Batuan Lunak
C4	5.645	5.017	4.459	413.113	Menengah	Sedang	Sedang	Tanah Keras dan Batuan Lunak
C5	2.862	2.617	2.394	560.749	Tebal	Rendah	Rendah	Tanah Keras dan Batuan Lunak
C6	3.153	8.844	24.805	285.509	Tebal	Tinggi	Tinggi	Tanah Sedang

D1	3.281	2.135	1.390	340.407	Tebal	Rendah	Rendah	Tanah Sedang
D2	6.022	5.132	4.374	443.016	Menengah	Sedang	Sedang	Tanah Keras dan Batuan Lunak
D3	2.174	6.063	16.913	243.015	Sangat Tebal	Tinggi	Tinggi	Tanah Sedang
D4	2.357	5.473	12.710	238.713	Sangat Tebal	Sedang	Tinggi	Tanah Sedang
D5	2.357	4.837	9.929	230.928	Sangat Tebal	Sedang	Tinggi	Tanah Sedang
D6	5.808	3.837	2.535	468.479	Menengah	Sedang	Rendah	Tanah Keras dan Batuan Lunak
E1	1.275	4.259	14.230	194.735	Sangat Tebal	Sedang	Tinggi	Tanah Sedang
E2	2.071	3.604	6.274	258.674	Sangat Tebal	Sedang	Tinggi	Tanah Sedang
E4	3.707	4.688	5.929	362.478	Tebal	Sedang	Menengah	Tanah Keras dan Batuan Lunak
E5	6.220	3.320	1.773	433.444	Menengah	Sedang	Rendah	Tanah Keras dan Batuan Lunak
F1	2.209	4.678	9.907	233.156	Sangat Tebal	Sedang	Tinggi	Tanah Sedang
F4	9.627	5.366	2.991	536.503	Sangat Tipis	Sedang	Rendah	Tanah Keras dan Batuan Lunak
F5	4.501	3.978	3.516	347.720	Menengah	Sedang	Menengah	Tanah Sedang
F6	2.771	3.878	5.428	281.320	Tebal	Sedang	Menengah	Tanah Sedang

Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa sebagian besar wilayah Sabah Balau dan Tanjung Bintang memiliki tingkat kerentanan seismik yang tinggi. Hal ini ditunjukkan oleh dominasi ketebalan sedimen yang sangat tebal dengan nilai frekuensi natural (f_0) rendah, amplifikasi (A_0) sedang hingga tinggi, serta indeks kerentanan seismik (K_g) yang tinggi. Karakteristik tanah di wilayah ini didominasi oleh tanah sedang dengan nilai V_{s30} rendah hingga sedang, yang mengindikasikan potensi deformasi signifikan saat terjadi gempa. Berdasarkan hasil mikrozonasi, wilayah penelitian terbagi menjadi tiga zona kerentanan, yaitu zona tinggi (18 titik) yang direkomendasikan untuk pembangunan dengan fondasi dalam dan struktur tahan gempa, zona menengah (7 titik) yang cocok untuk bangunan standar dengan penerapan mitigasi gempa, dan zona rendah (7 titik) yang relatif aman untuk pembangunan ringan hingga menengah namun tetap memerlukan kajian lokal. Hubungan antara elevasi dan V_{s30} tidak bersifat linier karena dipengaruhi oleh ketebalan sedimen dan litologi Kuartar. Oleh karena itu, hasil mikrozonasi ini penting sebagai dasar dalam perencanaan tata ruang, desain bangunan, dan strategi mitigasi bencana gempa bumi, serta perlu didukung oleh kajian lanjutan terhadap aktivitas sesar lokal.

Referensi

- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. (2010). *Rencana Aksi Rehabilitasi dan Rekonstruksi Pascabencana, serta Percepatan Pembangunan Wilayah Kepulauan Mentawai, Provinsi Sumatera Barat Tahun 2011–2013*. BNPB. Diakses dari [\[https://bnpb.go.id/storage/app/media/uploads/migration/pubs/367.pdf\]](https://bnpb.go.id/storage/app/media/uploads/migration/pubs/367.pdf)
- BPS Lampung Selatan. (2025). Jumlah Penduduk Berdasarkan Jenis Kelamin Menurut Desa/Kelurahan di Kecamatan Tanjung Bintang (Jiwa), 2022. Diperoleh dari <https://lampungselatankab.bps.go.id/id/statistics-table/2/MTE4MyMy/jumlah-penduduk-berdasarkan-jenis-kelamin-menurut-desa-kelurahan-di-kecamatan-tanjung-bintang.html>
- Goldberg, D. E. (1989). *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*. Addison-Wesley.
- Hall, R. (2012). Late Jurassic–Cenozoic reconstructions of the Indonesian region and the Indian Ocean. *Tectonophysics*, Volumes 570–571, 1–41.
- Hill, E. M., Borrero, J. C., Huang, Z., Qiu, Q., Banerjee, P., Natawidjaja, D. H., Elosegui, P., Fritz, H. M., Suwargadi, B. W., Pranantyo, I. R., Li, L., Macpherson, K. A., Skanavis, V., Synolakis, C. E., & Sieh, K. (2012). The 2010 Mw 7.8 Mentawai earthquake: Very shallow source of a rare tsunami earthquake determined from tsunami field survey and near-field GPS data. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 117(B6), B06402. <https://doi.org/10.1029/2012JB009159>
- Ipmawan, V. L., Prastowo, R., Iqbal, M., Prasetiowati, I. N., & Herman, S. (2025). Effect of Azimuthal variability in Estimation of HVSR Parameters and Ground Shear Strain at Kota baru, South Lampung, Indonesia. *journal of Science and Applicative Technology*, 1-12.
- Kanai, K. (1983). *Engineering Seismology*. Tokyo: University of Tokyo Press.
- Konno, K., & Ohmachi, T. (1998). Ground-Motion Characteristics Estimated from Spectral Ratio between Horizontal and Vertical Components of Microtremor. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 228-241.
- Mangga, A. S., Amiruddin, Suwarti, T., Gafoer, S., Tobing, Sidarto, & Andra, A. (1994). *Geologi Lembar Tanjung Karang, Sumatera*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Mirta, G. A., Farduwin, A., & Styawan, Y. (2024). Identifikasi Karakteristik Tanah Menggunakan Metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR) di Daerah Sukabumi, Bandar Lampung. *Jurnal Teknik Kebumihan*, 1-11.
- Refrizon, Hadi, I. A., Lestari, K., & Oktari, T. (2013). Analisis Percepatan Getaran Tanah Maksimum dan Tingkat Kerentanan Seismik Daerah Ratu Agung Kota Bengkulu. *Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung*, 323-328.
- Rijanta, R; Hizbaron, Baiquni, M. (2014). *Modal Sosial dalam Manajemen Bencana*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Samodra and Chandra, "Karakteristik Gempabumi di Sumatra dan Jawa Periode Tahun 1950 - 2013," in *Prosiding Seminar Nasional Kebumihan Ke-6 Teknik Geologi Universitas Gadjah Mada*, Yogyakarta, 2013.
- Sarkowi, M., Wibowo, R. C., & Yogi, I. B. S. (2022). Potensi gempabumi di sepanjang Sesar Semangko segmen Lampung. *Jurnal*

- Teknologi dan Inovasi Industri, 3(2), 27-33.
<https://doi.org/10.31284/jtii.v3i2>.
- SESAME. (2004). Site Effects Assessment Using Ambient Excitations. Europe: European Commission. Research General Directorate.
- Setiawan, J. H. (2009). Mikrozonasi Seismisitas Daerah Yogyakarta dan Sekitarnya. Multitek Indonesia, Jurnal Ilmiah, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Subakti, H., & Haurissa, A. (2022). Studi Mikrotremor di Wilayah Kerusakan Akibat Gempa bumi Ambon 26 September 2019 menggunakan Metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (Hvsr). Jurnal Geofisika, 29-49.
- Tanjung, N. A., Yuniarto, H. P., & Widyawarman, D. (2019). Analisis Amplifikasi dan Indeks Kerentanan seismik di Kawasan FMIPA UGM Menggunakan Metode HVSR. Jurnal Geosaintek, 60-67.
- USGS. (2025). Diperoleh dari <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>
- Vantassel, J.P. (2025). hvsrpy: A Python package for Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio Processing [Software]. GitHub. <https://github.com/jpvantassel/hvsrpy>
- Widiyantoro, S., Irsyam, M., Faizal, L., Prakoso, W., Imran, I., Nazir, r., . . . Asrurufak. (2022). Peta Degradasi Bahaya Gempa Indonesia untuk Perencanaan dan Evaluasi Infrastruktur Tahan Gempa. Jakarta: Pusat Studi Gempa Nasional (PUSGEN) - Direktorat Bina Teknik Permukiman dan Perumahan - Kementerian PUPR.
- World Population Review. (2025). Indonesia Cities by Population 2025. Diperoleh dari <https://worldpopulationreview.com/countries/indonesia>.