

Pemetaan Nilai Regangan Geser Tanah Untuk Kejadian-Kejadian Gempa Bumi Dengan Magnitude $M \geq 6.0$ SR Di Kota Jayapura

Bonifasius Y. Boy*¹ Steven Y.Y. Mantiri², Kezia N. Anouw³

^{1,3}Program Pendidikan Fisika, FKIP Universitas Cenderawasih

²Program Studi Geofisika, FMIPA Universitas Cenderawasih

email: boniyanwar@gmail.com

ABSTRACT

Research on ground shear strain for earthquakes with a magnitude of $M 6.00$ SR by involving microtremor data was carried out for the Jayapura City area. The purpose of this study is to estimate and map the value of the ground shear strain due to earthquake events with a magnitude scale of $M \geq 6.0$ SR. The research method used is the field measurement method and advanced geophysical analysis. Microtremor spectrum was measured using a seismograph recording device. Microtremor data were analyzed using the HVSr (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) method to give the frequency and period of dominant ground, where these values were used to calculate the shear strain value of the ground. The study area covers the area of Jayapura City with coordinates of $2.0 - 4.0$ South and $139.0 - 141.5$ East. Microtremor measurements were carried out at 50 measurement points. The control earthquakes used were 10 selected events in the period 1964 – 2021. The results showed that the value of the ground shear strain for the occurrence of 3 earthquakes with a magnitude of $M \geq 6.00$ SR gave varied results. The December 16, 2018 earthquake, at 09:42:37,200 GMT gave a size of $4.5811 \times 10^{-4} - 1.2990 \times 10^{-2}$. The earthquake of September 17, 2016, at 01:20:17.940 GMT gave a size of $1.8740 \times 10^{-3} - 4.6295 \times 10^{-2}$. The January 18, 2020 earthquake, at 16:38:14,301 GMT gave a size of $4.4302 \times 10^{-4} - 1.1713 \times 10^{-2}$. The highest ground shear strain values occurred in the northern part of Abepura District, around the central and northern parts of Heram District, and the central part of Muara Tami District. Phenomena that may occur in the form of vibrations, waves, subsidence and compaction of ground and landslides.

Keywords: ground shear strain, earthquake, microtremor, Jayapura City

ABSTRAK

Penelitian regangan geser tanah untuk gempa bumi dengan magnitudo $M 6,00$ SR dengan melibatkan data mikrotremor telah dilakukan untuk wilayah Kota Jayapura. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperkirakan dan memetakan nilai regangan geser tanah akibat kejadian gempa bumi dengan skala magnitudo $M \geq 6.0$ SR. Metode penelitian yang digunakan adalah metode pengukuran lapangan dan analisis geofisika lanjutan. Spektrum mikrotremor diukur menggunakan alat perekam seismograf. Data mikrotremor dianalisis menggunakan metode HVSr (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) untuk mengetahui frekuensi dan periode tanah dominan, dimana nilai tersebut digunakan untuk menghitung nilai regangan geser tanah. Daerah penelitian meliputi wilayah Kota Jayapura dengan koordinat $2.0 - 4.0$ Selatan dan $139,0 - 141,5$ Timur. Pengukuran mikrotremor dilakukan pada 50 titik pengukuran. Gempa kontrol yang digunakan adalah 10 kejadian terpilih pada periode 1964 – 2021. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai regangan geser tanah untuk terjadinya 3 gempa dengan magnitudo $M \geq 6.00$ SR memberikan hasil yang bervariasi. Gempa bumi 16 Desember 2018, pukul 09:42:37,200 GMT memberikan ukuran $4,5811 \times 10^{-4} - 1,2990 \times 10^{-2}$. Gempa 17 September 2016, pukul 01:20:17.940 GMT memberikan ukuran $1,8740 \times 10^{-3} - 4,6295 \times 10^{-2}$. Gempa 18 Januari 2020, pukul 16:38:14,301 GMT memberikan ukuran $4,4302 \times 10^{-4} - 1,1713 \times 10^{-2}$. Nilai regangan geser tanah tertinggi terjadi di Kecamatan Abepura bagian utara, sekitar Kabupaten Heram bagian tengah dan utara, serta Kecamatan Muara Tami bagian tengah. Fenomena yang mungkin terjadi berupa getaran, gelombang, subsidensi dan pemadatan tanah serta longsor.

Kata kunci: Regangan Geser Tanah, Gempa Bumi, Mikrotremor, Kota Jayapura

This is an open-access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license



1. Pendahuluan

Kota Jayapura terletak di daerah paling timur wilayah Indonesia dengan batas-batas koordinat yaitu $1^{\circ}28'17,26''$ LS - $3^{\circ}58'082''$ LS dan $137^{\circ}34'10,6''$ BT - $141^{\circ}0'8'22''$ BT. Kota Jayapura termasuk kategori kota yang sedang berkembang, dimana Pemerintah Kota masih terus mengembangkan dan membangun infrastruktur untuk mendukung proses kehidupan yang berlangsung di kota tersebut.

Dalam hal seismisitas, wilayah Kota Jayapura seirama dan dipengaruhi kuat oleh sistem tatanan tektonik regional yang terjadi atas wilayah Papua dan Papua Barat. Papua dan Papua Barat terletak pada daerah pertemuan 3 lempeng kerak bumi yaitu lempeng Pasifik (lempeng Caroline) yang bergerak dari utara relatif ke arah barat menyusup di bawah lempeng Hindia-Australia, dimana lempeng Hindia-Australia bergerak relatif ke arah utara dan lempeng Hindia-Australia menyusup di bawah lempeng Eurasia di sebelah barat Papua dan Papua Barat. Akibat kondisi ini, wilayah Papua dan Papua Barat mengalami gaya pemampatan berarah barat daya-timur laut yang menyebabkan di wilayah ini terjadi banyak patahan, lipatan, dan pegunungan. Kondisi-kondisi ini menyebabkan wilayah Papua dan Papua Barat banyak di guncang gempa bumi. Kondisi ini menyebabkan wilayah Jayapura rawan dan telah dilanda oleh beberapa gempa bumi dengan skala magnitudo yang relatif besar.

Regangan geser tanah atau *ground shear strain* menggambarkan level kemampuan tanah di suatu daerah bergeser saat terjadinya gempa bumi. Penelitian tentang regangan geser tanah sudah banyak dilakukan. Penelitian tentang identifikasi gerakan tanah longsor dengan pendekatan *ground shear strain* menggunakan mikroseismik di Graha Taman Nirwana Kota Semarang[1]. Penelitian tentang analisis kerentanan seismik Kelurahan Pondok Betung berdasarkan Nilai *Ground Shear Strain* (GSS)[2]. Penelitian tentang estimasi *ground shear strain* Kota Padang Sumatera Barat Berdasarkan respon mikrotremor[3]. Penelitian tentang analisis GSS (*Ground Shear Strain*) dengan metode HVSR menggunakan data mikroseismik pada jalur sesar Opak[4].

Setiap gempa bumi yang terjadi di Wilayah Jayapura memberikan efek guncangan yang berbeda-beda. Berdasarkan kondisi-kondisi ini, maka dilakukan suatu kajian tentang regangan geser tanah di wilayah Kota Jayapura. Kajian ini dilakukan untuk memperkirakan dan memetakan nilai regangan geser tanah akibat kejadian-kejadian gempa bumi dengan skala magnitudo $M \geq 6.0$ SR.

Gempa Bumi

Gempa bumi merupakan fenomena alam yang bersifat merusak dan menimbulkan bencana. Ukuran sebuah gempa bumi adalah parameter yang sangat penting dan dapat dijelaskan dengan cara-cara yang berbeda[5]. Istilah yang sering dipakai untuk ukuran sebuah gempa bumi adalah intensitas gempa bumi, magnitudo gempa bumi dan energi yang dilepaskan[5]. Dari ketiga ukuran gempa bumi, istilah yang paling terkenal di kalangan masyarakat umum adalah magnitudo gempa bumi. Gempa bumi berdasarkan magnitudo yaitu:[6]

- 1) Gempa bumi sangat besar yaitu gempa bumi dengan magnitudo lebih besar 8,0 SR.
- 2) Gempa bumi besar yaitu gempa bumi dengan magnitudo dari 7,0 hingga 8,0 SR.
- 3) Gempa bumi kuat yaitu gempa bumi dengan magnitudo dari 6,0 hingga 7,0 SR.
- 4) Gempa bumi sedang yaitu gempa bumi dengan magnitudo dari 5,0 hingga 6,0 SR.
- 5) Gempa bumi ringan yaitu gempa bumi dengan magnitudo dari 4,0 hingga 5,0 SR.
- 6) Gempa bumi kecil yaitu gempa bumi dengan magnitudo dari 3,0 hingga 4,0 SR.
- 7) Gempa bumi mikro yaitu gempa bumi dengan magnitudo dari 0,0 hingga 3,0 SR.

Mikrotremor

Mikrotremor merupakan vibrasi lemah di permukaan bumi. Mikrotremor merupakan getaran tanah yang sangat kecil dan terus menerus yang bersumber dari berbagai macam getaran seperti lalu lintas, angin, aktivitas manusia dan lain-lain[7]. Analisis mikrotremor dapat digunakan untuk mengetahui karakteristik lapisan tanah berdasarkan parameter periode dominan dan faktor penguat gelombang (amplifikasi). Data yang diperoleh dari hasil pengukuran mikrotremor berupa data gelombang tiga komponen (EW, NS, V). Hingga saat ini ada beberapa teknik yang banyak digunakan untuk menganalisa data vibrasi, salah satunya adalah *Single Station Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio on noise* (NHVSR) yang kemudian dikembangkan oleh Lermo dan Chavez Garcia [8]. Pada saat ini metode NHVSR lebih dikenal dengan nama metode HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*). Metode HVSR merupakan metode membandingkan spektrum komponen horizontal terhadap komponen vertikal dari gelombang mikrotremor. Nakamura (1989) menyatakan bahwa perbandingan spektrum H/V sebagai fungsi frekuensi berhubungan erat dengan fungsi *site transfer* untuk gelombang S. Perbandingan H/V pada mikrotremor adalah perbandingan kedua komponen yang secara teoritis menghasilkan suatu nilai. Periode dominan suatu lokasi secara dasar dapat diperkirakan dari periode puncak perbandingan H/V mikrotremor[9]. Analisis HVSR pada spektrum mikrotremor akan

memberikan frekuensi dominan tanah. Nilai periode dominan tanah di tempat itu dihitung berdasarkan hubungan:

$$T = \frac{1}{f} \quad (1)$$

dengan T adalah periode (s), dan f adalah frekuensi (Hz)[10].

Percepatan Tanah Maksimum

Nilai percepatan tanah yang diperhitungkan pada perencanaan bangunan adalah nilai percepatan tanah maksimum. Percepatan tanah maksimum akibat gempa bumi adalah percepatan tanah maksimum yang terjadi pada suatu titik pada posisi tertentu dalam suatu kawasan yang dihitung dari akibat semua gempa bumi yang terjadi pada kurun waktu tertentu dengan memperhatikan besar magnitude dan jarak hiposenternya, serta periode dominan tanah dimana titik tersebut berada. Satuan yang digunakan dalam pengukuran percepatan tanah maksimum adalah centimeter per detik² atau disebut *gal*. Penentuan nilai percepatan tanah maksimum di suatu tempat dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu dengan alat pengukur yaitu accelerograf dan dengan cara perhitungan pendekatan secara empiris. Metode empiris merupakan cara alternatif jika jaringan accelerograf kurang mendukung. Pendekatan metode empiris, tidak selalu benar, namun cukup memberikan gambaran umum tentang percepatan tanah maksimum[12]. Penentuan nilai percepatan

tanah dengan melibatkan periode alami tanah (mikrotremor) dapat dihitung berdasarkan persamaan Kanai.

$$\alpha_g = \frac{5}{\sqrt{T_0}} 10^{\left(0.61M - \left(1.66 + \frac{3.6}{R}\right) \log R + 0.167 - \frac{1.83}{R}\right)} \quad (2)$$

dengan T_0 adalah periode dominan tanah, M adalah magnitudo gempa bumi dan R adalah jarak hiposenter[13].

Regangan Geser Tanah

Regangan geser tanah merupakan salah satu variabel atau indikator yang dipakai pada kajian dasar pembangunan infrastruktur di suatu wilayah pembangunan. Variabel ini ditentukan berdasarkan analisis data mikrotremor suatu lokasi. Semakin tinggi nilai *ground shear strain* akan menyebabkan lapisan tanah semakin mudah mengalami deformasi dan sebaliknya. Regangan geser tanah (*ground shear strain*) ditentukan berdasarkan persamaan oleh Nakamura (1996)

$$\gamma = \frac{A a_{pga}}{\pi^2 V_s f_0} \quad (3)$$

dengan γ adalah regangan geser tanah, A adalah amplifikasi getaran tanah, a_{pga} adalah percepatan tanah maksimum, V_s adalah kecepatan gelombang geser (*shear*) dan f_0 adalah frekuensi alami tanah[13]. Nakamura (1996) memberikan justifikasi hubungan antara regangan geser tanah dengan sifat dinamis tanah, ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Hubungan regangan geser tanah dengan sifat dinamis[13]

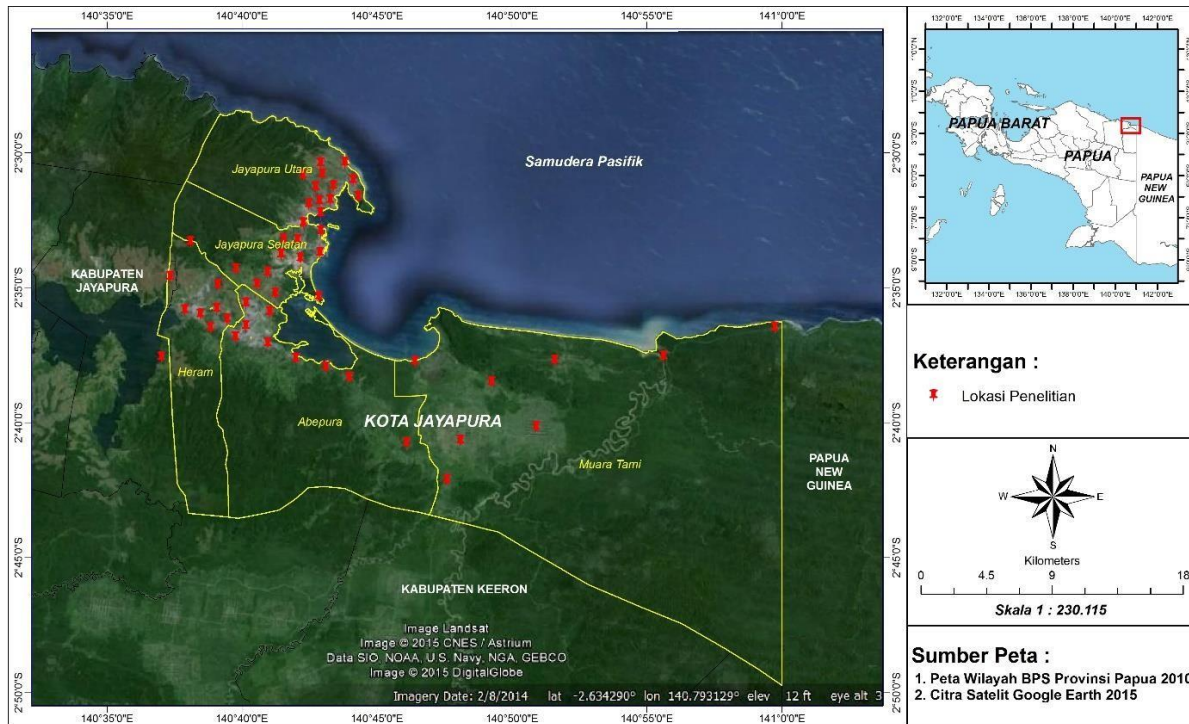
Ukuran Regangan (γ)	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}
Fenomena	Gelombang, Getaran		Retak, Penurunan Tanah		Longsor, Pemadatan Tanah, Likuifaksi	
Sifat Dinamis	Elastisitas		Elasto-plastisitas		Efek Perulangan, Efek Kecepatan Pemuaian	

2. Metode

Metode penelitian yang digunakan adalah metode pengukuran di lapangan dengan menggunakan alat perekam mikrotremor dan analisis geofisika lanjutan. Data mikrotremor yang terekam dilapangan dianalisis dengan menggunakan metode HVSZ (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) untuk memperoleh nilai nilai frekuensi dan periode dominan tanah. Nilai frekuensi dan periode dominan tanah digunakan untuk menghitung nilai percepatan tanah maksimum. Perhitungan nilai regangan geser tanah menggunakan data sejarah gempa bumi besar yang pernah terjadi di sekitar wilayah Kota Jayapura.

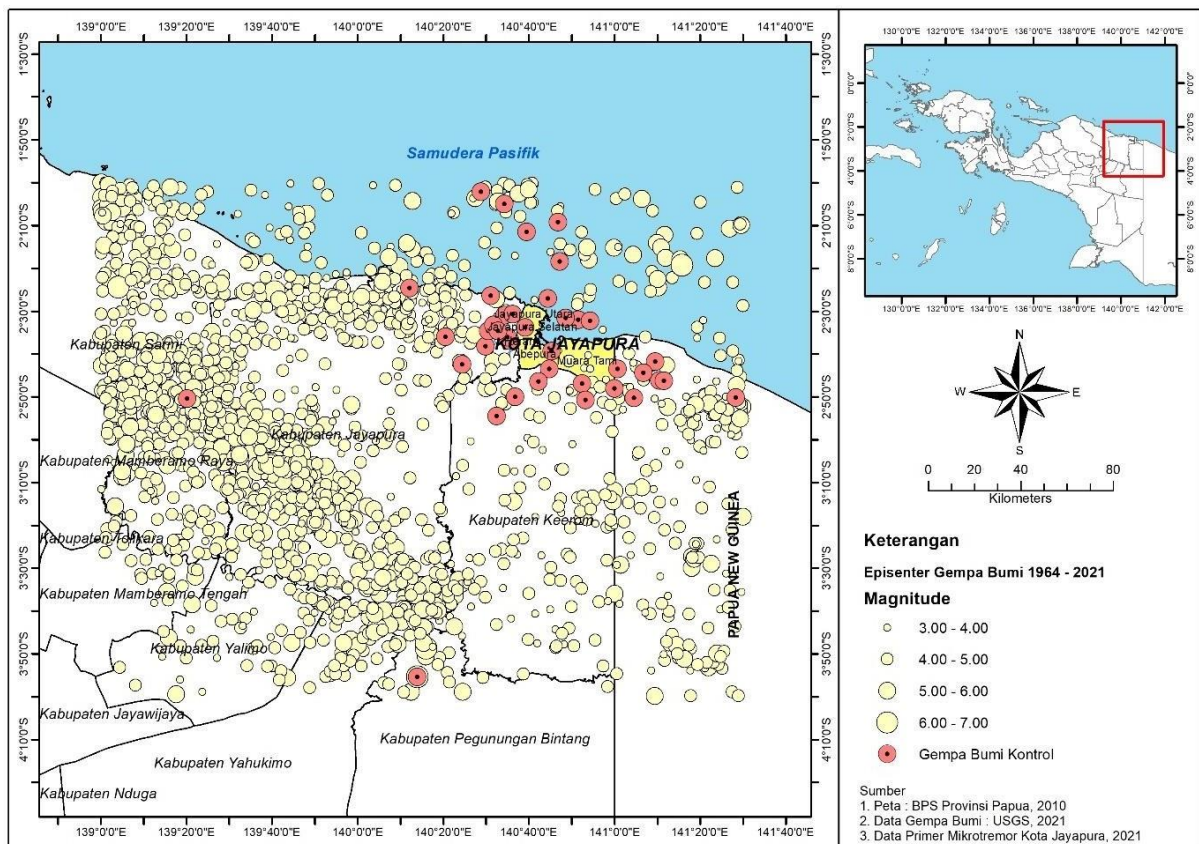
Data penelitian terdiri atas data primer lapangan dan data sekunder. Data primer lapangan

berupa data spektrum mikrotremor yang direkam di lokasi pengukuran. Mikrotremor diukur dengan alat *portable digital seismograph* 3 komponen (utara-selatan, timur-barat dan vertikal) periode pendek merek TDL 303S yang dilengkapi dengan GPS satelit untuk mengontrol ketepatan waktu dan koordinat lokasi. Data sekunder berupa data sejarah gempa bumi yang pernah terjadi di wilayah Jayapura dan sekitarnya dari beberapa sumber seperti BMKG Indonesia, ANSS California Utara dan USGS. Wilayah kajian meliputi wilayah Kota Jayapura dengan batas koordinat 2,0 – 4,0 LS dan 139,0 – 141,5 BT. Lokasi pengukuran mikrotremor berjumlah 50 titik survei mikrotremor. Lokasi penelitian ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Titik lokasi penelitian

3. Hasil Dan Pembahasan

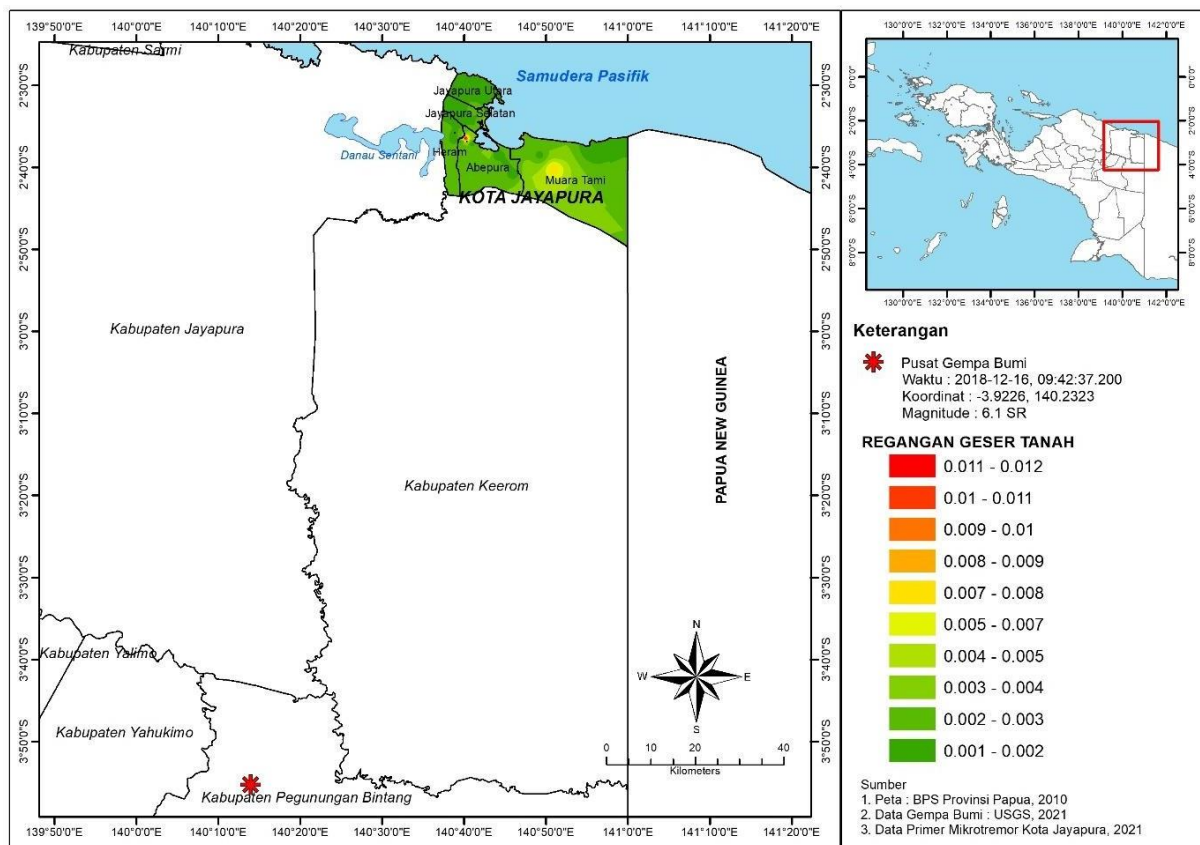


Gambar 2. Gempa bumi di wilayah Kota Jayapura dan sekitarnya periode tahun 1964 - 2021

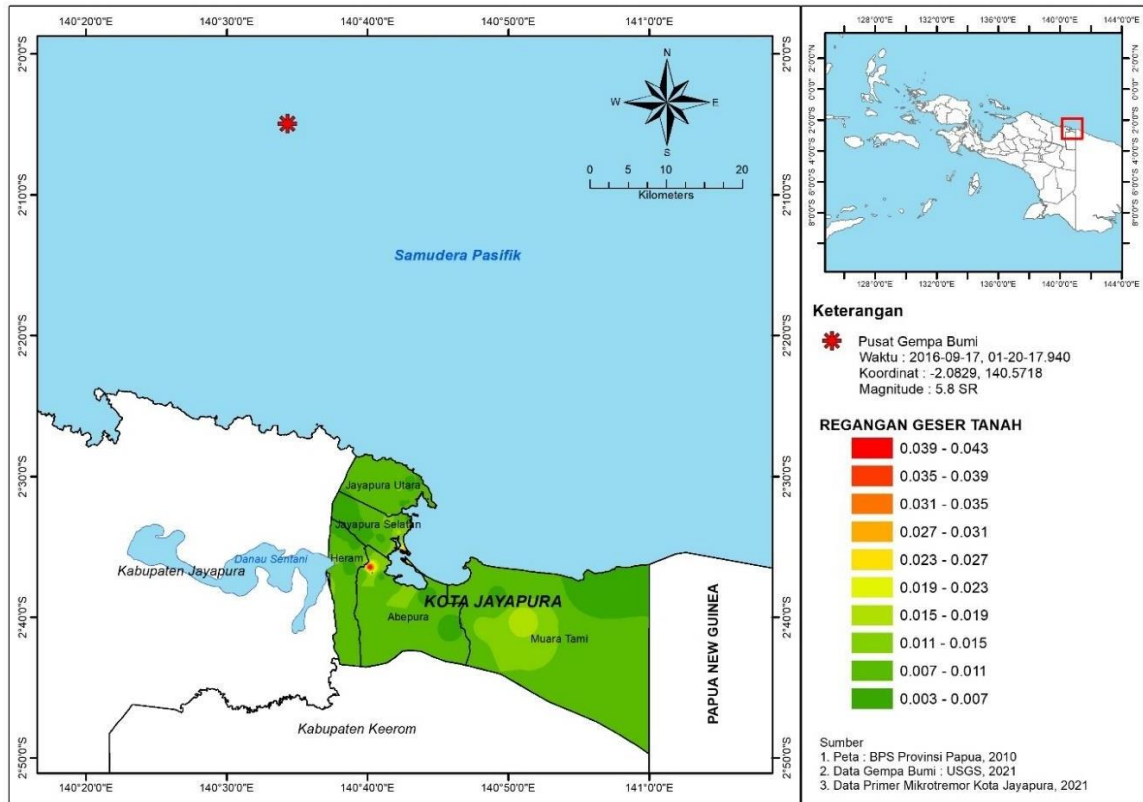
Boy, et al. Pemetaan Nilai Regangan Geser Tanah Untuk Kejadian-Kejadian Gempa Bumi Dengan Magnitude $M \geq 6.0$ Sr Di Kota Jayapura

Tabel 2. Sejarah gempa bumi besar sebagai gempa bumi control

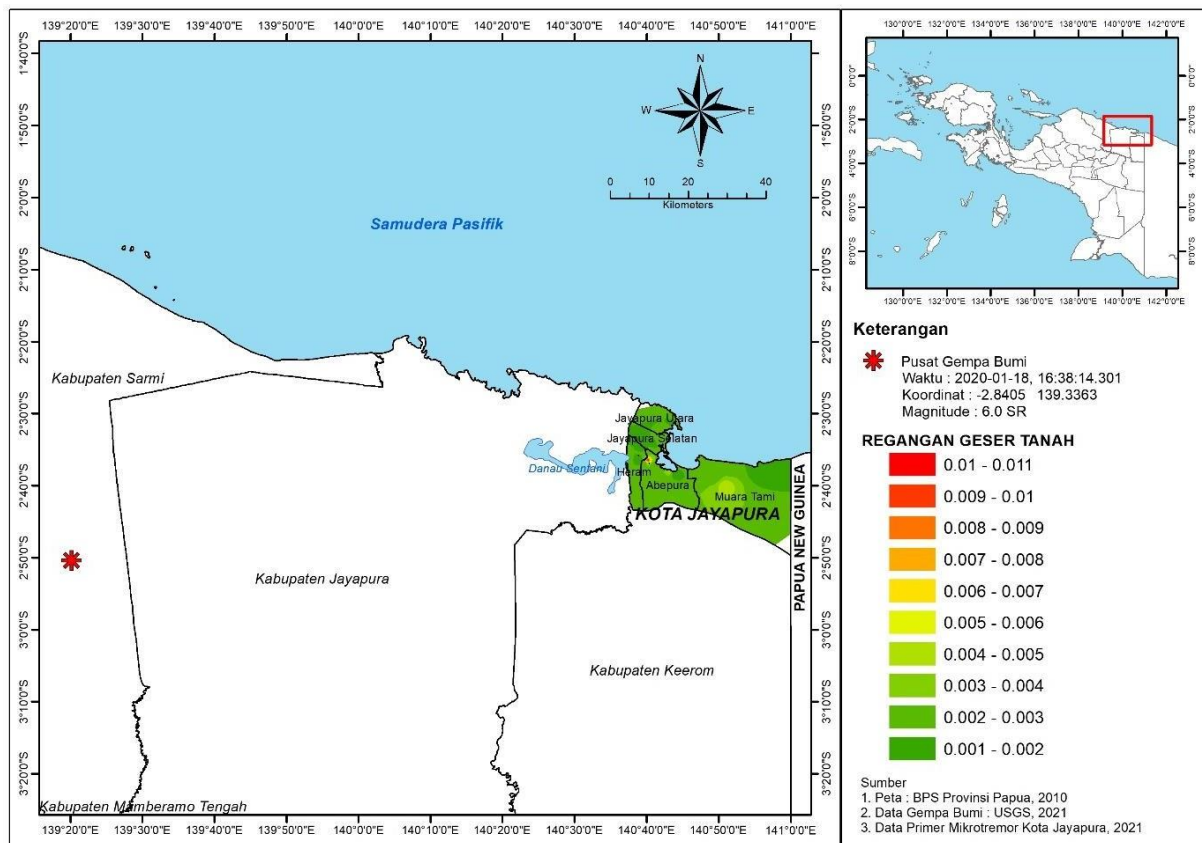
No.	Waktu Kejadian (Tanggal, Jam, GMT)	Posisi (Lintang dan Bujur)	Kedalaman (km)	Magnitude (SR)	Tipe Magnitude
1	2018-12-16, 09:42:37.200	3.9226 LS dan 140.2323 BT	61.97	6.10	Mw
2	2016-09-17, 01:20-17.940	2.0829 LS dan 140.5718 BT	9.00	6.00	Mw
3	2020-01-18, 16:38:14.301	2.8405 LS dan 139.3363 BT	44.00	6.00	Mw



Gambar 3. Sebaran nilai regangan geser tanah di wilayah Kota Jayapura untuk kejadian gempa bumi 2018-12-16, 09:42:37.200 GMT



Gambar 4. Sebaran nilai regangan geser tanah di wilayah Kota Jayapura untuk kejadian gempa bumi 2016-09-17, 01:20:17.940 GMT



Gambar 5. Sebaran nilai regangan geser tanah di wilayah Kota Jayapura untuk kejadian gempa bumi 2020-01-18, 16:38:14.301 GMT

Boy, et al. Pemetaan Nilai Regangan Geser Tanah Untuk Kejadian-Kejadian Gempa Bumi Dengan Magnitude $M \geq 6.0$ Sr Di Kota Jayapura

Seismisitas

Wilayah Jayapura tergolong sebagai wilayah dengan aktivitas kegempaan yang cukup tinggi. Wilayah Jayapura dan sekitarnya dengan batas wilayah kajian $2^{\circ} - 4^{\circ}$ LS dan $139 - 141,5^{\circ}$ BT mengalami kejadian gempa bumi sebanyak 2110 kejadian (ANSS Catalog) selama kurun waktu 1964 – 2021 atau kurang lebih 57 tahun. Jumlah rata-rata kasar kejadian gempa bumi untuk kurun waktu tersebut adalah sekitar 37 kejadian per tahun. Jumlah kejadian gempa bumi dengan magnitudo $\geq 5,0$ SR sekitar 395 kejadian. Jumlah kejadian gempa bumi $< 5,0$ SR sekitar 1715 kejadian. Sebaran episenter gempa bumi di wilayah Kota Jayapura pada interval waktu 57 tahun disajikan pada gambar 2. Perhitungan nilai percepatan tanah maksimum menggunakan data sejarah gempa bumi besar yang pernah terjadi sebagai gempa bumi kontrol, seperti ditunjukkan pada tabel 2.

Regangan Geser Tanah

Nilai regangan geser tanah dihitung berdasarkan atenuasi percepatan tanah maksimum oleh Kanai (1966) dengan melibatkan data mikrotremor pada pengukuran 50 titik di wilayah Kota Jayapura. Faktor jarak pusat gempa bumi terhadap lokasi pengukuran data mikrotremor menggunakan variabel jarak episenter^[13].

Pada gambar 3 tampak pusat gempa bumi berlokasi di sekitar Kabupaten Pegunungan Bintang, terjadi pada 16 Desember 2018, pukul 09:42:37.200 GMT. Jarak rata-rata sumber gempa bumi dengan wilayah kota Jayapura ± 158 km. Regangan geser tanah pada wilayah Kota Jayapura akibat gempa bumi ini pada ukuran terendah $4,5811 \times 10^{-4}$ dan ukuran tertinggi $1,2990 \times 10^{-2}$. Rata-rata orde nilai regangan tanah pada ukuran $2,600 \times 10^{-3}$. Sebagian besar nilai regangan tanah di wilayah Kota Jayapura berada pada kisaran orde 10^{-4} dengan fenomena berupa getaran, gelombang, retakan dan penurunan tanah. Nilai regangan geser tanah tertinggi terjadi di Distrik Abepura bagian utara. Selain itu, sebaran nilai ini juga terjadi di Distrik Muara Tami bagian tengah. Fenomena yang terjadi akibat gempa bumi ini dapat berupa getaran, gelombang, penurunan dan pemadatan tanah.

Pada gambar 4 tampak pusat gempa bumi berlokasi di sebelah utara Kota dan Kabupaten Jayapura, terjadi pada 17 September 2016, pukul 01:20:17.940 GMT. Jarak rata-rata sumber gempa bumi dengan wilayah kota Jayapura ± 58 km. Regangan geser tanah pada wilayah Kota Jayapura akibat gempa bumi ini pada ukuran terendah $1,8740 \times 10^{-3}$ dan ukuran tertinggi $4,6295 \times 10^{-2}$. Rata-rata orde nilai regangan tanah pada ukuran $9,691 \times 10^{-3}$.

Boy, et al. Pemetaan Nilai Regangan Geser Tanah Untuk Kejadian-Kejadian Gempa Bumi Dengan Magnitude $M \geq 6.0$ Sr Di Kota Jayapura

Sebagian besar nilai regangan tanah di wilayah Kota Jayapura berada pada kisaran orde 10^{-3} dengan fenomena berupa getaran, gelombang, retakan dan penurunan tanah. Nilai regangan geser tanah tertinggi terjadi di Distrik Abepura bagian utara. Selain itu, sebaran nilai ini juga terjadi di Distrik Muara Tami bagian tengah. Fenomena yang terjadi akibat gempa bumi ini dapat berupa getaran, gelombang, penurunan dan pemadatan tanah.

Pada gambar 5 tampak pusat gempa bumi berlokasi di sebelah utara Kota dan Kabupaten Jayapura, terjadi pada 18 Januari 2020, pukul 16:38:14.301 GMT. Jarak rata-rata sumber gempa bumi dengan wilayah kota Jayapura ± 156 km. Regangan geser tanah pada wilayah Kota Jayapura akibat gempa bumi ini pada ukuran terendah $4,4302 \times 10^{-4}$ dan ukuran tertinggi $1,1713 \times 10^{-2}$. Rata-rata orde nilai regangan tanah pada ukuran $2,2920 \times 10^{-3}$. Sebagian besar nilai regangan tanah di wilayah Kota Jayapura berada pada kisaran orde 10^{-3} dengan fenomena berupa getaran, gelombang, retakan dan penurunan tanah. Nilai regangan geser tanah tertinggi terjadi di Distrik Abepura bagian utara. Selain itu, sebaran nilai ini juga terjadi di Distrik Muara Tami bagian tengah. Fenomena yang terjadi akibat gempa bumi ini dapat berupa getaran, gelombang, penurunan dan pemadatan tanah.

4. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang diperoleh pada penelitian ini yaitu:

Nilai regangan geser tanah untuk wilayah Kota Jayapura untuk 3 gempa bumi dengan magnitudo $M \geq 6.00$ SR yaitu :

- Gempa bumi 2018-12-16, 09:42:37.200 GMT memberikan ukuran $4,5811 \times 10^{-4} - 1,2990 \times 10^{-2}$.
- Gempa bumi 2016-09-17, 01:20:17.940 GMT memberikan ukuran $1,8740 \times 10^{-3} - 4,6295 \times 10^{-2}$.
- Gempa bumi 2020-01-18, 16:38:14.301 GMT memberikan ukuran $4,4302 \times 10^{-4} - 1,1713 \times 10^{-2}$

Nilai regangan geser tanah tertinggi terjadi di Distrik Abepura bagian utara dan Distrik Muara Tami bagian tengah dengan fenomena yang berupa getaran, gelombang, penurunan dan pemadatan tanah serta longsor.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu sehingga penelitian ini bisa dilaksanakan, yaitu:

1. Sarlina Lunga, S.Si.,M.Si. yang sudah membantu dalam pengukuran data amikrotremor.

2. Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) Universitas Cenderawasih yang telah membiayai penelitian.
3. Stasiun Geofisika Klas I Angkasapura, Jayapura yang sudah mengizinkan menggunakan alat meikrotremor.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ANSS (Advanced National Seismic System), Berkeley Seismological Laboratory, University of California, www.quake.geo.berkeley.edu.
- [2] Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), www.bmkg.go.id.
- [3] Ibrahim, G. dan Subardjo, 2003. *Pengetahuan Seismologi*, Badan Meteorologi dan Klimatologi, Manado.
- [4] Kanai, K., 1966. *Improved Empirical Formula for Characteristics of Stray Earthquake Motion*, Prociding Japan Earthquake Symposium, pp. 1 – 4 (in Japanese).
- [5] Kanai, K., 1983. *Engineering seismology*, University of Tokyo Press, Tokyo, Japan, 251. Katz, L.J. 1976, *Microtremor assesment of local geological conditions*, Bulletin of the Seismological Society of America, 66, pp. 45-60.
- [6] Kramer, S.L., 1996, *Geotechnical Earthquake Engineering*, Prentice-Hall, Inc., New Jersey.
- [7] Lermo, J., and Chavez-Garcia, F.J., 1993. *Site Effect Evaluation Using Spectral Ratios with Only One Station*, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol 83, No. 5, pp. 1574 – 1594.
- [8] Nakamura, Y., 1996. Real time information systems for seismic hazards mitigation UrEDAS, HERAS and PIC. Quarterly report of RTRI, Vol. 37, No.3, hal.112-127.
- [9] Nakamura, Y., 1989. *A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface Using Microtremor on the Ground Surface*. Quarterly Report of RTRI, vol. 30, No. 1, Page No. 25 to 33.
- [10] Nakamura, Y., 2000. *Clear Identification of Fundamental Idea of Nakamura's Technique and Its Applications*, 12th WCEE (World Conference on Earthquake Engineering), Auckland, New Zealand.
- [11] SESAME, 2004. *Guidelines for the Implementation of the H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations - Measurements, Processing and Interpretation*, SESAME European research project, European Commission – Research General Directorate.
- [12] Sun, F., and Peng, K. 1993. Attenuation of strong ground motion in western U.S.A. *Earthquake Research in China*, 7(1), 119–131.
- [13] Tong and Katayama., 1988. Peak Acceleration Attenuation By Eliminating The Ill-Effect Of The Correlation Between Magnitude And Epicentral Distance, *Proceedings Of Ninth World Conference On Eartquake Engineering*, Vol. II, pages 349-354.