

Analisis Percepatan Tanah Maksimum (PGA) dan Intensitas Skala Mercalli Menggunakan Data Mikrotremor dan Data Gempabumi di Wilayah Pesisir Kecamatan Moramo

Analysis of Maximum Ground Acceleration (PGA) and Mercalli Scale Intensity Using Microtremor Data and Earthquake Data in the Coastal Area of Moramo District

La Hamimu¹, La Ode Ihksan Juarzan^{2*}, Sugi Astira³

¹Jurusan Teknik Geofisika, Universitas Halu Oleo, Kendari, Indonesia

Article history:

Received: 19 Oktober 2023

Accepted: 1 Desember 2025

Keywords:

PGA, Seismic Intensity,

HVSR, Microtremor,

Moramo District

Correspondent author:

juarzan.ode@uho.ac.id

Abstrak. Telah dilakukan penelitian di Wilayah Pesisir Kecamatan Moramo Kabupaten Konawe Selatan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sebaran nilai periode dominan (T_0), *peak ground acceleration* (PGA), dan intensitas kegempaan berdasarkan skala MMI dengan menggunakan data gempabumi yang terjadi di Sulawesi Tenggara dalam kurun waktu 30 tahun tepatnya dari tahun 1993 sampai 2023. Data mikrotremor dianalisis menggunakan metode HVSR dengan *software* geopsy untuk memperoleh nilai frekuensi dominan (f_0), yang selanjutnya menentukan nilai periode dominan untuk memperoleh nilai *peak ground acceleration* (PGA) sehingga nilai intensitas kegempaan dapat ditentukan. Hasil analisis data memperoleh nilai periode dominan (T_0) berkisar antara 0,07 sampai 0,99 s sedangkan nilai PGA permukaan yang didapatkan berkisar antara 35,32 sampai 149,29 gal dan PGA *basement* berkisar antara 30,23 sampai 44,92 gal. Untuk nilai intensitas kegempaan yang didapatkan berkisar antara 3,44 sampai 4,35 SR. Nilai intensitas kegempaan kemudian diklasifikasikan dalam bentuk peta sebaran. Peta sebaran intensitas kegempaan menunjukkan bahwa Wilayah Pesisir Kecamatan Moramo Kabupaten Konawe Selatan memiliki tingkat intensitas kegempaan yang tergolong rendah.

Abstract. Research has been carried out in the Coastal area of Moramo District, South Konawe Regency. This study aims to determine the distribution of values for the dominant period (T_0), Peak ground acceleration (PGA), and seismic intensity based on the MMI scale using earthquake data that occurred in Southeast Sulawesi over a period of 30 years from 1993 to 2023 to be exact. Microtremor data were analyzed using the HVSR method with geopsy software to obtain the dominant frequency value (f_0), which then determines the dominant period value to obtain the peak ground acceleration (PGA) value so that the seismic intensity value can be determined. The dominant period (T_0) values obtained ranged from 0,07 to 0,99 s while the surface PGA values obtained ranged from 35,32 to 149,29 gal and the basement PGA ranged from 30,23 to 44,92 gal. The seismic intensity values obtained ranged from 3,44 to 4,35 SR. The seismic intensity values is then classified in the form of a distribution map. The seismic intensity distribution map shows that the Coastal area of Moramo District, South Konawe Regency has a relatively low level of seismic intensity.

© 2025 JRGI (Jurnal Rekayasa Geofisika Indonesia)

1. PENDAHULUAN

Indonesia dikenal sebagai negara yang memiliki kekayaan alam yang sangat berlimpah, salah satu kekayaan alamnya adalah di wilayah pesisir. Kabupaten Konawe Selatan merupakan salah satu daerah pesisir yang secara geografisnya berada di bagian tenggara Provinsi Sulawesi Tenggara. Kabupaten Konawe Selatan terdiri atas 25 kecamatan salah satunya Kecamatan Moramo. Secara astronomis, pusat wilayah Kecamatan Moramo terletak antara $04^{\circ}17'47''$ Lintang Selatan dan $122^{\circ}68'66''$ Bujur Timur.

Sebagai negara kepulauan, Indonesia termasuk Moramo selain memiliki kekayaan

sumber daya alam pesisir yang melimpah, juga memiliki potensi bencana alam yang sangat tinggi. Potensi bencana alam yang dapat terjadi di wilayah pesisir Indonesia salah satunya adalah gempa bumi yang dapat berdampak buruk bagi ekosistem.

Aktivitas seismik yang tinggi ditandai dengan tingkat kejadian gempa bumi yang terjadi pada suatu wilayah. Gempa bumi adalah peristiwa bergetarnya bumi secara tiba-tiba akibat adanya pelepasan energi yang ditandai dengan patahnya lapisan batuan pada kerak bumi. Gempa bumi menyebabkan banyaknya korban jiwa pun harta. Perlu adanya upaya mitigasi sebagai upaya

minimalisasi dampak gempa bumi. Salah satu upaya tersebut adalah dengan mengetahui informasi gerakan tanah pada suatu wilayah. Informasi gerakan tanah dapat berupa guncangan maksimum tanah yang pernah terjadi pada suatu wilayah. Informasi tersebut dapat dimanfaatkan untuk perancangan bangunan tahan gempa, pemetaan PSHA (Probabilistic Seismic Hazard Analysis), termasuk dapat digunakan untuk mengetahui karakteristik tanah pada suatu wilayah (Ulfiana dkk., 2018).

PGA dapat ditentukan menggunakan dua cara yaitu pengukuran menggunakan alat *accelerograph* atau menggunakan pendekatan empiris. Nilai PGA dapat dihitung berdasarkan magnitudo dan jarak sumber gempa yang terjadi pada titik pengukuran (Kusumawardani dkk., 2020). Besaran nilai PGA dapat digunakan untuk menentukan intensitas gempabumi yang terjadi pada suatu daerah dalam kurun waktu, magnitudo dan jarak tertentu. Intensitas gempabumi atau skala MMI (*Modified Mercalli Intensity*) adalah satuan untuk mengukur kekuatan gempabumi (BMKG, 2022).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sebaran nilai periode dominan (T_0), *peak ground acceleration* (PGA), dan intensitas kegempaan berdasarkan skala MMI di wilayah pesisir Kecamatan Moramo Kabupaten Konawe Selatan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Gempabumi

Gempabumi adalah getaran asli dari dalam bumi, bersumber di dalam bumi yang

kemudian merambat ke permukaan bumi akibat rekahan bumi pecah dan bergeser dengan keras. Penyebab gempa bumi dapat berupa dinamika bumi (tektonik), aktivitas gunungapi, akibat meteor jatuh, longsoran (di bawah muka air laut), ledakan bom nuklir di bawah permukaan. Gempa bumi tektonik merupakan gempa bumi yang paling umum terjadi merupakan getaran yang dihasilkan dari peristiwa pematahan batuan akibat benturan dua lempeng secara perlahan-lahan itu yang akumulasi energi benturan tersebut melampaui kekuatan batuan, maka batuan di bawah permukaan (Nur, 2010).

2.2. Mikrotremor

Mikrotremor adalah getaran ambient dari tanah yang terjadi karena penyebab alamiah atau gangguan batuan seperti angin, gelombang laut, lalu lintas, dan mesin industri. Level amplitudo pada mikrotremor kurang dari beberapa mikron sekitar 0,1-1 mikron. Mikrotremor sendiri diaplikasikan untuk menentukan karakteristik dinamis seperti periode dominan dan faktor amplifikasi dari suatu lapisan sedimen. Keadaan geologi pada permukaan dangkal sangat mempengaruhi respon tanah terhadap aktivitas gempabumi yang terjadi (Maimun dkk., 2020).

2.3. Metode HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*)

Metode HVSR dilakukan dengan cara estimasi rasio spektrum Fourier komponen vertikal terhadap komponen horizontal. Nakamura (2000) menyatakan bahwa perbandingan spektrum H/V sebagai fungsi frekuensi berhubungan erat dengan fungsi site

transfer untuk gelombang S. Prinsip dari metode HVSR yaitu menggunakan seismik pasif tiga komponen. Terdapat dua parameter penting yang didapatkan dari hasil pengolahan metode ini antara lain frekuensi natural (f_0) dan amplifikasi (A). Kedua parameter ini pada dasarnya merupakan implementasi dari karakteristik geologi suatu daerah (Tanjung dkk., 2019). Metode HVSR didefinisikan dengan persamaan:

$$HVSR = \frac{S_H}{S_V} \quad (1)$$

Dimana S_H adalah spektrum komponen horizontal dan S_V spektrum komponen vertikal.

2.4. Frekuensi Dominan

Frekuensi dominan adalah nilai frekuensi yang kerap muncul sehingga diakui sebagai nilai frekuensi dari lapisan batuan di wilayah tersebut sehingga nilai frekuensi dapat menunjukkan jenis dan karakteristik batuan tersebut. Lachet dan Brad (1994) melakukan uji simulasi dengan menggunakan 6 model struktur geologi sederhana dengan kombinasi variasi kontras kecepatan gelombang geser dan ketebalan lapisan soil. Hasil simulasi menunjukkan nilai puncak frekuensi berubah terhadap variasi kondisi geologi (Arifin dkk., 2013).

2.5. Periode Dominan

Nilai periode dominan merupakan waktu yang dibutuhkan gelombang mikrotremor untuk merambat melewati lapisan endapan sedimen permukaan atau mengalami satu kali pemantulan terhadap bidang pantulnya ke

permukaan. Nilai periode dominan juga mengindikasikan karakter lapisan batuan yang ada di suatu wilayah. Nilai periode dominan didapatkan berdasarkan perhitungan berikut,

$$T_0 = \frac{1}{f_0} \quad (2)$$

Dimana, T_0 adalah periode dominan dan f_0 adalah frekuensi dominan (Arifin dkk., 2013).

2.1 Peak Ground Acceleration

Peak Ground Acceleration adalah nilai percepatan getaran tanah terbesar yang pernah terjadi di suatu tempat yang diakibatkan oleh gempabumi. Sejak lama, nilai percepatan tanah maksimum dijadikan salah satu parameter untuk menyatakan kekuatan suatu gempa bumi. Kramer (1996) mengatakan bahwa percepatan tanah akibat gempabumi itu akan menunjukkan gaya inersia yang akan bekerja pada massa struktur. Gaya inersia yang dimaksud adalah gaya yang timbul pada bangunan karena kecenderungan massa bangunan untuk mempertahankan dirinya. Namun hasil ini harus disesuaikan dengan keadaan geologi serta karakteristik dari zona seismik lokasi yang dijadikan daerah penelitian (Kumala, 2016). Percepatan getaran tanah maksimum pada permukaan dapat ditulis dengan persamaan:

$$\alpha = \frac{5}{\sqrt{T_g}} 10^{0.61M - (1.66 + \frac{3.6}{R}) \log R + 0.67 - \frac{1.83}{R}} \quad (3)$$

Percepatan tanah maksimum pada basement menggunakan persamaan (Tanaka, 1990)

$$\log a_b = 1,3 + 0,41M - \log(R + 0,032 \cdot 10^{0,41M}) - 0,0034 R \quad (4)$$

Dimana,

α = PGA dalam gal;

T_g = periode dominan tanah dalam second;

M = magnitudo;

R = jarak hypocenter dalam km;

$G(T)$ = faktor pembesaran.

2.6. Intensitas Kegempaan

Tingkat kerusakan akibat gempabumi dapat diukur berdasarkan intensitasnya. Intensitas gempabumi adalah derajat kerusakan akibat gempabumi pada suatu daerah dan dilihat dari efek akibat getaran gempa. Besarnya intensitas sangat tergantung dari besarnya magnitudo, jarak dari sumber gempa, kondisi geologi, dan

struktur bangunannya. Intensitas tinggi biasanya terjadi pada daerah yang dekat sumber gempa dibandingkan tempat yang jauh dari sumber gempa. Sistem yang digunakan untuk menentukan intensitas gempabumi adalah skala Intensitas Gempabumi Mercalli, yang dikembangkan pada tahun 1902 oleh seorang ahli gempabumi berkebangsaan Italia, Giuseppe Mercalli. Intensitas kegempaan dapat ditentukan dari nilai PGA, diantaranya dengan menggunakan rumusan empiris (Edy dkk., 2015) yaitu:

$$I_{MMI} = 0,008 PGA + 3,159 \quad (5)$$

Dimana I_{MMI} adalah intensitas kegempaan dalam skala MMI.

Tabel 1. Intensitas gempabumi skala MMI (*Modified Mercalli Intensity*) (Wald dkk., 1999)

Tingkat kerawanan	Skala MMI	Rentang nilai MMI	Deskripsi <i>effect</i> yang dirasakan
Rendah	I	0,50 – 1,49	Getaran tidak dirasakan kecuali dalam keadaan hening, dan hanya dirasakan oleh beberapa orang.
	II	1,50 – 2,50	Getaran dirasakan oleh beberapa orang yang tinggal diam, lebih-lebih di rumah tingkat atas. Benda-benda ringan yang digantung terlihat bergoyang.
	III	2,51 – 3,49	Getaran dirasakan di rumah tingkat atas. Terasa getaran seakan ada truk lewat, lamanya getaran dapat ditentukan.
	IV	3,50 – 4,50	Pada siang hari dirasakan oleh orang banyak dalam rumah, di luar oleh beberapa orang, kendaraan yang sedang berhenti bergerak dengan jelas. Pada malam hari orang terbangun, piring dan gelas dapat pecah, jendela dan pintu berbunyi.
Menengah	V	4,51 – 5,49	Getaran dirasakan oleh hampir semua penduduk, jendela kaca dan plaster dinding pecah, barang-barang terpelanting, pohon-pohon tinggi tampak bergoyang.
	VI	5,50 – 6,50	Getaran dirasakan oleh semua penduduk, kebanyakan terkejut dan lari ke luar, kadang-kadang meja kursi bergerak, plester dinding dan cerobong asap pabrik rusak. Terjadi kerusakan ringan.

Tingkat kerawanan	Skala MMI	Rentang nilai MMI	Deskripsi <i>effect</i> yang dirasakan
	VII	6,51 – 7,49	Semua orang ke luar rumah, kerusakan ringan pada rumah-rumah dengan bangunan dan konstruksi yang baik. Cerobong asap pecah atau retak-retak. Guncangan terasa oleh orang yang naik kendaraan.
	VIII	7,50 – 8,50	Kerusakan ringan pada bangunan dengan konstruksi yang kuat. Retak pada bangunan yang kuat, banyak kerusakan pada bangunan yang tidak kuat. Dinding dapat lepas dari kerangka rumah, cerobong asap pabrik dan monumen.
Tinggi	IX	8,51 – 9,49	Kerusakan pada bangunan yang kuat, rangka-rangka rumah menjadi tidak lurus, banyak lubang karena retak pada bangunan yang kuat. Rumah tampak bergeser dari pondasinya, pipa-pipa dalam tanah putus.
	X	9,50 – 10,50	Bangunan dari kayu yang kuat rusak, rangka rumah lepas dari pondasinya, tanah longsor di sekitar sungai dan tempat yang curam saat terjadi air bah.
	XI	10,51 – 11,49	Bangunan kayu sedikit yang tetap berdiri, jembatan rusak. Pipa dalam tanah tidak dapat dipakai sama sekali, tanah terbelah, rel melengkung sekali.
	XII	11,50 – 12,50	Hancur sama sekali, pemandangan menjadi gelap, benda-benda terlempar ke udara.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan data pengukuran mikrotremor dan data gempabumi. Kegiatan pengambilan data mikrotremor telah dilakukan di Wilayah Pesisir Kecamatan Moramo Kabupaten Konawe Selatan pada bulan Agustus 2022. Pengukuran mikrotremor dilakukan di 15 titik dengan jarak antar titik 500 sampai 1000 m. Selanjutnya pengumpulan data gempabumi dari BMKG dan data yang didownload dari website www.usgs.gov dalam kurun waktu 30 tahun tepatnya dari tahun 1993 sampai tahun 2023.

Pengolahan data mikrotremor dilakukan dengan menggunakan software Geopsy dengan metode HVSR untuk memperoleh nilai frekuensi dominan (f_0) dan selanjutnya menghitung nilai periode dominan menggunakan persamaan (2). Nilai Peak Ground Acceleration dihitung menggunakan persamaan (3) untuk permukaan dan persamaan (4) untuk basement dan selanjutnya melakukan perhitungan intensitas kegempaan dengan menggunakan persamaan (5). Setelah dilakukan perhitungan, selanjutnya dilakukan pemetaan untuk mengetahui persebaran nilai periode dominan,

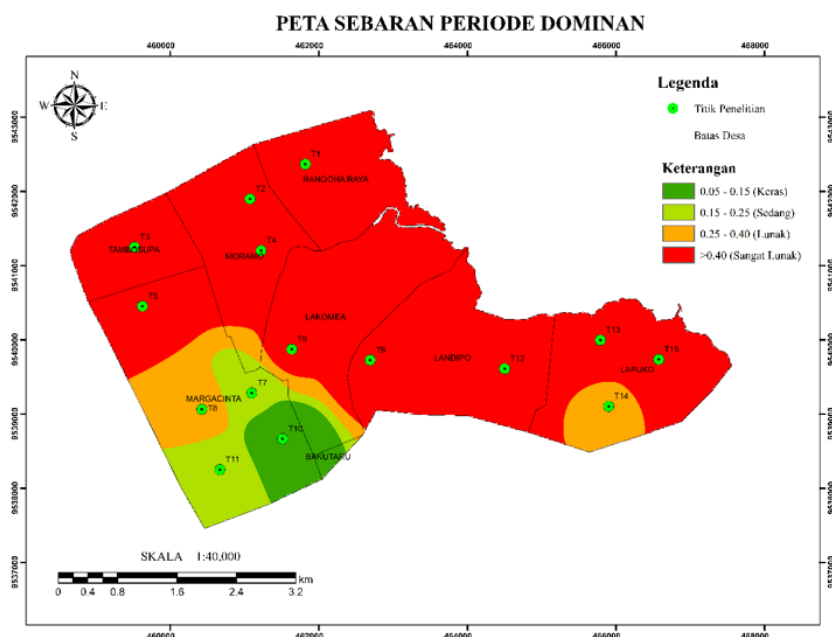
persebaran nilai PGA permukaan dan basement serta persebaran nilai intensitas kegempaan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

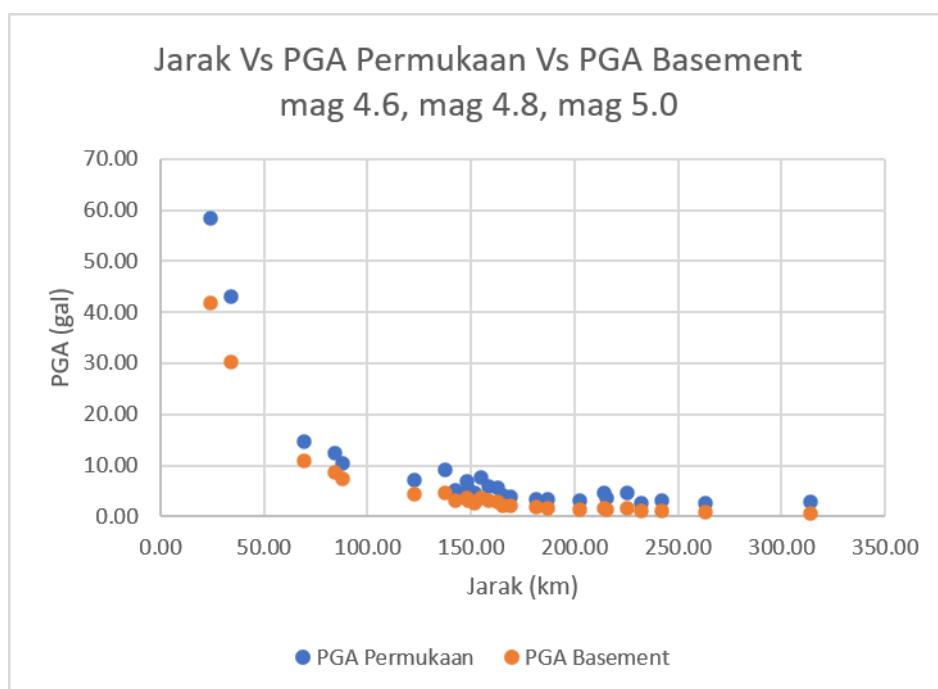
Hasil yang didapatkan dari pengukuran di lapangan berupa data sinyal getaran tanah dalam fungsi waktu tiga komponen yang mencakup komponen vertikal (Up-Down) dan dua komponen horizontal yaitu East-West (EW) dan North-South (NS). Saat proses pengukuran di lapangan diperlukan durasi selama 30 menit. Setelah pengukuran dilakukan dengan menghasilkan rekaman data sinyal getaran tanah yang kemudian didownload menggunakan software DataPro dalam format trace (.trc), lalu diubah ke format minisheed (.MSD). Hal ini dilakukan supaya data mikrotremor dapat terbaca pada software Geopsy.

Nilai frekuensi dominan dihasilkan dari kurva HVSR. Dimana, menurut Widyawarman (2020) dari pengolahan data HVSR didapatkan

nilai frekuensi dominan yang menginterpretasikan nilai frekuensi alami yang ada di daerah tersebut. Berdasarkan hasil pengolahan data mikrotremor diperoleh nilai frekuensi dominan pada daerah penelitian yaitu 1,01 Hz yang merupakan nilai terendah berada pada titik pengukuran T1 dan 14,57 Hz yang merupakan nilai tertinggi yang berada pada titik pengukuran T10. Nilai periode dominan didapatkan dari hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan (2). Periode dominan merupakan waktu yang dibutuhkan gelombang mikrotremor untuk merambat melewati lapisan sedimen. Nilai periode dominan tanah juga dapat menunjukkan klasifikasi tanah menurut Kanai dan Omete-Nakajima (Buletin Meteorologi dan Geofisika, 1998). Dalam penelitian ini diperoleh nilai periode dominan tanah berkisar antara 0,07 s yang merupakan nilai terendah berada pada titik pengukuran T10 dan 0,99 s yang merupakan nilai tertinggi berada pada titik pengukuran T1..



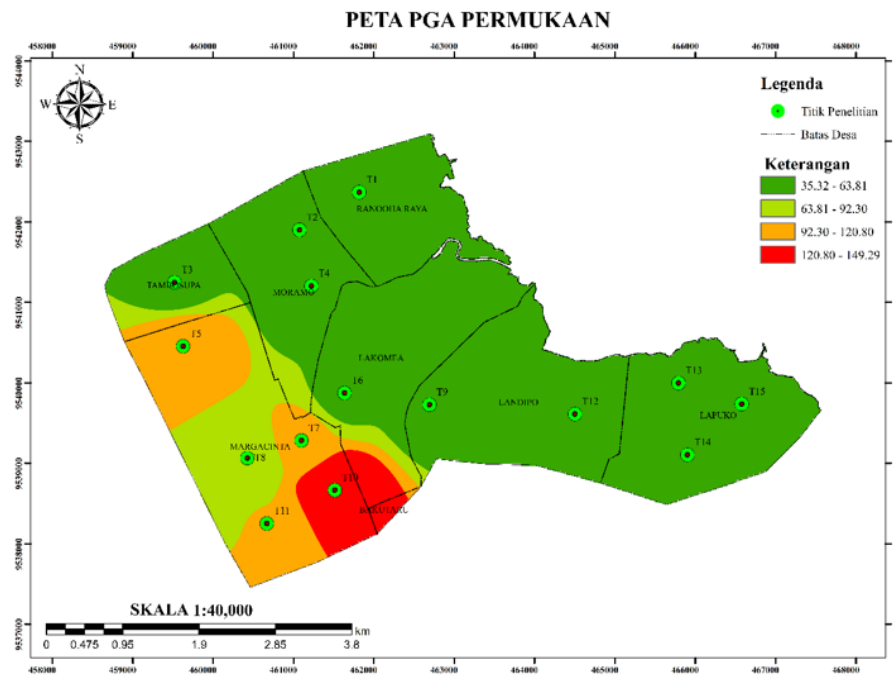
Gambar 1. Peta sebaran nilai periode dominan daerah penelitian



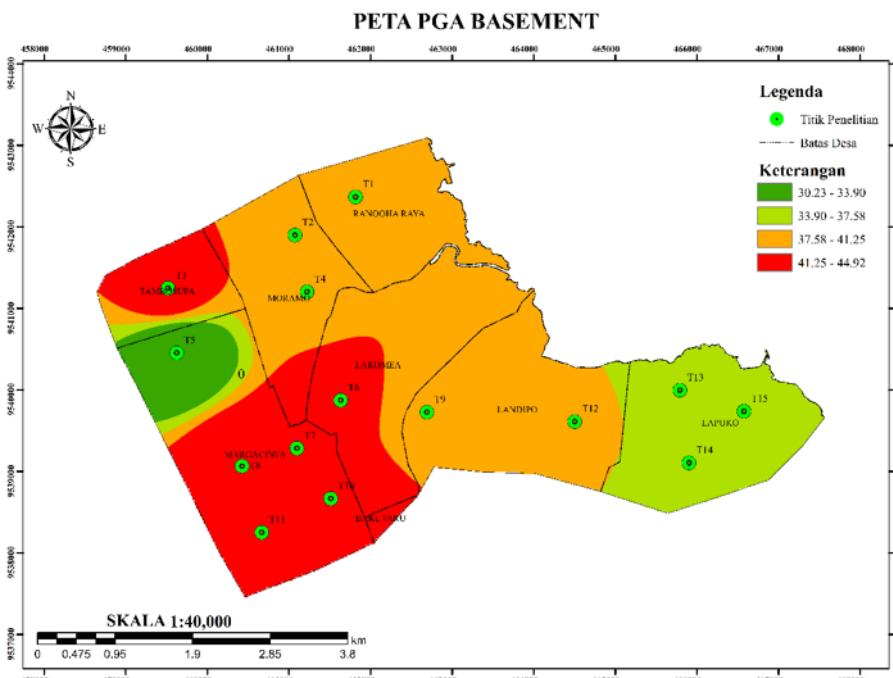
Gambar 2. Kurva hasil perhitungan PGA permukaan dan PGA Basement T6

Nilai periode dominan dapat menggambarkan karakteristik lapisan batuan dimana semakin besar nilai periode dominan pada suatu daerah maka lapisan batumannya cenderung lunak. Berdasarkan hasil analisis klasifikasi tanah menurut Kanai dan Omete-Nakajima, daerah penelitian didominasi oleh jenis tanah yang sangat lunak yang ditunjukkan oleh kontur berwarna merah. Selain itu, pada daerah penelitian juga terdapat jenis tanah keras yang terdapat pada titik pengukuran T10. Sedangkan untuk jenis tanah sedang dan lunak berada pada titik pengukuran T7, T8, T11 dan T14.

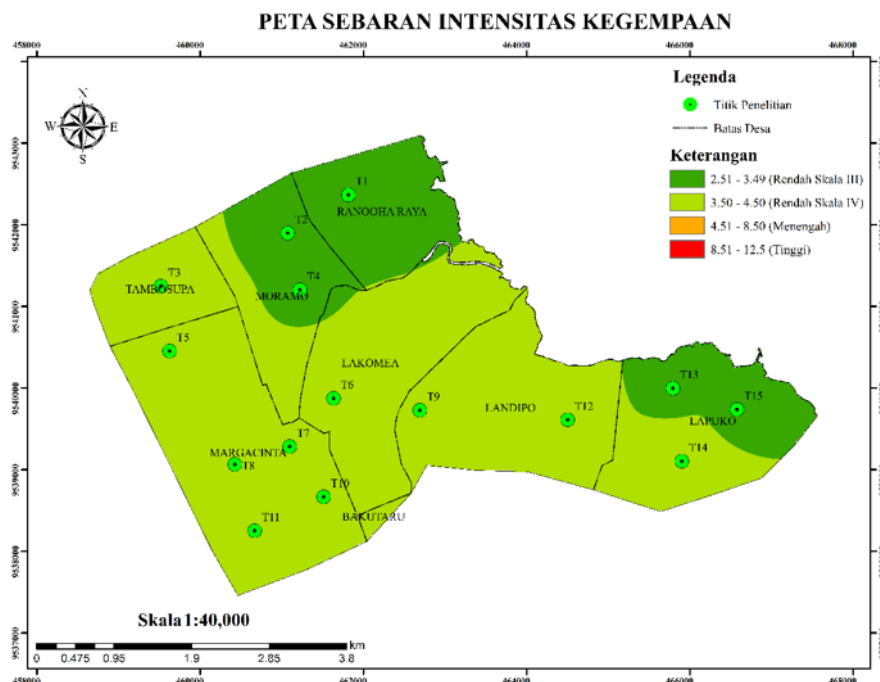
Pengolahan data dalam menentukan nilai PGA, menggunakan persamaan (3) dan (4) dengan data gempabumi Sulawesi Tenggara yang diperoleh dari BMKG dan USGS dengan rentang waktu 30 tahun. Kemudian selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai PGA yang diperoleh dari setiap data, dan dipilih nilai PGA terbesar yang ada pada setiap titik pengukuran. Hasil perhitungan yang diperoleh dari nilai PGA permukaan yang terendah berada pada titik pengukuran T1 sebesar 35,32 gal dan PGA permukaan yang tertinggi berada pada titik pengukuran T10 sebesar 149,29 gal.



Gambar 3. Peta sebaran nilai PGA permukaan daerah penelitian



Gambar 4. Peta sebaran nilai PGA *basement* daerah penelitian



Gambar 5. Peta sebaran intensitas kegempaan daerah penelitian

Hasil yang diperoleh dari perhitungan PGA basement berkisar antara 30,23 sampai 33,90 gal berada pada titik pengukuran T5 yang ditandai dengan kontur berwarna hijau tua. Kemudian nilai PGA basement yang berkisar antara 33,90 sampai 37,58 gal berada pada titik pengukuran T13, T14 dan T15 yang ditandai dengan kontur berwarna hijau muda. Selanjutnya, nilai PGA basement yang berkisar antara 37,58 sampai 41,25 gal berada pada titik pengukuran T1, T2, T4, T9 dan T12 yang ditandai dengan kontur berwarna jingga. Kemudian, nilai PGA basement yang berkisar antara 41,25 sampai 44,92 gal berada pada titik pengukuran T6, T7, T8, T10, T11, T13 yang ditandai dengan kontur berwarna merah.

Intensitas kegempaan merupakan skala kekuatan gempabumi yang digunakan untuk mengukur getaran tanah berdasarkan kerusakan yang ditimbulkan oleh gempa. Dalam pengolahan ini dilakukan dengan

menggunakan persamaan (5). Hasil dari analisis data diperoleh nilai intensitas berkisar antara 3,44 sampai 4,35 yang berada pada titik pengukuran T1 sampai T15. Intensitas kegempaan daerah penelitian dominan berada pada intensitas skala IV dan pada titik pengukuran T1, T2, T4, T13 dan T15 berada dalam intensitas skala III. Berdasarkan klasifikasi Wald (1999), intensitas kegempaan skala III dan IV masuk dalam tingkat kerawanan rendah yaitu dimana getaran dirasakan seakan ada truk lewat dan pada siang hari kendaraan yang berhenti bergerak dengan jelas, serta piring dan gelas dapat pecah, jendela dan pintu pun berbunyi.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengolahan dan Analisa data mikrotremor di wilayah pesisir Kecamatan Moramo dapat disimpulkan bahwa sebaran nilai PGA di wilayah pesisir

Kecamatan Moramo memiliki nilai PGA permukaan yang berkisar antara 35,32 sampai 149,29 gal dan nilai PGA *basement* berkisar antara 30,23 sampai 44,92 gal. Tingkat intensitas kegempaan berdasarkan skala MMI di wilayah pesisir Kecamatan Moramo berada pada skala III dan skala IV. Intensitas kegempaan tersebut masuk dalam tingkat kerawanan rendah yaitu dimana getaran dirasakan seakan ada truk lewat dan kendaraan yang berhenti bergerak dengan jelas serta piring dan gelas dapat pecah, jendela dan pintu pun berbunyi serta pohon-pohon tinggi tampak bergoyang.

DAFTAR PUSTAKA (REFERENCE)

- Arifin, S. S., Bagus, S. M., Marjiyono, & Roby, S. (n.d.). Penentuan zona rawan guncangan bencana gempa bumi berdasarkan analisis nilai amplifikasi HVSR mikrotremor dan analisis periode dominan daerah Liwa dan sekitarnya. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, 2(1).
- Anonim. (1998). Sumberdaya geologi. *Buletin Meteorologi dan Geofisika* No. 4. Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika.
- Anonim. (2022). Skala MMI (Modified Mercalli Intensity). Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika.
- Edy, S., Widiyantoro, S., & Sukanta, I. N. (2015). Studi hazard seismik dan hubungannya dengan intensitas seismik di Pulau Sumatera dan sekitarnya. *Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan*.
- Fukushima, Y., & Tanaka, T. (1990). A new attenuation relation for peak horizontal acceleration of strong earthquake ground motion in Japan. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 80(4), 757–783.
- Kramer, S. L. (1996). *Geotechnical earthquake engineering*. Prentice Hall.
- Kumala, S. A., & Wahyudi. (2016). Analisis nilai PGA (Peak Ground Acceleration) untuk seluruh wilayah kabupaten dan kota di Jawa Timur. *Inersia*, 12(1).
- Kusumawardani, B. N., Didik, L. A., & Bahtiar. (2020). Analisis PGA (Peak Ground Acceleration) Pulau Lombok menggunakan metode pendekatan empiris. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 16(3).
- Lachet, C., & Bard, P. Y. (1994). Numerical and theoretical investigations on the possibilities and limitations of Nakamura's technique. *Journal of Physics of the Earth*, 42, 377–397.
- Maimun, A. K., Ulfa, N. S., Vida, J. J., & Ariyanto, P. (2020). Analisis indeks kerentanan seismik, periode dominan, dan faktor amplifikasi menggunakan metode HVSR di Stageof Tangerang. *Jurnal Meteorologi Klimatologi dan Geofisika*, 7(2).
- Nakamura, Y. (2000). Clear identification of fundamental idea of Nakamura's technique and its applications. Tokyo University.
- Nur, A. M. (2010). Gempa bumi, tsunami dan mitigasinya. *Jurnal Geografi*, 7(1).
- Tanjung, N. A. F., Hakim, P. Y., & Wibowo, D. (2019). Analisis amplifikasi dan indeks kerentanan seismik di kawasan FMIPA UGM menggunakan metode HVSR. *Jurnal Geosaintek*, 5(2).
- Ulfiana, E., Said, A. R., Rian, P., & Piju, A. (2018). Analisis pendekatan empiris PGA (Peak Ground Acceleration) Pulau Bali menggunakan metode Donovan, McGuire, dan M. V. Mickey. *Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika*, 2(2).
- Wald, D. J., Quitoriano, V., Heaton, T. H., & Kanamori, H. (1999). Relationships between peak ground acceleration, peak ground velocity, and Modified Mercalli Intensity in California. *Earthquake Spectra*, 15(3), 557–564.