

Analisis Dinamika Tanah Kotaagung Menggunakan HVSRR untuk Estimasi Peak Ground Acceleration

Erwinda Fenty Anggraeni^{1*}, Joni Arif²

^{1,2}Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pamulang, Serang, Indonesia

Email: ¹dosen10017@unpam.ac.id

Abstrak Wilayah Provinsi Lampung, khususnya Kotaagung, merupakan daerah dengan aktivitas tektonik tinggi karena kedekatannya dengan zona subduksi antara Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia. Kondisi ini menempatkan Kotaagung sebagai kawasan yang memiliki potensi kegempaan signifikan sehingga diperlukan kajian mendalam terkait bahaya seismik sebagai dasar mitigasi risiko bencana. Salah satu parameter utama dalam evaluasi bahaya gempa adalah Peak Ground Acceleration (PGA), yang menggambarkan percepatan tanah maksimum akibat guncangan dan menjadi acuan dalam perencanaan bangunan tahan gempa serta penyusunan zonasi seismik. Penelitian ini mengestimasi nilai PGA di Kotaagung dengan memanfaatkan metode Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio (HVSRR) berbasis data mikrotremor. Sebanyak 78 titik pengukuran direkam menggunakan sensor tunggal dengan durasi 20–30 menit dan frekuensi sampling 100 Hz. Data tiga komponen getaran tanah kemudian dianalisis untuk memperoleh kurva HVSRR, yang selanjutnya digunakan untuk menentukan frekuensi dominan (f_0), periode dominan (T_g), dan nilai PGA menggunakan rumus empiris Kanai. Hasil penelitian menunjukkan bahwa periode dominan tanah di Kotaagung berada pada rentang 0,09–2,92 s, sedangkan nilai PGA permukaan berkisar antara 155 hingga 1033 gal. Berdasarkan klasifikasi risiko gempa, wilayah studi termasuk dalam kategori “besar dua” hingga “sangat besar dua”, yang mencerminkan tingkat kerentanan seismik tinggi. Temuan ini menegaskan pentingnya penerapan strategi mitigasi bencana dan perencanaan tata ruang berbasis risiko untuk meminimalkan dampak gempabumi di Kotaagung dan sekitarnya.

Kata Kunci: Peak Ground Acceleration (PGA); Mikrotremor, HVSRR, Periode Dominan, Amplifikasi Tanah; Kotaagung, Subduksi Indo-Australia.

Abstract Lampung Province, particularly Kotaagung, is an area with high tectonic activity due to its proximity to the subduction zone between the Indo-Australian and Eurasian Plates. This situation places Kotaagung as an area with significant seismic potential, necessitating in-depth studies of seismic hazards as a basis for disaster risk mitigation. One of the main parameters in earthquake hazard evaluation is Peak Ground Acceleration (PGA), which describes the maximum ground acceleration due to shaking and serves as a reference in earthquake-resistant building design and seismic zoning. This study estimates the PGA value in Kotaagung using the Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio (HVSRR) method based on microtremor data. A total of 78 measurement points were recorded using a single sensor for 20–30 minutes at a sampling frequency of 100 Hz. Data from three ground vibration components were then analyzed to obtain an HVSRR curve, which was then used to determine the dominant frequency (f_0), dominant period (T_g), and PGA value using Kanai's empirical formula. The results show that the dominant soil period in Kotaagung is in the range of 0.09–2.92 s, while the surface PGA value ranges from 155 to 1033 gal. Based on the earthquake risk classification, the study area is included in the “major two” to “very large two” category, reflecting a high level of seismic vulnerability. These findings emphasize the importance of implementing disaster mitigation strategies and risk-based spatial planning to minimize the impact of earthquakes in Kotaagung and its surroundings.

Keywords: Peak Ground Acceleration (PGA); Microtremor, HVSRR, Dominant Period, Ground Amplification; Kotaagung, Indo-Australian Subduction.

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara yang berada pada zona cincin api (*Ring of Fire*), sehingga memiliki aktivitas tektonik yang sangat tinggi dan rentan terhadap kejadian gempa bumi. Kondisi ini disebabkan oleh pertemuan dan interaksi kompleks beberapa lempeng tektonik utama, seperti Lempeng Indo-Australia, Eurasia, dan Pasifik[1]. Akibatnya, berbagai wilayah di Indonesia memiliki tingkat kerawanan gempa yang berbeda-beda, bergantung pada kedekatannya terhadap sumber gempa, struktur geologi lokal, serta karakteristik lapisan permukaan[2]. Salah satu daerah yang memiliki potensi kegempaan tinggi adalah Provinsi Lampung, khususnya wilayah Kotaagung. Secara geografis, Kotaagung terletak dekat dengan zona subduksi aktif antara Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia, yang telah menghasilkan sejumlah peristiwa gempa signifikan dalam sejarah. Kedekatan dengan sumber gempa ini menyebabkan wilayah tersebut sangat berpotensi mengalami guncangan kuat, terutama jika diperkuat oleh kondisi geologi lokal yang dapat meningkatkan amplifikasi gelombang seismik[3]. Aktivitas seismik yang tinggi di Kotaagung menuntut dilakukannya kajian mendalam mengenai potensi bahaya gempa sebagai langkah penting dalam upaya mitigasi risiko bencana. Informasi mengenai karakteristik tanah, respons seismik lokal, serta tingkat amplifikasi guncangan diperlukan untuk mendukung perencanaan tata ruang yang aman, pembangunan infrastruktur yang tahan gempa, dan penyusunan strategi mitigasi yang efektif[4]. Dengan demikian, penelitian terkait bahaya seismik menjadi sangat penting untuk meningkatkan ketahanan wilayah terhadap ancaman gempabumi[5].

Salah satu parameter utama dalam kajian bahaya gempa bumi adalah *Peak Ground Acceleration (PGA)*, yaitu percepatan maksimum yang dialami permukaan tanah selama terjadinya guncangan seismik. PGA menjadi indikator penting untuk menggambarkan besarnya gaya dinamis yang bekerja pada tanah dan struktur bangunan akibat gempa. Nilai ini digunakan sebagai dasar dalam perhitungan beban gempa, desain struktur tahan gempa, serta analisis respons

dinamis bangunan dan infrastruktur[6]. Oleh karena itu, PGA merupakan komponen fundamental dalam standar perencanaan konstruksi dan sistem mitigasi gempa di berbagai negara, termasuk Indonesia. Dalam konteks pemetaan bahaya seismik, PGA berperan penting dalam menentukan tingkat kerentanan wilayah berdasarkan variasi geologi dan sifat dinamika tanah. Perbedaan karakteristik litologi, ketebalan sedimen, serta kontras impedansi antara lapisan tanah dapat menyebabkan terjadinya amplifikasi guncangan yang signifikan pada permukaan. Akibatnya, dua lokasi yang berjarak relatif dekat dapat mengalami intensitas guncangan yang berbeda secara nyata[7]. Melalui pemetaan PGA, area dengan potensi percepatan tinggi, menengah, maupun rendah dapat diidentifikasi secara lebih akurat, sehingga mendukung penyusunan mikrozonasi seismik dan strategi mitigasi bencana yang lebih tepat sasaran. Selain itu, nilai PGA menjadi acuan utama dalam evaluasi risiko bangunan dan infrastruktur vital, seperti jembatan, rumah sakit, fasilitas penyimpanan energi, dan jaringan transportasi. Analisis kerentanan struktur terhadap gempa sangat bergantung pada estimasi PGA yang mencerminkan kondisi geologi setempat[8]. Oleh sebab itu, pemodelan PGA yang akurat, terutama yang memanfaatkan data lokal seperti mikrotremor dan analisis HVSR, sangat krusial untuk mendukung pembangunan yang aman dan berkelanjutan. Dengan demikian, pemetaan PGA tidak hanya berfungsi sebagai *instrumen* ilmiah untuk memahami bahaya seismik, tetapi juga sebagai pijakan strategis dalam perencanaan tata ruang dan mitigasi risiko gempa di wilayah rawan bencana[9].

Metode pengukuran mikrotremor telah berkembang menjadi salah satu pendekatan yang sangat penting dalam kajian kegempaan, terutama pada wilayah dengan tingkat aktivitas tektonik tinggi dan keterbatasan data seismik maupun geoteknik[13]. Mikrotremor merupakan getaran lemah alami tanah yang bersumber dari energi lingkungan berskala rendah, baik yang berasal dari aktivitas eksogen seperti gelombang laut, angin, dan curah hujan, maupun dari aktivitas antropogenik seperti lalu lintas kendaraan dan operasi mesin[10]. Karakteristiknya yang non-destruktif, ekonomis, dan tidak memerlukan peralatan kompleks menjadikan metode ini semakin banyak diadopsi dalam penelitian mikrozonasi seismik, pemetaan respons tanah, dan evaluasi potensi bahaya gempa bumi. Salah satu teknik interpretasi yang paling umum digunakan dalam analisis mikrotremor adalah metode *Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio* (HVSR)[10]. Metode ini memanfaatkan perbandingan antara komponen spektrum horizontal dan vertikal dari sinyal mikrotremor untuk memperoleh frekuensi dominan tanah serta nilai amplifikasinya. Frekuensi dominan tersebut mencerminkan sifat dinamis lapisan tanah, termasuk ketebalan sedimen dan kontras impedansi antara lapisan atas dan bawah permukaan[11]. Nilai amplifikasi tanah yang diperoleh melalui HVSR selanjutnya dapat digunakan untuk mengidentifikasi area yang berpotensi mengalami penguatan gelombang seismik selama kejadian gempa[12]. Informasi frekuensi dominan dan amplifikasi tanah yang dihasilkan dari analisis HVSR memiliki peran penting dalam estimasi *Peak Ground Acceleration* (PGA). PGA merupakan parameter fundamental dalam evaluasi bahaya seismik, karena menunjukkan percepatan maksimum yang dialami permukaan tanah akibat guncangan gempa[13]. Dengan memadukan hasil HVSR dan persamaan empiris PGA, peneliti dapat memperoleh gambaran yang lebih akurat mengenai variasi tingkat bahaya gempa pada suatu wilayah. Pendekatan ini sangat relevan untuk daerah seperti Kotaagung, yang terletak dekat zona subduksi aktif dan memiliki sejarah kejadian gempa signifikan[14]. Penggunaan mikrotremor bersama metode HVSR dan estimasi PGA memungkinkan pengembangan peta *mikrozonasi seismik* yang lebih detail. Hasilnya dapat digunakan untuk perencanaan tata ruang, pembangunan infrastruktur, serta penyusunan strategi mitigasi bencana yang berbasis pada kondisi geologi lokal. Dengan demikian, metode ini berkontribusi penting dalam upaya peningkatan ketahanan wilayah terhadap ancaman gempa bumi[15].

Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi nilai PGA di wilayah Kotaagung dengan memanfaatkan data mikrotremor yang diperoleh dari sejumlah titik pengukuran. Kotaagung dipilih sebagai lokasi studi karena selain merupakan ibu kota Kabupaten Tanggamus, wilayah ini juga memiliki kepadatan penduduk dan aktivitas pembangunan yang cukup tinggi, sehingga sangat penting untuk memahami karakteristik seismik lokal guna menunjang perencanaan tata ruang yang berbasis mitigasi bencana.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Metode HVSR

Penelitian ini dilakukan di Kabupaten Tanggamus, Provinsi Lampung, meliputi wilayah Kecamatan Kotaagung, Kotaagung Barat, dan Kotaagung Timur. Secara letak geografis, berada pada koordinat antara 104°32' hingga 104°47' Bujur Timur dan 5°21' hingga 5°36' Lintang Selatan. Pengambilan data dilakukan menggunakan metode mikrotremor sensor tunggal pada setiap titik. Jumlah titik pengukuran yang digunakan dalam penelitian ini sebanyak 78 titik. Waktu pengukuran di setiap lokasi berlangsung antara 20 hingga 30 menit, dengan frekuensi sampling sebesar 100 Hz untuk merekam getaran tanah. Data tiga komponen getaran tanah (arah E-W, N-S, dan U-D) diperoleh dari hasil pengukuran mikrotremor menggunakan sensor tunggal, yang kemudian dianalisis dengan metode HVSR untuk menentukan *rasio spektrum horizontal* terhadap vertikal (H/V)[15]. Pengukuran mikrotremor pada setiap lokasi dilakukan selama 20 hingga 30 menit untuk memastikan bahwa data yang diperoleh cukup stabil dan representatif terhadap kondisi getaran tanah setempat. Durasi ini dipilih berdasarkan standar umum akuisisi mikrotremor, yang merekomendasikan waktu rekam minimal 20 menit agar variasi sumber getaran alami maupun antropogenik dapat terekam dengan baik. Pengukuran menggunakan sensor mikrotremor tunggal dengan frekuensi sampling 100 Hz, sehingga mampu menangkap sinyal getaran pada rentang frekuensi rendah hingga menengah yang relevan bagi analisis respons tanah lokal. Data yang

diperoleh terdiri dari tiga komponen getaran tanah, yaitu timur ke barat (E–W), utara ke selatan (N–S), dan vertikal (U–D). Ketiga komponen ini diperlukan untuk memperoleh deskripsi lengkap mengenai dinamika getaran tanah, karena masing-masing komponen memiliki sensitivitas berbeda terhadap jenis gelombang yang merambat.

Komponen horizontal terutama merekam respon gelombang *Rayleigh* dan *Love*, sementara komponen vertikal digunakan sebagai acuan dalam analisis rasio spektral. Sebelum proses analisis, data yang terekam melalui sensor menjalani serangkaian tahapan prapemrosesan, termasuk penyaringan noise, pemotongan data ke dalam jendela waktu tertentu, serta penerapan fungsi smoothing pada spektrum[14]. Tahapan ini bertujuan meningkatkan kestabilan kurva spektral dan mengurangi pengaruh sinyal gangguan yang tidak diinginkan. Analisis utama dilakukan menggunakan metode *Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio (HVSr)*. Metode ini menghitung perbandingan antara spektrum gabungan komponen horizontal terhadap spektrum komponen vertikal untuk menghasilkan kurva H/V. Kurva tersebut digunakan untuk menentukan nilai frekuensi dominan tanah (f_0) dan amplifikasi tanah (A_0) pada masing-masing titik pengukuran. Parameter ini selanjutnya digunakan untuk menghitung periode dominan tanah (T_g) dan mengestimasi nilai percepatan tanah maksimum (PGA) dengan menggunakan persamaan empiris terkait. Stabilitas kurva HVSr menjadi indikator utama keandalan interpretasi respons seismik lokal, sehingga kualitas data rekaman berperan penting dalam akurasi hasil penelitian.

2.2 Percepatan Getaran Tanah Maksimum

Nilai percepatan getaran tanah maksimum pada suatu lokasi dapat dihitung menggunakan rumusan empiris Kanai, yang banyak digunakan dalam kajian bahaya seismik untuk memperkirakan nilai *Peak Ground Acceleration (PGA)* di lapisan permukaan. Rumusan ini memanfaatkan hubungan antara karakteristik sumber gempa, kondisi jalur perambatan gelombang, serta respons lokal tanah[13]. Dalam persamaan Kanai, nilai PGA permukaan dilambangkan sebagai α_s , yang merupakan fungsi dari periode dominan tanah (T_g), magnitudo momen (M_w), serta jarak hiposenter terhadap titik pengukuran (R_{hs}). Parameter T_g diperoleh melalui analisis mikrotremor menggunakan metode HVSr, sedangkan M_w dan R_{hs} berasal dari data seismotektonik gempa acuan[12]. Secara umum, persamaan ini menunjukkan bahwa percepatan tanah akan meningkat pada tanah dengan periode dominan rendah serta pada lokasi yang berdekatan dengan sumber gempa bermagnitudo besar. Dengan demikian, formula Kanai memberikan pendekatan awal yang efektif untuk menilai tingkat potensi guncangan di suatu wilayah, terutama pada daerah dengan keterbatasan data rekaman gempa. Nilai percepatan getaran tanah maksimum di suatu tempat dapat dicari dengan rumusan empiris tentang nilai PGA di lapisan permukaan α_s dari Kanai yaitu:

$$\alpha_s = \frac{5}{T_g} 10^{0,61M_w - \left(1,66 + \frac{3,6}{R_{hs}}\right)0,167 - \frac{1,83}{R_{hs}}} \quad (1)$$

Dalam persamaan empiris Kanai, α_s merepresentasikan nilai percepatan tanah maksimum (*Peak Ground Acceleration/PGA*) pada lapisan permukaan yang dinyatakan dalam satuan gal. Parameter ini digunakan untuk menggambarkan intensitas guncangan yang dialami permukaan tanah akibat propagasi gelombang seismik. Periode dominan tanah (T_g), yang dinyatakan dalam satuan sekon (s), diperoleh dari hasil analisis frekuensi dominan menggunakan metode HVSr dan menggambarkan karakteristik dinamis lapisan sedimen setempat. Sementara itu, magnitudo momen (M_w) merupakan parameter yang menunjukkan besarnya energi total yang dilepaskan oleh sumber gempa. Jarak hiposenter terhadap titik pengukuran, yang disimbolkan sebagai R_{hs} dan dinyatakan dalam kilometer (km), menggambarkan jarak tiga dimensi antara pusat gempa dan lokasi observasi. Risiko gempabumi ditentukan berdasarkan nilai PGA dan skala *Modified Mercalli Intensity (MMI)* dapat dilihat pada Tabel 1 [4].

Tabel 1. Tingkat resiko gempabumi

No.	Tingkat resiko	Nilai PGA (gal)	Intensitas MMI
1	Resiko sangat kecil	< 25	<VI
2	Resiko kecil	25 – 50	VI – VII
3	Resiko sedang satu	50 – 75	VII – VIII
4	Resiko sedang dua	75 – 100	VII – VIII
5	Resiko sedang tiga	100 – 125	VII – VIII
6	Resiko besar satu	125 – 150	VIII – IX
7	Resiko besar dua	150 – 200	VIII – IX
8	Resiko besar tiga	200 – 300	VIII – IX
9	Resiko sangat besar satu	300 – 600	IX – X
10	Resiko sangat besar dua	> 600	> X

Tabel 1 menyajikan klasifikasi tingkat risiko gempabumi berdasarkan rentang nilai Peak Ground Acceleration (PGA) dan intensitas *Modified Mercalli Intensity (MMI)*. Klasifikasi ini digunakan sebagai acuan dalam menilai potensi dampak guncangan gempa pada suatu wilayah, di mana nilai PGA berperan sebagai parameter kuantitatif utama, sedangkan MMI menggambarkan tingkat kerusakan dan persepsi guncangan secara kualitatif. Pada kategori risiko sangat kecil, nilai PGA berada di bawah 25 gal dengan intensitas guncangan kurang dari VI, yang umumnya tidak menimbulkan kerusakan struktural. Peningkatan risiko mulai terlihat pada kategori risiko kecil, dengan nilai PGA antara 25–50 gal dan intensitas VI–VII, ketika guncangan mulai dirasakan kuat oleh masyarakat dan berpotensi menimbulkan gangguan ringan. Kategori

risiko sedang satu hingga sedang tiga, dengan rentang PGA 50–125 gal dan intensitas VII–VIII, menunjukkan potensi kerusakan moderat terutama pada bangunan yang tidak memiliki elemen perkuatan seismik. Pada kategori risiko besar satu hingga besar tiga, nilai PGA meningkat menjadi 125–300 gal dengan intensitas VIII–IX. Pada tingkatan ini, guncangan berpotensi menyebabkan kerusakan struktural signifikan, bahkan pada bangunan dengan standar konstruksi menengah.

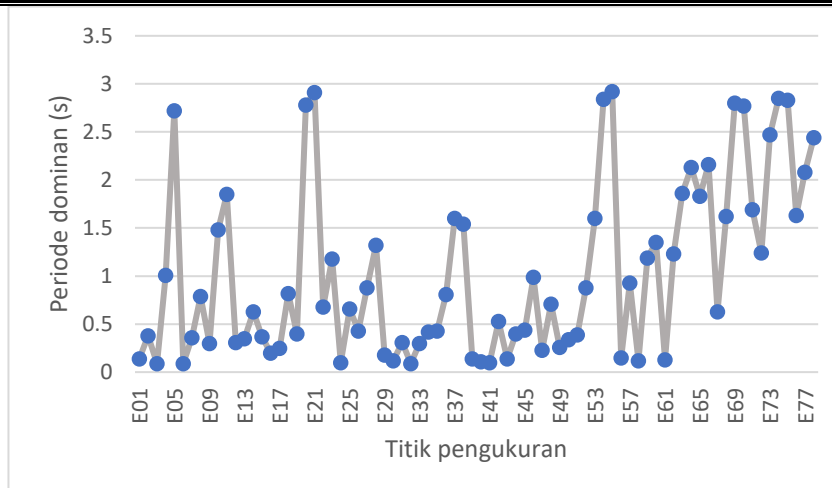
Tingkat risiko paling tinggi berada pada kategori sangat besar satu dan sangat besar dua, dengan nilai PGA mulai dari 300 gal hingga melebihi 600 gal dan intensitas IX–X. Kategori ini mencerminkan kondisi guncangan ekstrem yang mampu menyebabkan kerusakan parah hingga keruntuhan total pada berbagai jenis bangunan. Dengan demikian, klasifikasi ini berfungsi sebagai dasar penting dalam analisis potensi bahaya seismik, penyusunan mikrozonasi, dan perumusan strategi mitigasi risiko yang berbasis pada evaluasi respons tanah lokal.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Melalui pengukuran mikrotremor dengan menggunakan sensor tunggal, diperoleh data getaran tanah dalam tiga komponen arah, yaitu timur-barat (E-W), utara-selatan (N-S), dan vertikal (U-D). Data ini kemudian dianalisis menggunakan metode HVSR untuk memperoleh rasio spektrum antara komponen horizontal dan vertikal (H/V). Melalui pengukuran mikrotremor yang dilakukan menggunakan sensor tunggal pada setiap titik observasi, diperoleh data getaran tanah dalam tiga komponen utama, yaitu timur ke barat (E-W), utara ke selatan (N-S), dan vertikal (U-D)[11]. Ketiga komponen ini merupakan representasi dari respons dinamis tanah terhadap getaran berenergi rendah yang berasal dari berbagai sumber alami maupun antropogenik. Penggunaan sensor tunggal memberikan keuntungan pada kemudahan mobilisasi serta efisiensi akuisisi data, tanpa mengurangi kemampuan untuk menangkap karakteristik spektral tanah yang diperlukan untuk analisis seismik mikro. Setiap komponen sinyal yang terekam kemudian diproses untuk menghasilkan data time series yang stabil dan bebas dari gangguan lingkungan yang berlebihan.

Tahap selanjutnya adalah pengolahan data menggunakan metode *Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio (HVSR)*, yang merupakan pendekatan geofisika berbasis analisis spektrum untuk menentukan rasio antara energi getaran komponen horizontal dan vertikal. Prosedur HVSR dimulai dengan pemilihan segmen time window yang memenuhi kriteria kestasioneran sinyal. Pemisahan sinyal dilakukan untuk mengurangi interferensi dari gangguan lokal seperti langkah manusia, lalu lintas kendaraan, atau sinyal gangguan frekuensi tinggi lainnya. Setelah tahapan ini, dilakukan *transformasi Fourier* pada masing-masing komponen untuk memperoleh spektrum amplitudo dalam domain frekuensi. *Rasio spektrum horizontal* terhadap vertikal (H/V) diperoleh dengan menggabungkan dua komponen horizontal (E-W dan N-S), yang kemudian dibagi dengan spektrum komponen *vertikal (U-D)*. Penggabungan kedua komponen horizontal dilakukan untuk menghasilkan nilai amplitudo representatif yang bebas dari bias orientasi sensor terhadap arah sumber gelombang. Kurva H/V yang dihasilkan menunjukkan puncak spektral yang berkaitan dengan frekuensi dominan tanah (f_0), yaitu frekuensi di mana lapisan sedimen menunjukkan resonansi maksimum akibat kontras impedansi dengan batuan dasar. Nilai puncak amplitudo pada kurva tersebut diinterpretasikan sebagai faktor amplifikasi tanah (A_0), yang menggambarkan potensi penguatan gelombang seismik pada lokasi tersebut.

Nilai *frekuensi dominan dan amplifikasi* tanah yang diperoleh dari kurva H/V kemudian digunakan untuk menghitung periode dominan tanah (T_g), yaitu parameter penting dalam menentukan respons dinamis lapisan sedimen selama kejadian gempa. T_g dihitung sebagai kebalikan dari frekuensi dominan, sehingga semakin kecil nilai frekuensi maka semakin besar periode dominan tanah, yang biasanya berkaitan dengan sedimen tebal atau lapisan tanah bersifat lunak. Informasi ini menjadi dasar dalam estimasi percepatan tanah maksimum (*Peak Ground Acceleration/PGA*) dengan menggunakan rumusan empiris yang mempertimbangkan karakteristik sumber gempa serta jarak hiposenter terhadap lokasi pengukuran. Melalui tahapan analisis HVSR yang sistematis, diperoleh gambaran komprehensif mengenai kondisi bawah permukaan di wilayah studi, termasuk potensi amplifikasi gelombang dan variasi respons seismik lokal. Hasil ini sangat penting untuk mendukung evaluasi bahaya gempa, penyusunan peta mikrozonasi, serta perencanaan mitigasi bencana berbasis kondisi geologi setempat.



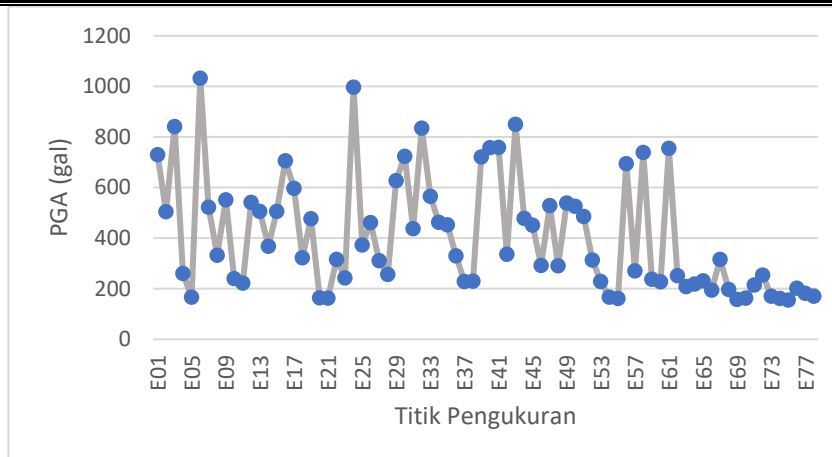
Gambar 1. Nilai periode dominan setiap titik pengukuran di Kotaagung

Hasil analisis spektrum H/V tersebut menghasilkan kurva HVSR yang menunjukkan nilai amplifikasi (A_0) dan frekuensi dominan (f_0). Nilai frekuensi dominan digunakan untuk perhitungan nilai periode dominan tanah (T_g) dan percepatan getaran tanah maksimum (PGA). Hasil analisis spektrum H/V menghasilkan kurva HVSR yang memuat dua parameter utama, yaitu nilai amplifikasi tanah (A_0) dan frekuensi dominan (f_0). Puncak kurva HVSR merepresentasikan respons resonansi lokal akibat kontras impedansi antara lapisan sedimen dan batuan dasar. Nilai f_0 yang diperoleh selanjutnya digunakan untuk menghitung periode dominan tanah (T_g) melalui hubungan $T_g = 1/f_0$. Parameter ini menjadi dasar penting dalam menilai karakteristik dinamis lapisan permukaan. Selain itu, nilai T_g digunakan dalam estimasi percepatan getaran tanah maksimum (PGA) melalui rumus empiris, sehingga memungkinkan penilaian tingkat bahaya seismik pada tiap titik pengukuran.

Berdasarkan kejadian gempa bumi yang tercatat pada tanggal 24 Juni 1933, dengan episenter pada koordinat $-5,522^\circ$ Lintang Selatan dan $104,434^\circ$ Bujur Timur, kedalaman hiposenter 35 km, serta magnitudo momen sebesar 7,3 SR, diperoleh nilai periode dominan di setiap titik pengukuran disajikan pada Gambar 1 yaitu berkisar antara 0,09- 2,92 s. Berdasarkan catatan sejarah kegempaan, salah satu peristiwa gempa signifikan yang memengaruhi wilayah Provinsi Lampung terjadi pada tanggal 24 Juni 1933. Gempa tersebut memiliki episenter pada koordinat $-5,522^\circ$ Lintang Selatan dan $104,434^\circ$ Bujur Timur, dengan kedalaman hiposenter sekitar 35 km dan magnitudo momen sebesar 7,3 SR. Peristiwa ini menjadi salah satu referensi penting dalam analisis bahaya seismik regional karena mencerminkan potensi guncangan kuat yang dapat dihasilkan oleh aktivitas subduksi di sekitar wilayah Kotaagung. Penggunaan data gempa historis ini relevan untuk memodelkan percepatan tanah maksimum (PGA) karena memberikan gambaran mengenai karakteristik sumber seismik yang pernah terjadi di zona subduksi terdekat.

Mengacu pada kejadian gempa tersebut, nilai periode dominan tanah (T_g) pada setiap titik pengukuran dihitung berdasarkan nilai *frekuensi dominan* (f_0) yang diperoleh dari analisis HVSR. Hasil perhitungan T_g yang ditampilkan pada Gambar 1 menunjukkan rentang nilai antara 0,09 hingga 2,92 sekon. Rentang nilai ini mencerminkan variasi kondisi geologi dan ketebalan lapisan sedimen di wilayah studi. Titik-titik yang memiliki periode dominan rendah umumnya berada pada lokasi dengan lapisan tanah relatif kaku atau sedimen yang tipis, sehingga memiliki respons dinamis yang lebih tinggi frekuensinya. Sebaliknya, periode dominan yang tinggi (mencapai >2 sekon) mengindikasikan keberadaan sedimen tebal atau tanah lunak yang mampu memperpanjang durasi dan memperbesar amplifikasi guncangan saat gelombang seismik tiba di permukaan.

Nilai PGA pada lapisan tanah permukaan di wilayah Kotaagung dan sekitarnya berada dalam rentang 155 hingga 1033 gal yang disajikan pada Gambar 2.

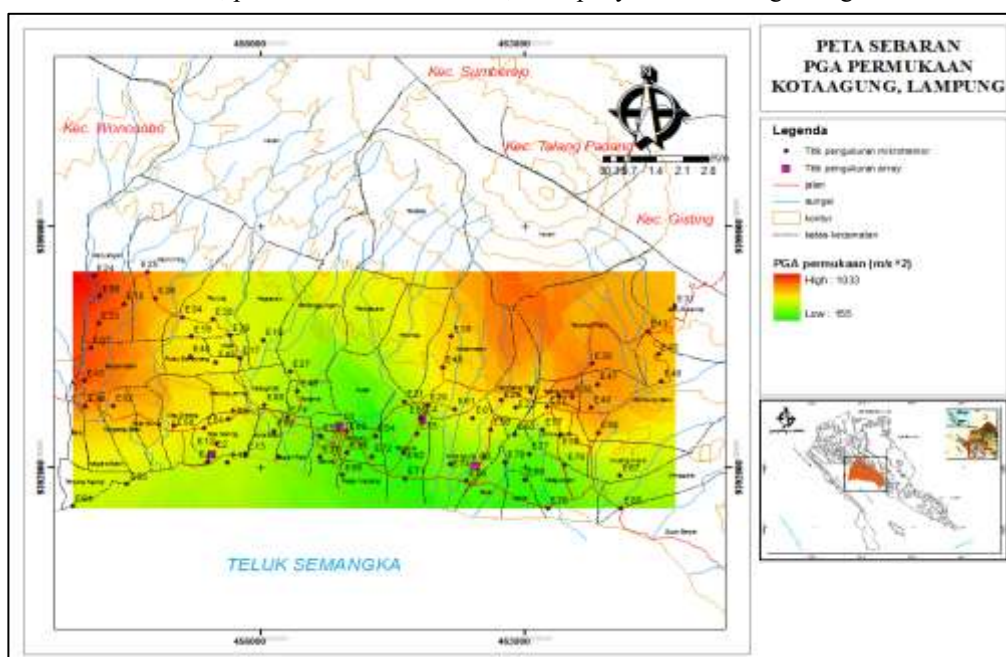


Gambar 2. Nilai PGA setiap titik pengukuran di Kotaagung

Peta distribusi PGA permukaan (α_s) ditampilkan pada Gambar 3. Mengacu pada klasifikasi dalam Tabel 1, wilayah studi dikategorikan memiliki tingkat risiko gempa mulai dari “besar dua” hingga “sangat besar dua”. Zona dengan tingkat risiko besar dua (150–200 gal) sebagian besar berada di Kecamatan Kotaagung, serta beberapa titik di Kecamatan Kotaagung Timur, seperti titik E68 dan E75. Peta distribusi percepatan tanah maksimum (PGA) pada lapisan permukaan, yang ditunjukkan pada Gambar 3, memberikan gambaran spasial mengenai variasi tingkat guncangan seismik di wilayah Kotaagung dan sekitarnya. Distribusi nilai PGA ini dianalisis dengan mengacu pada klasifikasi tingkat risiko gempa yang disajikan pada Tabel 1. Berdasarkan klasifikasi tersebut, wilayah studi menunjukkan rentang tingkat risiko yang berada antara kategori “besar dua” hingga “sangat besar dua”, yang mengindikasikan bahwa area ini memiliki potensi bahaya gempabumi yang tinggi hingga sangat tinggi.

Zona dengan tingkat risiko besar dua, yaitu dengan nilai PGA berkisar antara 150 hingga 200 gal, teridentifikasi mendominasi wilayah Kecamatan Kotaagung. Kondisi ini menunjukkan bahwa kawasan tersebut berpotensi mengalami guncangan kuat apabila terjadi gempa besar di zona subduksi terdekat. Selain itu, beberapa titik pengukuran di Kecamatan Kotaagung Timur, seperti titik E68 dan E75, juga termasuk dalam kategori risiko besar dua. Keberadaan titik-titik ini di wilayah timur menegaskan bahwa tingginya potensi amplifikasi gelombang seismik tidak hanya terpusat pada satu kawasan, melainkan tersebar mengikuti variasi karakteristik geologi lokal.

Pola distribusi ini memperlihatkan bahwa faktor-faktor seperti ketebalan sedimen, kontras impedansi antara lapisan tanah dan batuan dasar, serta heterogenitas struktur geologi berperan penting terhadap variasi PGA. Dengan demikian, zona risiko besar dua yang muncul di dua kecamatan berbeda mengindikasikan adanya kondisi bawah permukaan yang memiliki kemampuan amplifikasi gelombang seismik relatif tinggi. Informasi ini sangat relevan untuk penilaian kerentanan seismik, perencanaan infrastruktur, serta penyusunan strategi mitigasi bencana di tingkat wilayah.



Gambar 3. Peta Sebaran Nilai PGA Permukaan Kotaagung

Hasil pemetaan nilai *Peak Ground Acceleration (PGA)* di wilayah Kotaagung menunjukkan adanya variasi spasial yang mencolok antar titik pengukuran, yang menggambarkan heterogenitas kondisi geologi lokal. Perbedaan nilai PGA tersebut terutama dipengaruhi oleh variasi ketebalan lapisan sedimen, komposisi material tanah, tingkat kekompakan, serta kontras impedansi antara lapisan permukaan dengan batuan dasar. Faktor-faktor tersebut memengaruhi kemampuan tanah dalam mengamplifikasi gelombang seismik, sehingga menghasilkan respons lokal yang berbeda meskipun jaraknya relatif berdekatan. Rentang nilai PGA yang diperoleh, mulai dari kategori risiko “besar dua” hingga “sangat besar dua”, menunjukkan bahwa wilayah ini memiliki potensi amplifikasi yang cukup tinggi dan rentan terhadap guncangan kuat. Area dengan nilai PGA lebih besar umumnya berkaitan dengan keberadaan sedimen tebal atau tanah yang bersifat lunak, yang mampu memperkuat gelombang seismik akibat resonansi lokal. Sebaliknya, nilai PGA yang lebih rendah ditemukan pada bagian wilayah dengan lapisan tanah relatif kaku atau kedalaman batuan dasar lebih dangkal. Temuan ini selaras dengan pola *seismotektonik regional* Kotaagung yang berada dekat dengan zona subduksi aktif, sehingga pengaruh sumber gempa besar di wilayah tersebut dapat diperkuat oleh kondisi geologi setempat, hasil pemetaan PGA ini menegaskan perlunya *analisis mikrozonasi seismik* yang lebih terperinci sebagai dasar perencanaan tata ruang, mitigasi risiko bencana, serta penguatan struktur bangunan di wilayah Kotaagung dan sekitarnya.

Pada kategori risiko besar dua (150–200 gal), titik-titik pengukuran tersebar terutama di Kecamatan Kotaagung dan sebagian wilayah Kotaagung Timur. Kondisi ini menunjukkan bahwa area tersebut memiliki respons tanah yang cukup kaku, namun masih mampu memperkuat gelombang seismik. Kategori risiko besar tiga (200–300 gal) memiliki persebaran yang lebih luas dan paling dominan di Kecamatan Kotaagung. Hal ini mengindikasikan adanya lapisan sedimen yang lebih tebal atau lebih lunak, sehingga resonansi lokal menjadi lebih signifikan. Kategori risiko sangat besar satu dan sangat besar dua yang memiliki nilai PGA antara >300 hingga >600 gal menunjukkan tingkat bahaya yang sangat tinggi. Persebaran kategori ini di seluruh kecamatan menegaskan bahwa sebagian besar wilayah Kotaagung berada pada kondisi geologi yang memungkinkan terjadinya amplifikasi ekstrem, terutama pada lokasi dengan sedimen tebal atau struktur geologi kompleks.

Kategori risiko besar tiga (200–300 gal) tersebar merata di seluruh kecamatan, namun paling dominan di Kecamatan Kotaagung. Rincian titik-titiknya adalah:

1. Kecamatan Kotaagung Barat: E10, E11, E46, E64, dan E65,
2. Kecamatan Kotaagung: E28, E37, E38, E23, E53, E57, E60, E62, E63, E71, dan E72,
3. Kecamatan Kotaagung Timur: E04, E48, E59, dan E76.

Sementara itu, zona dengan tingkat risiko sangat besar satu (300–600 gal) banyak ditemukan di Kecamatan Kotaagung Barat, serta beberapa titik di Kecamatan Kotaagung Timur (E22, E31, E42, E47, dan E67) dan Kecamatan Kotaagung (E49 dan E52). Kategori risiko sangat besar dua, yaitu dengan nilai PGA lebih dari 600 gal, menunjukkan tingkat bahaya seismik yang paling tinggi di wilayah studi. Nilai PGA dalam kategori ini mengindikasikan potensi guncangan ekstrem yang mampu menyebabkan kerusakan struktural berat hingga keruntuhan, terutama pada bangunan yang tidak dirancang dengan standar ketahanan gempa yang memadai. Berdasarkan hasil pemetaan, kategori ini memiliki sebaran yang luas dan muncul pada tiga kecamatan yang menjadi lokasi penelitian.

Di Kecamatan Kotaagung Barat, titik-titik berisiko sangat besar dua meliputi E06, E16, E24, dan E43. Keberadaan titik-titik ini memperlihatkan bahwa bagian barat hingga utara kecamatan tersebut memiliki kondisi bawah permukaan yang cenderung memperkuat gelombang seismik, kemungkinan dipengaruhi oleh lapisan sedimen tebal atau material tanah yang bersifat lunak. Di Kecamatan Kotaagung, kategori ini teridentifikasi pada titik E01, E29, E39, E56, dan E61 yang berada di bagian utara hingga timur wilayah kecamatan. Pola sebaran tersebut menunjukkan bahwa area ini memiliki heterogenitas geologi yang signifikan, sehingga respons tanah terhadap guncangan gempa menjadi lebih kuat.

Pada Kecamatan Kotaagung Timur, titik-titik dengan risiko sangat besar dua berada di bagian barat hingga utara, yaitu E03, E30, E32, E40, E41, dan E58. Kondisi ini mempertegas bahwa variasi geologi lokal berperan besar dalam peningkatan amplifikasi gelombang, distribusi kategori risiko sangat besar dua mengindikasikan bahwa sebagian besar wilayah Kotaagung memiliki kerentanan seismik yang perlu mendapatkan prioritas dalam perencanaan mitigasi bencana dan penguatan infrastruktur.

Adapun kategori risiko sangat besar dua (lebih dari 600 gal) tersebar di seluruh wilayah studi. Sebaran tersebut mencakup:

1. Bagian barat ke utara Kecamatan Kotaagung Barat (titik E06, E16, E24, dan E43),
2. Bagian utara ke timur Kecamatan Kotaagung (titik E01, E29, E39, E56, dan E61),
3. Bagian barat ke utara Kecamatan Kotaagung Timur (titik E03, E30, E32, E40, E41, dan E58).

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengukuran mikrotremor menggunakan sensor tunggal dan analisis dengan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr)*, diperoleh bahwa wilayah Kotaagung dan sekitarnya memiliki karakteristik dinamika tanah yang bervariasi. Nilai percepatan getaran tanah maksimum (PGA) pada lapisan permukaan berada dalam rentang 155 hingga 1033 gal, menunjukkan variasi tingkat amplifikasi getaran yang cukup signifikan di setiap lokasi pengukuran. Berdasarkan klasifikasi tingkat risiko gempa, wilayah studi termasuk dalam kategori risiko gempa “besar dua” hingga “sangat besar dua”, yang menandakan potensi bahaya gempa cukup tinggi. Zona dengan risiko besar dua (150–200 gal)

banyak terdapat di Kecamatan Kotaagung dan sebagian wilayah Kotaagung Timur, sementara zona dengan risiko besar tiga (200–300 gal) tersebar merata di seluruh kecamatan, terutama di Kecamatan Kotaagung. Zona risiko sangat besar satu (300–600 gal) banyak ditemukan di Kecamatan Kotaagung Barat serta beberapa titik di Kotaagung dan Kotaagung Timur, sedangkan zona risiko sangat besar dua (lebih dari 600 gal) tersebar luas di seluruh wilayah studi, terutama di bagian barat–utara Kotaagung Barat, utara–timur Kotaagung, dan barat–utara Kotaagung Timur. Secara keseluruhan, hasil analisis menunjukkan bahwa wilayah Kotaagung dan sekitarnya memiliki tingkat kerentanan seismik yang tinggi, sehingga diperlukan perhatian khusus dalam perencanaan tata ruang, perancangan struktur bangunan, serta strategi mitigasi bencana untuk mengurangi dampak potensial akibat gempa bumi di masa mendatang.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih disampaikan kepada Pusat Survei Geologi, Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM) yang telah memberikan dukungan data, fasilitas, dan arahan sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik. Penghargaan yang sama juga diberikan kepada Program Studi Teknik Mesin, Universitas Pamulang, atas kontribusi akademik, pendampingan, dan dukungan sarana selama proses pengolahan data, analisis, serta penyusunan naskah ilmiah ini. Dukungan dari kedua institusi tersebut sangat membantu dalam memastikan kelancaran dan kualitas penelitian ini.

REFERENCES

- [1] M. Khemal Amrullah, M. Rizki Aditama, F. Anjar Tri Laksono, and A. Widagdo, “Analisis Ground Motion di Selatan Gunung Api Ungaran Berdasarkan Mikrozonasi Metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr),” Nov. 2021.
- [2] A. Ariyanto *et al.*, “Pemetaan kerentanan seismik melalui analisis mikrotremor hvsr di wilayah kecamatan kemiling dan sekitarnya,” *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, vol. 10, no. 02, pp. 82–99, Jul. 2024, doi: 10.23960/jge.v9i2.393.
- [3] A. Wulandari, S. Suharno, and R. Rustadi, “Pemetaan Mikrozonasi Daerah Rawan Gempabumi Menggunakan Metode Hvsr Daerah Painan Sumatera Barat,” *JGE (Jurnal Geofisika Eksplorasi)*, vol. 4, no. 1, pp. 31–45, Jan. 2020, doi: 10.23960/jge.v4i1.5.
- [4] S. A. Kumala, D. N. Huda, and M. C. Irawan, “Analisis PGA (Peak Ground Acceleration) Berdasarkan Data Gempa untuk Wilayah Jakarta Timur Menggunakan Software PSHA,” *Faktor Exacta*, vol. 11, no. 4, p. 380, Dec. 2018, doi: 10.30998/faktorexacta.v11i4.2974.
- [5] N. B. Wibowo *et al.*, “Pemodelan Peak Ground Acceleration (PGA) dan Intensitas Gempabumi berdasarkan Pengukuran Mikrotremor pada Kawasan Longsor di Desa Kalongan, Ungaran Timur,” *Jurnal Fisika Unand*, vol. 13, no. 2, pp. 225–233, Mar. 2024, doi: 10.25077/jfu.13.2.225-233.2024.
- [6] S. Masitah, I. K. Sukarasa, I. P. Dedy Pratama, I. M. Yuliana, I. B. M. Suryatika, and I. G. A. Kasmawan, “Analisis Peak Ground Accerelation (PGA) di Kabupaten Karangasem Menggunakan Pendekatan Empiris,” *Kappa Journal*, vol. 9, no. 1, pp. 78–81, Apr. 2025, doi: 10.29408/kpj.v9i1.28647.
- [7] N. Budi Wibowo, dan Juwita Nur Sembri, B. Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, S. Geofisika Yogyakarta Jl Wates km, and D. I. Yogyakarta, “Analisis Peak Ground Acceleration (PGA) dan Intensitas Gempabumi berdasarkan Data Gempabumi Terasa Tahun 1981-2014 di Kabupaten Bantul Yogyakarta,” Apr. 2016.
- [8] A. Y. Purnama, B. E. Nurcahya, K. Nurhanafi, and R. Perdhana, “Mikrozonasi Berdasarkan Data Mikrotremor dan Kecepatan Gelombang Geser di Kotamadya Yogyakarta,” *POSITRON*, vol. 11, no. 2, p. 86, Dec. 2021, doi: 10.26418/positron.v11i2.46860.
- [9] R. Salma Salsabila, E. I. Fattah, D. Darisma, D. M. Hidayati, U. Hasanah, and T. Geofisika, “Mikrozonasi Seismik Menggunakan Metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr), Studi Kasus: Institut Teknologi Sumatera (ITERA),” *INSOLOGI: Jurnal Sains dan Teknologi*, vol. 4, no. 5, pp. 1196–1202, Oct. 2025, doi: 10.55123/insologi.v4i5.6481.
- [10] A. I. H. dan B. H. Mawadatul Arrahma, “Studi Kecepatan Tanah Maksimum (PGV), Percepatan Tanah Maksimum (PGA) dan Skala Intensitas Kerusakan (MMI) Gempa Bumi di Kabupaten Bengkulu Utara,” *Navigation Physics : Journal of Physics Education*, vol. 6, no. 6, pp. 75–85, Jun. 2024.
- [11] L. S. A. C. S. Rachmat Jariah Jamall*, “Mikrozonasi kawasan rawan bencana gempabumi dengan studi peak ground acceleration menggunakan metode boore atkinson dan data mikrotremor di daerah kupang,” *Jurnal Geoelebes*, no. 1, p. 5, Apr. 2017.
- [12] M. K. Marbun and A. F. Pohan, “Identifikasi Gerakan Partikel Air Panas Berdasarkan Analisis Mikrotremor di Mata Air Panas Bukit Kili dan Garara, Kabupaten Solok,” *Jurnal Fisika Unand*, vol. 13, no. 2, pp. 177–182, Mar. 2024, doi: 10.25077/jfu.13.2.177-182.2024.
- [13] A. Y. Purnama, B. E. Nurcahya, K. Nurhanafi, and R. Perdhana, “Mikrozonasi Berdasarkan Data Mikrotremor dan Kecepatan Gelombang Geser di Kotamadya Yogyakarta,” *POSITRON*, vol. 11, no. 2, p. 86, Dec. 2021, doi: 10.26418/positron.v11i2.46860.



- [14] H. Subakti and A. Haurissa, “Studi Mikrotremor di Wilayah Kerusakan Akibat Gempa bumi Ambon 26 September 2019 menggunakan Metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (Hvsvr),” Kota Tangerang Selatan, May 2020.
- [15] N. A. F. Tanjung, H. P. Yuniarto, and D. Widyawarman, “Analisis Amplifikasi Dan Indeks Kerentanan Seismik Di Kawasan Fmipa Ugm Menggunakan Metode HVSR,” *Jurnal Geosaintek*, vol. 5, no. 2, p. 60, Aug. 2019, doi: 10.12962/j25023659.v5i2.5726.