

Uji Signifikansi Stasiun GPS Kontinu dan Periodik dalam Identifikasi Pergerakan Koseismik

Ongky Anggara^{1*}, Satrio Muhammad Alif^{1,2}, Andhika Wahyu Pratama¹, Wendi Melvin Hutabarat¹

¹Program Studi Teknik Geomatika, Jurusan Teknologi Infrastruktur dan Kewilayahan, Institut Teknologi Sumatera, Jl. Terusan Ryacudu, Way Huwi, Kec. Jati Agung, Kabupaten Lampung Selatan, Lampung 35365

²Department of Geomatics, National Cheng Kung University, Taiwan

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 24 Agustus 2023
Direvisi: 11 November 2023
Diterima: 22 Desember 2023

Kata kunci:

Gempa Bumi
GPS
Koseismik
Uji signifikansi

Keywords:

Earthquake
GPS
Coseismic
Significance test

Penulis Korespondensi:

Ongky Anggara
Email: ongky.anggara@gt.itera.ac.id

ABSTRAK

Pengukuran pergerakan bumi dengan menggunakan sistem GPS telah menjadi bagian penting dalam pemahaman deformasi kerak bumi yang berkaitan dengan aktivitas seismik. Dalam penelitian ini dilakukan uji signifikansi dari stasiun GPS yang beroperasi secara kontinu dan periodik dalam mengidentifikasi pergerakan koseismik gempa Pesisir Barat pada 10 Maret 2020 (M5,8) dan gempa Bengkulu pada 19 Agustus 2020 (M6,8). Pengolahan data GPS menggunakan perangkat lunak GAMIT/GLOBK yang bertujuan untuk mendapatkan koordinat dan nilai pergeseran koseismik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata titik tidak menunjukkan pergeseran secara signifikan baik dari data GPS kontinu maupun data GPS periodik. Terdapat satu titik pengamatan yang menunjukkan pergeseran secara signifikan yaitu stasiun pengamatan PRKB yang menunjukkan pergeseran sebesar ~2-3 mm. Uji signifikansi dipengaruhi oleh nilai pergeseran koseismik dan standar deviasinya yang dipengaruhi mekanisme gempa. Uji signifikansi dari pengamatan stasiun GPS menunjukkan tidak terdapat perbedaan baik dari data GPS secara kontinu maupun GPS secara periodik pada uji signifikansi karena gempa yang diamati relatif kecil sehingga menghasilkan pergeseran koseismik yang relatif kecil.

Measurement of the earth's movement using the GPS system has become an important part of understanding the deformation of the earth's crust associated with seismic activity. This study investigated to examine the significance of GPS stations that operate continuously and periodically in identifying the coseismic displacement of the Banten earthquake on August 2 2019 and the Bengkulu earthquake on August 19 2020. Data processing using GAMIT/GLOBK software to obtain coordinates and coseismic displacement values. The results showed that the average GPS observation insignificant displacement from continuous GPS data or periodic GPS data. There is one observation GPS observation that shows a significant shift, namely the PRKB observation station with a value is ~2-3 mm. The significance test is influenced by the value of the coseismic displacement and standard deviation which affects the earthquake mechanism. The significance test from the GPS station observations showed that there was no difference from both continuous and periodic GPS data in the earthquake significance test because the observations were relatively small resulting in relatively small coseismic displacement

Copyright © 2024 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

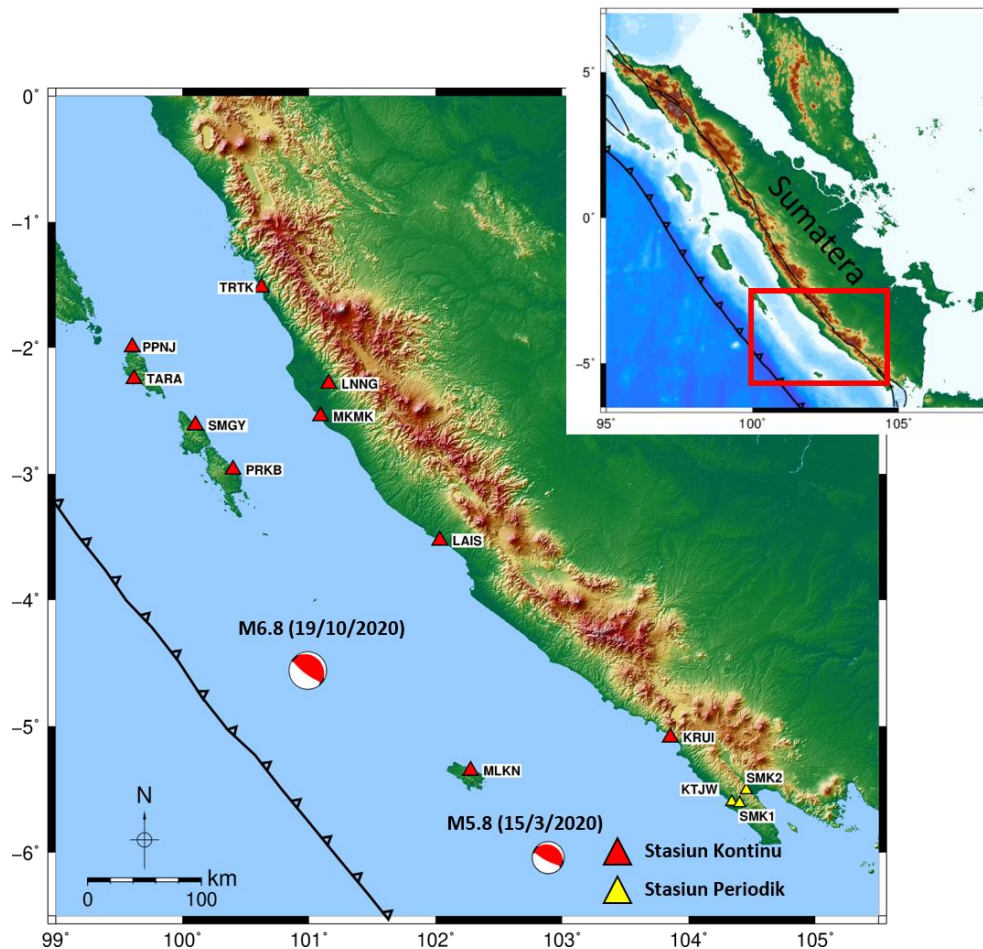
Global Position System (GPS) merupakan sistem penentuan posisi yang berbasis satelit yang menyediakan posisi tiga dimensi, kecepatan, dan informasi waktu kepada pengguna yang berada atau di dekat permukaan bumi selama 24 jam (Wellenhop et al., 2007). Pengamatan menggunakan GPS dapat mengamati secara kontinu atau berkala (periodik), dengan ketelitian orde hingga milimeter. Konsep dalam penentuan posisi koordinat menggunakan GPS adalah metode pengikatan ke belakang dengan jarak yang dilakukan secara simultan ke beberapa satelit yang koordinatnya telah diketahui (Gambar 1). Pengukuran GPS pada setiap epoknya memiliki empat parameter yang harus ditentukan yaitu 3 parameter koordinat geosentrik atau koordinat geodetik dan satu parameter kesalahan waktu akibat ketidaksinkronan jam osilator di satelit dengan jam di *receiver* GPS (Abidin, 2009). Penggunaan GPS untuk menentukan posisi harus memperhatikan faktor kesalahan dan bias GPS yang berasal dari sinyal GPS yang ditransmisikan tidak diterima secara penuh oleh *receiver* GPS (Abidin, 2009). Dalam prosesnya terdapat beberapa sumber dari kesalahan GPS yaitu kesalahan orbit (*ephemeris*), kesalahan akibat media propagasi (bias *ionosfer* dan bias *troposfer*), kesalahan akibat *receiver* GPS (kesalahan jam *receiver*, kesalahan antena dan *noise*), kesalahan data pengamatan (ambiguitas fase dan *cycle slip*) dan kesalahan akibat lingkungan sekitar *receiver* GPS (*multipath*) (King & Watson, 2010).

Pemanfaatan GPS dapat digunakan dalam pengamatan deformasi kerak (Alif et al., 2023), salah satunya gempa bumi (Banerjee et al., 2007). Gempa bumi menyebabkan deformasi akibat dari pergerakan lempeng-lempeng yang secara tiba-tiba bertumbukan, bergesekan, maupun menindih satu sama lain. Dalam satu siklus gempa bumi terdapat tahapan gempa yaitu: interseismik, praseismik, koseismik dan pascaseismik (Albano et al., 2021). Tahapan koseismik pada gempa bumi merupakan tahap dimana getaran gempa bumi terasa paling kuat dan menyebabkan deformasi dari kerak bumi yang diakibatkan oleh gempa utama dan gempa-gempa susulannya yang besar (Abidin, 2009). Dalam studi terdahulu menggunakan GPS dapat dikuantifikasi pergeseran koseismik seperti pada Gempa bumi Aceh M9,1 26 Desember 2004 mengakibatkan pergeseran koseismik sebesar 5-15 cm (Vigny et al., 2005), gempa bumi Bengkulu M8,5 12 September 2007 mengakibatkan pergeseran koseismik sebesar 2-4 cm (Zheng et al., 2018) dan gempa bumi Banten M6,9 mengakibatkan pergeseran koseismik ~3.4 mm (Alif et al., 2021). Selain itu, wilayah Bengkulu juga terdapat sesar aktif yaitu segmen Kumering dengan pergeseran sesar sebesar 18.2 ± 10 mm/tahun (Alif et al., 2022). Berdasarkan hal tersebut bahwa Sumatera mempunyai potensi aktivitas tektonik yang sangat aktif salah satunya wilayah Bengkulu (Chlieh et al., 2008). Pada penelitian ini menentukan pergeseran koseismik berdasarkan data GPS untuk menguji tingkat signifikansi dari besarnya pergeseran koseismik dan ketelitian pada gempa Bengkulu M6,8 tahun 2020 dan gempa Pesisir Barat M5,8 tahun 2020.

II. METODE

Data GPS kontinu yang digunakan merupakan data dari *Sumatran GPS Array* (SuGAR). SuGAR merupakan stasiun pengamatan GPS kontinu di bawah naungan *Earth Observatory of Singapore* (EOS) dengan kemampuan interval waktu pengamatan 15 detik (McLoughlin et al., 2011). Data GPS kontinu yang digunakan untuk menghitung pergeseran koseismik pada gempa bumi Bengkulu M6,8 19 Agustus 2020 dengan menggunakan 10 titik pengamatan SuGAR di sekitar area gempa.

Data GPS periodik yang digunakan merupakan data pengukuran menggunakan GPS *Geodetic Dual Frequency* secara periodik dengan waktu pengamatan ~24 jam pada masing-masing titik pengamatan. Data GPS yang diperoleh dilakukan pengecekan kualitas data menggunakan *Translation, Editing, dan Quality Checking* (TEQC) untuk mengecek kualitas data pengamatan untuk menganalisis nilai *multipath* (Estey, L.,; Meertens, 1999). Data GPS periodik yang digunakan untuk menghitung pergeseran koseismik dari gempa Pesisir Barat M5,8 10 Maret 2020. Titik-titik pengamatan stasiun GPS yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Lokasi pengamatan titik GPS kontinu (SuGAR) dan *beachball* berwarna hitam menunjukkan mekanisme gempa Bengkulu M6,8

Pengolahan data GPS kontinu maupun periodik menggunakan perangkat lunak ilmiah GAMIT/GLOBK (Herring, King, & McClusky, 2018). Proses pengolahan dilakukan dengan mengolah data utama dan data pendukung sebagai koreksi untuk mendapatkan nilai ketelitian yang baik menggunakan *double-difference* dan *least-squares algorithm* (Herring et al., 2018; Li, 2021) menggunakan kerangka ITRF 2014 (Altamimi et al., 2016). Proses pengolahan data GPS baik kontinu maupun periodik menggunakan titik ikat dari data *International GNSS Service* (IGS) sebagai titik kontrol pengamatan. Hasil dari pengolahan data merupakan koordinat harian dalam koordinat toposentrik. Hasil koordinat toposentrik digunakan untuk menghitung vektor pergeseran gempa. Perhitungan vektor pergeseran dilakukan dengan metode kuadrat terkecil dengan perataan parameter dengan rerata sebelum dan sesudah gempa untuk mendapatkan nilai koseismik (Alif et al., 2021). Perhitungan koseismik pada titik kontinu diamati 10 DoY sebelum dan sesudah gempa, sedangkan pada pengamatan titik periodik diamati pada 1 DoY atau ~24 jam.

Nilai koseismik yang didapat digunakan untuk uji signifikansi pergeseran koseismik. Uji signifikansi ini menggunakan uji statistik *student-t* (Persamaan 1 dan Persamaan 2). Uji signifikansi ini dilakukan dengan membandingkan t hasil olahan dengan t kritikal untuk selang kepercayaan 95% yaitu $t = 1.96$ (Mustofa, 2013). Nilai t hasil olahan didapat dengan membandingkan variabel pergeseran titik dengan resultan standar deviasinya (Faris et al., 2018).

$$t = \frac{P}{\text{standart deviasi}} \quad (1)$$

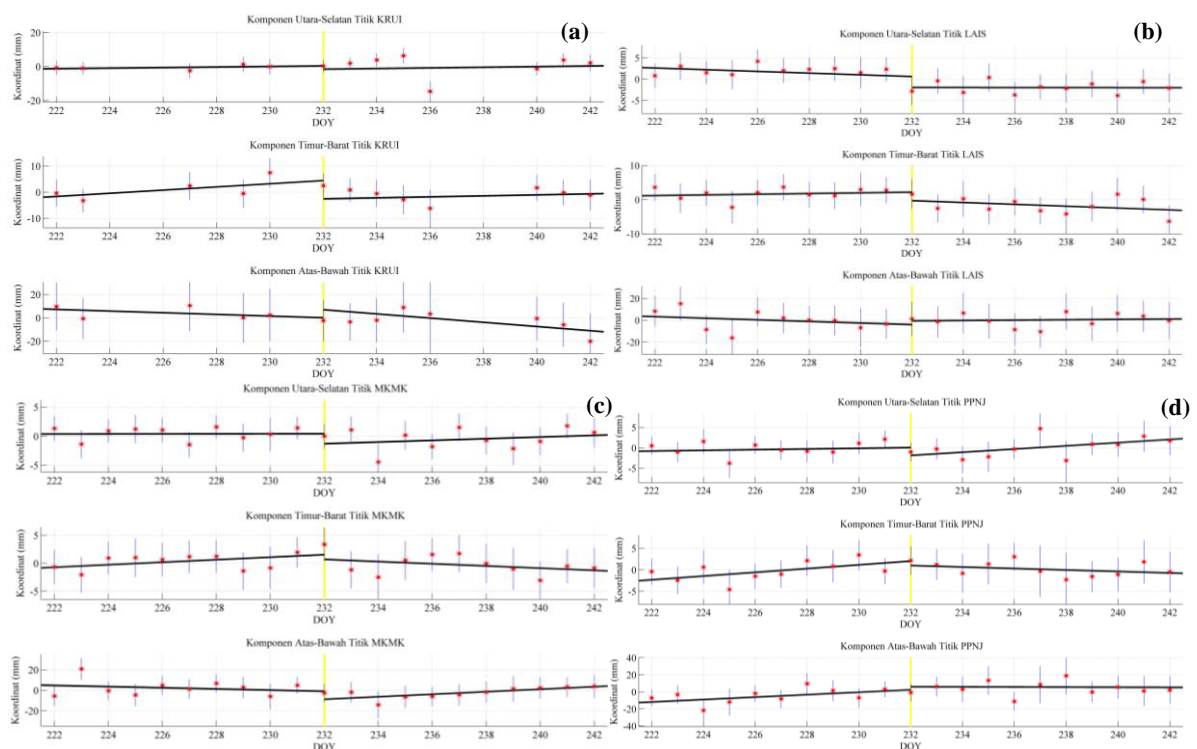
dengan t merupakan nilai yang menunjukkan signifikansi pergeseran, Standar deviasi merupakan resultan standar deviasi dan P merupakan variabel pergeseran titik.

$$t > t_{df \alpha/2} \quad (2)$$

dengan t dinyatakan bergeser secara signifikan jika nilai t lebih besar dibanding nilai $t_{df, \alpha/2}$ atau nilai t kritis untuk selang kepercayaan 95% yaitu = 1.96.

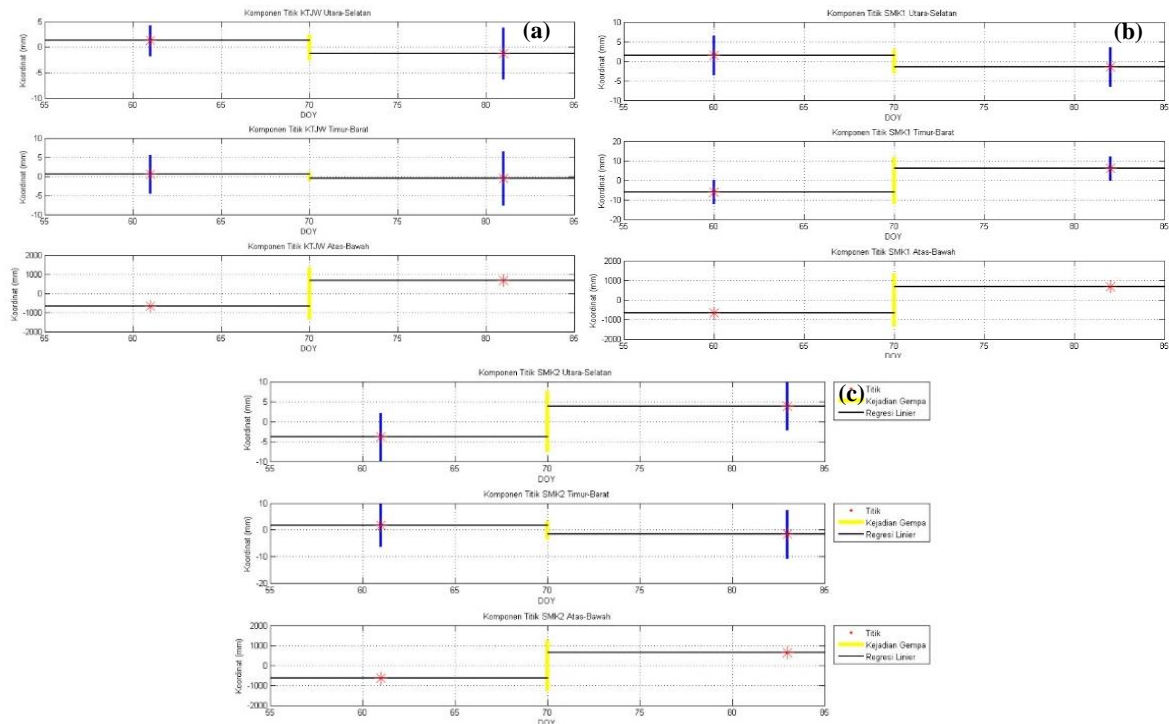
III. HASIL DAN DISKUSI

Hasil dari pengolahan GPS menggunakan GAMIT/GLOBK merupakan rangkaian waktu koordinat. Rangkaian waktu koordinat merupakan visualisasi dari tiga komponen koordinat toposentrik yaitu komponen utara-selatan, komponen timur-barat dan komponen atas-bawah. Hasil rata-rata sebelum dan sesudah gempa merupakan pergeseran koseismik di setiap stasiun pengamatan GPS. Rangkaian waktu koordinat menunjukkan perubahan koordinat di setiap *Day of Year* (DoY) yang diolah. Rangkaian waktu koordinat GPS kontinu pada gempa Bengkulu 19 Agustus 2020 ditunjukkan pada Gambar 2.



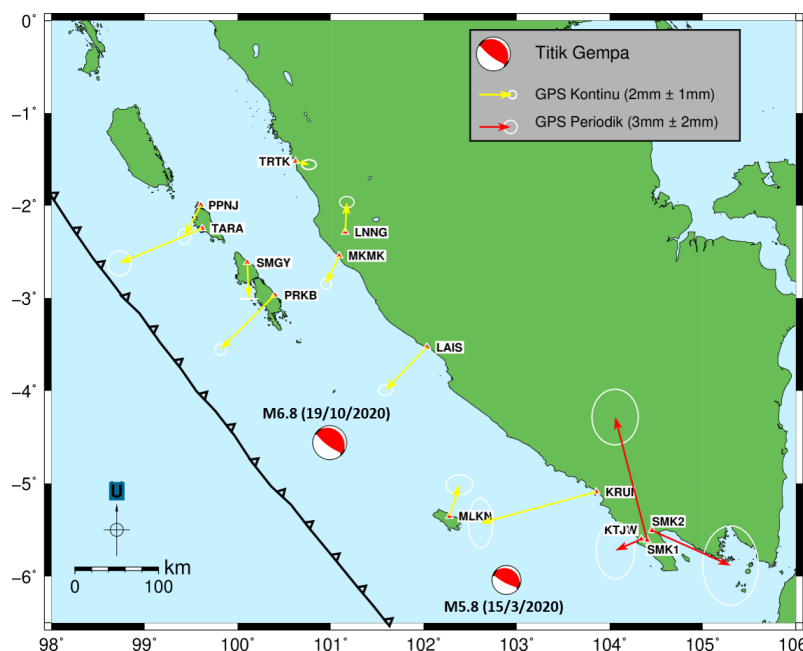
Gambar 2 Rangkaian waktu koordinat GPS kontinu (a) Titik KRUI (b) Titik LAIS (c) Titik MKMK (d) titik PPNJ

Garis berwarna kuning menunjukkan kejadian gempa Bengkulu 19 Agustus 2020 pada DoY 232, garis berwarna hitam menunjukkan vektor pergeseran, garis berwarna biru menunjukkan ketelitian titik, dan titik berwarna merah menunjukkan posisi koordinat toposentrik. Dalam rangkaian waktu koordinat didapatkan nilai pergeseran koseismik. Pada rangkaian waktu koordinat dari GPS periodik ditunjukkan pada Gambar 3. Garis yang berwarna hitam menunjukkan vektor pergeseran, simbol yang berwarna merah menunjukkan titik koordinat, garis berwarna biru menunjukkan ketelitian titik, dan garis berwarna kuning menunjukkan saat terjadinya gempa pada tanggal 10 Maret 2020 atau DoY 70. Hasil rangkaian waktu koordinat digunakan dalam perhitungan signifikansi pergeseran koseismik kedua gempa. Pada titik pengamatan periodik diamati sebelum dan sesudah gempa dengan waktu pengamatan ~24 jam sehingga ditampilkan grafik ditunjukkan pada satu titik.



Gambar 3 Rangkaian waktu koordinat GPS kontinu (a) Titik KTJW (b) Titik SMK1 (c) Titik SMK2

Pergeseran nilai koseismik dari perhitungan GPS pada gempa Bengkulu M6,8 tahun 2020 dan gempa Pesisir Barat M5,8 tahun 2020 ditunjukkan pada Gambar 4. Hasil dari uji signifikansi pada data GPS kontinu ditunjukkan pada Tabel 1. Titik-titik pengamatan GPS kontinu dinyatakan bergeser secara signifikan ketika t dari hasil perbandingan variabel pergeseran koseismik dengan resultan standar deviasinya lebih besar dibanding t nilai kritikal untuk selang kepercayaan 95% yaitu $t = 1.96$ dan titik-titik pengamatan GPS dinyatakan tidak bergeser secara signifikan, apabila t dari hasil perbandingan variabel pergeseran koseismik dengan resultan standar deviasinya lebih kecil dibanding t nilai kritikal untuk selang kepercayaan 95% yaitu $t = 1.96$.



Gambar 4 Pergeseran koseismik gempa Bengkulu M6,8 2020 dan Pesisir Barat M5,8 2020

Tabel 1 Hasil Uji Signifikansi GPS Kontinu

Stasiun	Koseismik (mm)	Standar Deviasi (mm)	t	Signifikan
KRUI	0,66	15,72	0,04	Tidak
LAIS	3,59	2,16	1,66	Tidak
LNNG	1,77	2,33	0,76	Tidak
MKMK	1,90	1,86	1,02	Tidak
MLKN	3,43	14,34	0,24	Tidak
PPNJ	2,16	2,45	0,88	Tidak
TRTK	0,83	2,16	0,38	Tidak
PRKB	4,62	1,98	2,33	Iya
SMGY	2,25	2,23	1,01	Tidak
TARA	5,38	4,26	1,26	Tidak

Berdasarkan Tabel 1. titik-titik pengamatan GPS kontinu tidak memiliki pergeseran koseismik yang besar. Pergeseran koseismik yang didapat hanya berkisar ~0.6-5 mm sehingga 9 dari 10 titik menghasilkan nilai t yang lebih kecil dibandingkan nilai $t = 1.96$. Berdasarkan hasil tersebut 9 titik dinyatakan tidak bergeser secara signifikan sedangkan untuk titik PRKB dinyatakan bergeser secara signifikan karena memiliki nilai pergeseran koseismik yang lebih besar dibandingkan dengan standar deviasinya sehingga mendapatkan nilai t sebesar 2,33. Hasil uji signifikansi dari GPS periodik ditunjukkan pada Tabel 2. yang menunjukkan bahwa titik-titik pengamatan GPS periodik tidak mengalami pergeseran secara signifikan dikarenakan mempunyai nilai t hasil perbandingan dari variabel pergeseran koseismik dengan standar deviasinya lebih kecil dibandingkan nilai $t = 1.96$. Nilai t yang didapat dipengaruhi oleh nilai pergeseran koseismik dan standar deviasinya dimana kedua nilai tersebut harus berbanding terbalik. Semakin besar nilai pergeseran koseismik dan semakin kecil standar deviasinya maka nilai t semakin besar begitu sebaliknya, titik pengamatan pada GPS periodik menunjukkan bahwa tidak bergeser dikarenakan nilai t yang dihasilkan tidak melebihi nilai t kritical 1,96. Besaran signifikansi dipengaruhi dengan mekanisme gempa, jarak dan magnitudo gempa.

Tabel 2 Hasil Uji Signifikansi GPS Periodik

Stasiun	Koseismik (mm)	Standar Deviasi (mm)	t	Signifikan
KTJW	2,70	10,00	0,26	Tidak
SMK1	12,30	11,00	1,12	Tidak
SMK2	8,30	14,00	0,56	Tidak

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian gempa Bengkulu M6,8 tahun 2020 dan gempa Pesisir Barat M5,8 tahun 2020 bahwa tidak ada perbedaan yang jauh dari hasil pengolahan data menggunakan GPS kontinu ataupun GPS periodik yang mempengaruhi hasil uji signifikansi. Data dari GPS kontinu maupun GPS periodik menghasilkan titik yang tidak bergeser secara signifikan berdasarkan uji signifikansi dipengaruhi oleh besarnya nilai variabel pergeseran dan standar deviasinya. Pada penelitian ini hasil yang didapat hampir seluruhnya mempunyai nilai t yang lebih kecil dibanding $t = 1.96$ karena gempa yang diamati relatif kecil sehingga menghasilkan variabel pergeseran yang kecil pula. Studi deformasi dalam penentuan koseismik menggunakan GPS perlu dielaborasi lokasi titik yang rapat sehingga dapat memberikan informasi yang baik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diberikan kepada seluruh pihak yang terlibat dalam pengumpulan data dan pengolahan data. Gambar dibuat menggunakan *Generic Mapping Tools* (Wessel et al., 2013).

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H. (2009). Deformasi Koseismik dan Pascaseismik Gempa Yogyakarta 2006 dari Hasil Survei GPS. *Indonesian Journal on Geoscience*, 4(4), 275–284.
- Albano, M., Barba, S., Bignami, C., Carminati, E., Doglioni, C., Moro, M., Saroli, M., Samsonov, S., & Stramondo, S. (2021). Numerical analysis of interseismic, coseismic and post-seismic phases

- for normal and reverse faulting earthquakes in Italy. *Geophysical Journal International*, 225(1), 627–645. <https://doi.org/10.1093/gji/ggaa608>
- Alif, S. M., Cahyani, P. F., Anggara, O., & Rizqiansyah, A. (2022). Slip Rate of Kumering Fault in Lampung Province Calculated from GPS Data from 2007 to 2021. *Jurnal Geosains Dan Teknologi*, 5(2), 83–90. <https://doi.org/10.14710/jgt.5.2.2022.83-90>
- Alif, S. M., Fattah, E. I., Kholil, M., & Anggara, O. (2021). Source of the 2019 Mw6.9 Banten Intraslab earthquake modelled with GPS data inversion. *Geodesy and Geodynamics*, 12(4), 308–314.
- Alif, S. M., Siagian, J. M., & Anggara, O. (2023). Present-day Crustal Deformation in West Sumatra After Series of Sumatran Great Earthquake from 2004-2010. *Journal of Earth and Marine Technology (JEMT)*, 3(2), 59–68. <https://doi.org/10.31284/j.jemt.2023.v3i2.3733>
- Altamimi, Z., Rebischung, P., Métivier, L., & Collilieux, X. (2016). ITRF2014: A new release of the International Terrestrial Reference Frame modeling nonlinear station motions. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 121(8), 6109–6131. <https://doi.org/10.1002/2016JB013098>
- Banerjee, P., Pollitz, F., Nagarajan, B., & Bürgmann, R. (2007). Coseismic slip distributions of the 26 December 2004 Sumatra-Andaman and 28 March 2005 Nias earthquakes from GPS static offsets. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 97(1 A SUPPL.), 86–102.
- Chlieh, M., Avouac, J. P., Sieh, K., Natawidjaja, D. H., & Galetzka, J. (2008). Heterogeneous coupling of the Sumatran megathrust constrained by geodetic and paleogeodetic measurements. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 113(5), 1–31. <https://doi.org/10.1029/2007JB004981>
- Estey, L.,; Meertens, C. (1999). *TEQC: The Multi-Purpose Toolkit for GPS/GLONASS Data*. GPS Solutions. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/PL00012778>
- Faris, A., Kriswati, E., Meilano, I., & Sarsito, D. A. (2018). Analisis Deformasi Gunung Api Batur berdasarkan Data Pengamatan GPS Berkala Tahun 2008, 2009, 2013 dan 2015. *Jurnal Lingkungan Dan Bencana Geologi*, 9(692), 1–10.
- Herring, T. A., King, R. W., Floyd, M. A., & McClusky, S. C. (2018). GAMIT Reference Manual Release 10.7. Massachusetts Institute of Technological, Cambridge, Massachusetts. June, 1–168.
- Herring, T. A., King, R. W., & McClusky, S. C. (2018). *Introduction to GAMIT / GLOBK Basic framework : GAMIT Basic framework : GLOBK GAMIT Structure*. July 2018, 1–16.
- King, M. A., & Watson, C. S. (2010). Long GPS coordinate time series: Multipath and geometry effects. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 115(4), 1–23.
- Li, Y. (2021). Analysis of GAMIT/GLOBK in high-precision GNSS data processing for crustal deformation. *Earthquake Research Advances*, 1(3), 100028.
- McLoughlin, I. V., Wong, K. J., & Tan, S. L. (2011). Data collection, communications and processing in the Sumatran GPS array (SuGAR). *Proceedings of the World Congress on Engineering 2011, WCE 2011*, 2, 1732–1736.
- Mustofa, A. (2013). *Uji Hipotesis Statistik (I)*. GapuraPublishing.com.
- Vigny, C., Simons, W. J. F., Abu, S., Bamphenyu, R., Satirapod, C., Choosakul, N., Subarya, C., Socquet, A., Omar, K., Abidin, H. Z., & Ambrosius, B. A. C. (2005). Insight into the 2004 Sumatra-Andaman earthquake from GPS measurements in southeast Asia. *Nature*, 436(7048), 201–206. <https://doi.org/10.1038/nature03937>
- Wellen Hof, Bernhard Hofmann; Lichtenegger, Herbert; Wasle, E. (2007). *GNSS – Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more*. Springer Science & Business Media.
- Wessel, P., Smith, W. H. F., Scharroo, R., Luis, J., & Wobbe, F. (2013). Generic mapping tools: Improved version released. *Eos*, 94(45), 409–410. <https://doi.org/10.1002/2013EO450001>
- Zheng, Z., Jin, S., & Fan, L. (2018). Co-seismic deformation following the 2007 Bengkulu earthquake constrained by GRACE and GPS observations. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 280(April), 20–31. <https://doi.org/10.1016/j.pepi.2018.04.009>