

## Estimasi Potensi Gempa Tektonik di Wilayah Sesar Opak Berdasarkan Data Pengamatan GPS

*Estimation of Potential Tectonic Earthquake in the Opak Fault Area Based on GPS Observation Data*

Hilmiyati Ulinnuha<sup>1\*</sup>, Dwi Lestari<sup>1</sup>, Nurrohmat Widjajanti<sup>1</sup>, Parseno<sup>1</sup>, Cecep Pratama<sup>1</sup>, Leni Sophia Heliani<sup>1</sup>, Suci Tresna Novianti<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Geodesi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Jalan Grafika No.2. Bulaksumur, Sleman, Yogyakarta, 55281, Indonesia

<sup>2</sup>Alumni Program Studi Sarjana Teknik Geodesi, Departemen Teknik Geodesi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Jalan Grafika No.2. Bulaksumur, Sleman, Yogyakarta, 55281, Indonesia

\*Korespondensi penulis: hilmiyatiulinnuha01@ugm.ac.id

Diterima: 23122022; Diperbaiki: 29082022; Disetujui: 01092022; Dipublikasi: 01102022

**Abstrak:** Yogyakarta merupakan daerah *ring of fire* dengan adanya wilayah-wilayah subduksi lempeng tektonik. Kondisi ini mengakibatkan tingginya potensi gempa tektonik di daerah Yogyakarta. Seperti pada tahun 2006, telah terjadi gempa tektonik dengan skala 6,3 Mw di Yogyakarta dan menimbulkan dampak negatif. Gempa ini disebabkan oleh aktivitas Sesar Opak. Berdasarkan penelitian sebelumnya, segmen patahan Sesar Opak tidak semua melepaskan energi, sehingga dimungkinkan berpotensi menimbulkan gempa tektonik besar di masa yang akan datang. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengenalisis dan mengestimasi potensi gempa tektonik di sekitar wilayah Sesar Opak berdasarkan data pengamatan GPS. Penelitian ini juga mengestimasi *maximum magnitude* dan periode perulangan *maximum magnitude* tersebut. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data pengamatan GPS pada titik-titik pantau Sesar Opak sejumlah 11 buah dari tahun 2016, 2017, dan 2018. Data pengamatan GPS diolah dengan perangkat lunak GAMIT/GLOBK. Data diolah dengan membagi area menjadi sebelah Timur dan sebelah Barat Sesar Opak. Selanjutnya, dilakukan perhitungan estimasi *maximum magnitude* dan periode perulangan *maximum magnitude*. Hasil dari pengolahan data GPS menunjukkan bahwa resultan kecepatan pergeseran horizontal titik pantau Timur Sesar Opak lebih besar dari pada titik pantau Barat Sesar Opak. Hal ini dapat mengindikasikan Timur Sesar Opak lebih aktif dari pada Barat Sesar Opak. Adanya pergeseran aktif ini dapat menimbulkan potensi gempa tektonik dikemudian hari. Selain itu, hasil estimasi *maximum magnitude* yang dapat terjadi di wilayah Sesar Opak adalah 6,5 Mw dengan periode perulangan *maximum magnitude* selama  $\pm 60$  tahun pada Segmen Utara dan selama  $\pm 130$  tahun pada Segmen Selatan. Namun hasil perhitungan estimasi ini masih perlu disempurnakan dengan dengan menambahkan data lain seperti seismik multitemporal.

*Copyright © 2022 Geoid. All rights reserved.*

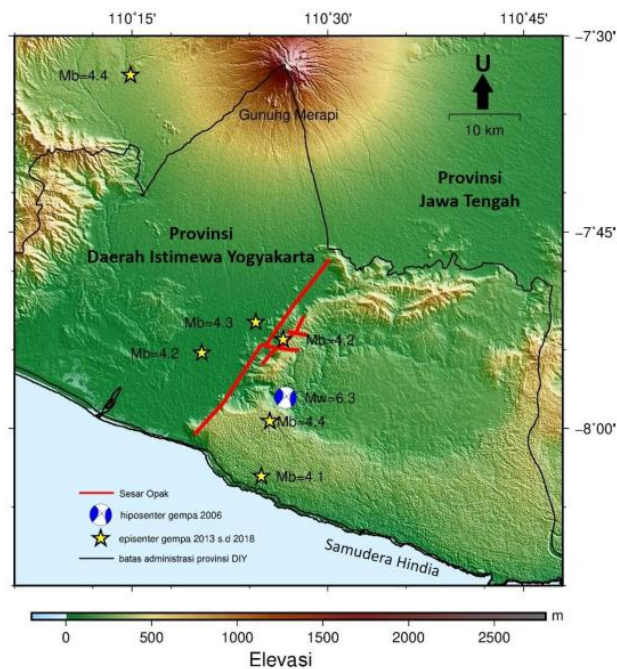
**Abstract:** Yogyakarta is a *ring of fire* area with subduction areas of tectonic plates. This condition lead to has a high potential for tectonic earthquakes in Yogyakarta. In 2006, there has been a tectonic earthquake with a scale of 6.3 Mw in Yogyakarta and caused negative impacts. This earthquake was caused by the Opak Fault. Based on previous research, not all of the Opak Fault segments release energy, so it is possible to have high tectonic earthquakes in the future. Therefore, this study aims to identify and estimate the potential for tectonic earthquakes around the Opak Fault area based on GPS observation data. This study also estimates the maximum magnitude and recurrence period of the maximum magnitude. The data that be used in this study is GPS observation data at the 11 monitoring points of the Opak Fault from 2016, 2017, and 2018. The GPS observation data was processed with GAMIT/GLOBK software. The data is processed by dividing the area into the east and west of the Opak Fault. Furthermore, the calculation of the maximum magnitude estimation and the maximum magnitude repetition period is carried out. The results show that the resultant horizontal velocity of the East monitoring point of the Opak Fault is higher than the West monitoring point. This can indicate that the East of Opak Fault is more active than the West of Opak Fault. This active movement can cause potential tectonic earthquakes in the future. Furthermore, the maximum magnitude estimation that can occur in the Opak Fault area is 6.5 Mw with a maximum magnitude recurrence period of  $\pm 60$  years in the North Segment and for  $\pm 130$  years in the South Segment. However, the results of this estimation calculation still need to be refined by adding other data such as multitemporal seismic data.

Kata kunci: potensi; gempa; tektonik; sesar opak; GPS

Cara untuk sitasi: Ulinuha, H., Lestari, D., Widjajanti, N., Parseno, Pramata, C., Heliani, L.S., Novianti, S.T. (2022). Estimasi Potensi Gempa Tektonik di Wilayah Sesar Opak Berdasarkan Data Pengamatan GPS. *Geoid*, 18(1), 9-19.

## Pendahuluan

Yogyakarta merupakan daerah *ring of fire* dengan adanya wilayah-wilayah subduksi lempeng tektonik. Sesar opak merupakan salah satu zona subduksi lempeng tektonik yang ada di Yogyakarta. Sesar ini berada disekitar Sungai Opak yang mengarah ke arah Timur Laut - Barat. Sesar aktif ini telah menimbulkan bencana gempa bumi disekitarnya. Gempa bumi besar di Yogyakarta pada tahun 2006 disebabkan oleh aktivitas Sesar Opak tersebut (Sulaiman, dkk., 2008, Natawijaya, 2004). Gempa bumi ini tidak hanya menimbulkan kerusakan fisik namun juga terdapat korban jiwa. Gempa tektonik Yogyakarta sebesar 6,3 Mw ini merupakan hasil pergerakan tektonik aktif Sesar Opak yang menunjukkan adanya kombinasi gerakan geser-turun (*E-W dip-slip motion*) dan *N-S Left Lateral Structure* dengan laju regangan geser maksimum lebih dari 0,1 mikro/tahun (Widjajanti, dkk., 2020). Gempa ini merupakan hasil pergerakan sinistral dengan panjang 18 km dan lebar 10 km yang berada disebelah timur sekitar 3 sampai dengan 4 km dari lokasi Sesar Opak yang digambarkan pada peta geologi (Abidin dkk, 2007). Lokasi Sesar Opak dan hiposenter gempa tektonik 2006 ditunjukkan Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Sesar Opak dan hiposenter gempa tektonik 2006 (Pinasti, 2019)

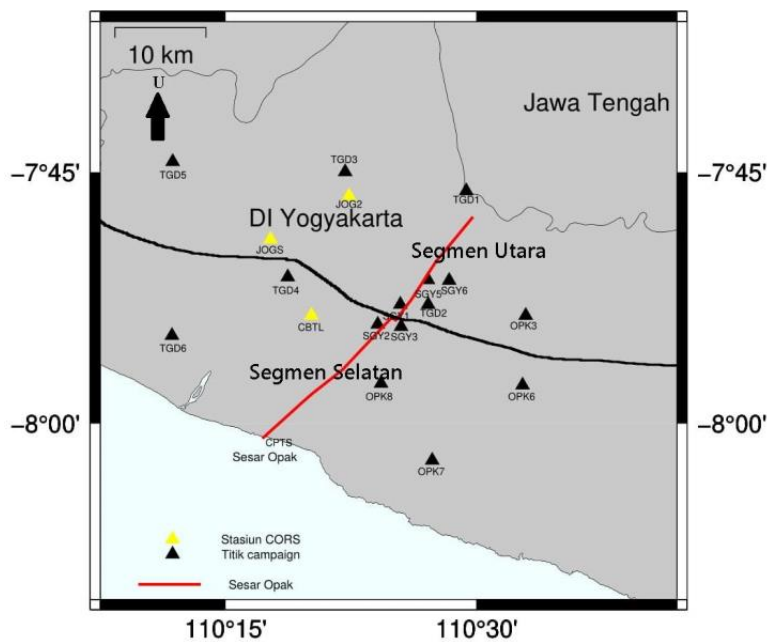
Gempa bumi yang disebabkan oleh aktivitas tektonik memiliki beberapa fase, yaitu *interseismic*, *pre-seismic*, *coseismic*, dan *post-seismic* (Sarsito, dkk., 2005). Menurut Sarsito dkk. (2005) fase *interseismic* merupakan fase awal gempa bumi. Fase *preseismic* merupakan fase sesaat sebelum gempa tektonik terjadi, sedangkan fase *coseismic* adalah fase ketika gempa tektonik terjadi. Fase *post-seismic* merupakan fase terakhir, yaitu setelah gempa tektonik terjadi. Pada fase *post-seismic* terjadi pelepasan sisa energi hingga kembali pada tahap kesetimbangan awal. Fase ini bisa berlangsung hingga bertahun-tahun dan masih dapat menimbulkan pergerakan sesar hingga orde sub-meter (Sarsito, dkk., 2005). Oleh karena itu, gempa tektonik Yogyakarta pada tahun 2006 masih memiliki potensi terjadinya perulangan gempa. Diperlukan pemantauan secara terus menerus untuk mengurangi dampak resiko bencana gempa bumi pada daerah sekitar Sesar Opak.

Pemantauan sesar aktif saat ini dapat dilakukan dengan memanfaatkan teknologi GPS. Data pengamatan kontinyu stasiun GPS dapat digunakan untuk mengetahui pergerakan sesar tektonik dan mengestimasi potensi

gempa bumi. Beberapa penelitian yang memanfaatkan data GPS untuk monitoring sesar dan gempa bumi di Indonesia adalah Riastama dkk (2022) yang memantau Sesar Kendeng di Kota Surabaya, Ulinuha (2018) yang menganalisis gempa tektonik di Segmen Mentawai, Cahyadi dan Septiningrum (2016) yang menganalisis perubahan ionosfer akibat gempa Mentawai 2010, Yusufania dkk (2015) yang menganalisis pergeseran akibat gempa bumi Sumatera 2012, dan Widjajanti, dkk (2020) yang memantau Sesar Opak di Yogyakarta.

Penelitian disekitar Sesar Opak telah dilakukan dari tahun-tahun sebelumnya. Setelah gempa tektonik Yogyakarta 2006, Abidin dkk (2009) melakukan pemantauan Sesar Opak dengan mengamati 48 titik kadastral nasional di sekitar area Sesar Opak. Hasil penelitian Abidin dkk (2009) menunjukkan bahwa deformasi *post-seismic* di wilayah ini memiliki pergerakan sinistral dengan nilai 0,3 s.d. 9,1 cm. Pada tahun 2013, Yulaikhah dan Dwi Lestari melakukan penelitian mengenai optimasi jaring kontrol titik pemantauan Sesar Opak. Hasil dari penelitian Yulaikhah dan Dwi Lestari mengindikasikan bahwa desain jaring pemantauan Sesar Opak (SGY dan OPK) memenuhi kehandalan sesuai persyaratan matriks kriteria. Pinasti (2019) melakukan analisis data pemantauan jaring kontrol tahun 2013 s.d. 2018. Dengan menggunakan metode *block motion*, nilai estimasi *locking dept* memiliki kedalaman 22 km di segmen selatan Sesar Opak (Pinasti, 2019). Titik pantau yang digunakan dalam penelitian Pinasti (2019) menggunakan jaring pengamatan pada penelitian Yulaikhah dan Dwi Lestari (2013).

Pada tahun 2020, Adam melakukan penelitian mengenai laju geser dan *locking depth* di area sesar opak. Hasil penelitian Adam (2020) menunjukkan bahwa Sesar Opak diestimasi memiliki laju geser sebesar berkisar 3,5 s.d. 10,5 mm/tahun dengan nilai *locking depth* sebesar 1,1 s.d. 8 km untuk Segmen Utara. Sedangkan untuk Segmen Selatan sebesar 4,0 s.d. 5 mm/tahun dengan nilai *locking depth* sebesar 0,6 s.d. 1,2 km. Pembagian Segmen Utara dan Selatan ditunjukkan Gambar 2.



Gambar 2. Segmen Utara dan Segmen Selatan Sesar Opak (Adam, 2020)

Widjajanti, dkk (2020) menggunakan data *campaign GPS* pada 22 titik pantau pengamatan GPS selama 5 tahun. Hasil penelitian Widjajanti, dkk (2020) menunjukkan bahwa sesar aktif di Yogyakarta tidak hanya sesar Sungai Opak. Pergerakan titik pantau di sekitar Sesar Opak cenderung mengarah ke Timur-Tenggara. Pratama, dkk. (2021) melakukan analisis data pengamatan GNSS pada titik pantau pengamatan Sesar Opak. Analisis ini berdasarkan terjadinya gempa tektonik Yogyakarta 2006. Hasil penelitian Pratama, dkk (2021) pelepasan energi gempa tektonik Yogyakarta 2006 terjadi pada patahan tak dikenal dengan estimasi 30 GPa, pada kedalaman patahan 12,5 km dan perpindahan coseismic adalah 1 m. Hal ini mengindikasikan bahwa segmen patahan Sesar Opak tidak semua melepaskan akumulasi stres (energi) dan dimungkinkan berpotensi

menimbulkan gempa tektonik besar di masa yang akan datang. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan mengestimasi potensi gempa tektonik di sekitar wilayah Sesar Opak. Perbedaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya adalah penelitian-penelitian sebelumnya belum ada yang menganalisis dan menghitung estimasi potensi gempa tektonik yang disebabkan oleh aktivitas Sesar Opak, termasuk estimasi *maximum magnitude* dan estimasi periode perulangan *maximum magnitude*.

## Data dan Metode

Metode penelitian ini terdiri dari pengumpulan data pengamatan GPS, pengolahan data GPS, dan perhitungan serta analisis estimasi potensi gempa tektonik. Lokasi dari penelitian ini adalah di sekitar Sesar Opak dengan menggunakan 11 titik pemantauan Sesar Opak yang tersebar di area Yogyakarta. Titik-titik pemantauan tersebut adalah titik OPK6, OPK7, OPK8, SGY1, SGY2, SGY6, TGD1, TGD2, TGD3, TGD4, dan TGD5. Persebaran titik pantau ini ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Persebaran titik pantau Sesar Opak

### 1. Pengumpulan Data Pengamatan GPS

Proses pengumpulan data terdiri dari pengumpulan data primer dan sekunder. Data primer adalah data pengamatan *campaign* GPS pada 11 titik pantau Sesar Opak pada tahun 2016 s.d. 2018. Pada tahun 2018 digunakan data pada *doy* (*day of year*) 097, 098, Pada tahun 2017 digunakan data pada *doy* 111, 112, 113, 114, dan Pada tahun 2016 digunakan data pada *doy* 126, 127, 128, dan 129. Selanjutnya untuk data sekunder adalah data 7 stasiun IGS yang memiliki *doy* sama dengan data titik stasiun pantau. Selain itu juga digunakan data koreksi atmosfer, koreksi pasang surut laut, dan pemodelan cuaca.

### 2. Pengolahan Data GPS

Proses pengolahan data GPS dilakukan dengan perangkat lunak GAMIT/GLOBK. Pengolahan terdiri dari dua tahapan yaitu tahapan pengolahan GAMIT dan tahapan pengolahan GLOBK. Pada tahapan GAMIT, terdapat proses perhitungan dengan pengolahan data GPS metode *double deference* dan hitung kuadrat terkecil parameter berbobot (Herring dkk., 2006). Dari hasil perhitungan metode *double deference* didapatkan solusi bias *fixed* dan bias *free*. Skema pengolahan dilakukan dengan dua skema pengolahan. Pertama, pengolahan data titik pengamatan yang terletak di sebelah barat Sesar Opak yaitu TGD1, TGD3, TGD4, TGD5, SGY1, dan SGY2. Kedua, pengolahan data titik yang terletak disebelah timur Sesar Opak yaitu OPK6, OPK7, OPK8, SGY6, dan TGD2.

Hasil pengolahan data GPS dengan GAMIT, selanjutnya dievaluasi dengan melihat nilai *fract* dan *postfit nrms*. Untuk nilai *postfit nrms* dengan nilai lebih dari 0,25, maka menunjukkan masih adanya efek *cycle slip* yang belum hilang (Herring, dkk., 2006). Sedangkan untuk nilai *fract* merupakan perbandingan nilai *adjust* atau besarnya perataan dan nilai *formal* atau nilai ketidakpastian dalam pemberian bobot. Hasil pengolahan yang baik apabila nilai *postfit nrms* < 0,25, dan nilai *fract* < 10 (Herring, dkk., 2006).



Setelah hasil pengolahan data GPS dengan GAMIT memenuhi standar nilai evaluasi nilai *postfit nrms* dan nilai *fract*, maka selanjutnya dilakukan proses pengolahan data dengan GLOBK. Pada proses pengolahan GLOBK merupakan proses *Kalman Filtering*. Proses ini mengkombinasikan solusi hasil pengolahan data harian yang didapatkan dari GAMIT. Pengolahan GLOBK dilakukan dengan pengolahan data tahun 2016, data tahun 2017, data tahun 2018, dan pengolahan data 2016 s.d. 2018 untuk mendapatkan kecepatan pergerakan titik-titik kontrol pemantauan Sesar Opak.

Evaluasi hasil pengolahan GLOBK dilakukan dengan menganalisis nilai statistik *chi-squared increament per degree of freedom*  $\chi^2/f$ . Nilai  $\chi^2/f$  tidak boleh lebih dari 10 dan limit maksimal adalah 30 (Lestari, 2006). Hasil dari pengolahan GLOBK ini adalah koordinat masing-masing tahun dan kecepatan masing-masing titik pemantauan Sesar Opak pada sebelah timur dan sebelah barat Sesar Opak.

### 3. Perhitungan dan Analisis Estimasi Potensi Gempa Tektonik Sesar Opak

Perhitungan dan analisis estimasi potensi gempa tektonik ini menggunakan parameter laju geser Sesar Opak. Perhitungan dilakukan dengan cara bertahap. Perhitungan dimulai dengan menghitung estimasi momen *maximum magnitude*. Dalam perhitungan ini, panjang Sesar Opak diasumsikan sebesar 18 km (Abidin dkk, 2007). Hal ini diambil berdasarkan kemungkinan lokasi pergeseran sesar pada tahun 2006. Proses perhitungan estimasi momen *maximum magnitude* sesuai dengan Persamaan (1) (Wells, D.L. dan K.J. Coppersmith, 1994).

$$M_{max} = 5,08 + 1.16 \log L_f \quad (1)$$

Dalam hal ini,

$M_{max}$  = Momen *maximum magnitude* (Mw)

$L_f$  = Panjang Sesar (Km)

Selanjutnya dilakukan perhitungan estimasi periode ulang kejadian momen *maximum magnitude*. Untuk perhitungan ini diperlukan nilai laju geser Sesar Opak. Pada penelitian ini, untuk mengestimasi potensi gempa tektonik, nilai laju geser Sesar Opak diasumsikan dengan nilai laju geser terbesar pada Segmen Utara dan Selatan dari hasil penelitian Adam (2020) yaitu 10,5 mm/tahun untuk Segmen Utara dan 5 mm/tahun untuk Segmen Selatan. Proses perhitungan estimasi periode ulang kejadian momen *maximum magnitude* dilakukan sesuai Persamaan (2) (Wells, D.L. dan K.J. Coppersmith, 1994). Hasil dari perhitungan ini adalah estimasi periode ulang kejadian momen *maximum magnitude* berdasarkan Segmen Utara dan Segmen Selatan.

$$T_{max} = \frac{1000}{\text{LajuGeserSesar}} + 10^{(-5,46+0,82M_{max})} \quad (2)$$

Dalam hal ini,

$T_{max}$  = Periode ulang kejadian momen *maximum magnitude* (Tahun)

$M_{max}$  = Momen *maximum magnitude* (Mw)

Laju Geser Sesar dinyatakan dalam mm/tahun

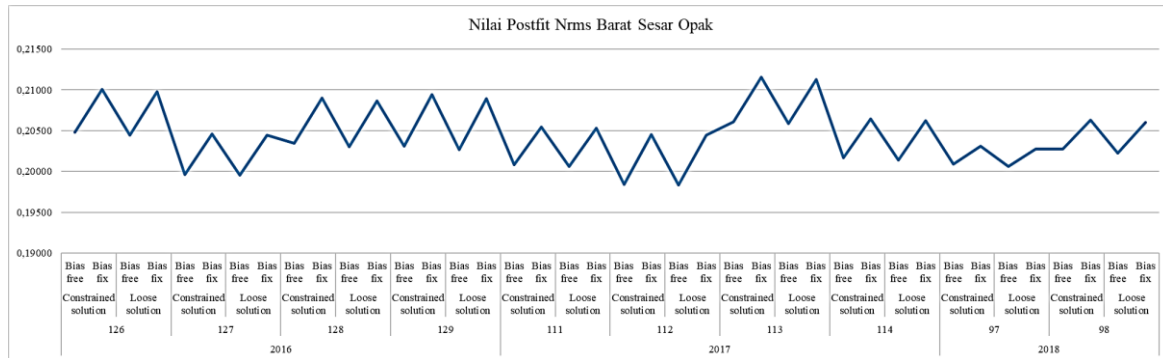
## Hasil dan Pembahasan

Hasil pengolahan data dalam penelitian ini adalah data koordinat dan kecepatan titik pantau di sebelah barat dan timur Sesar Opak. Selain itu, juga dihasilkan estimasi *maximum magnitude* yang dapat terjadi dan estimasi periode ulang kejadian *Maximum magnitude* tersebut.

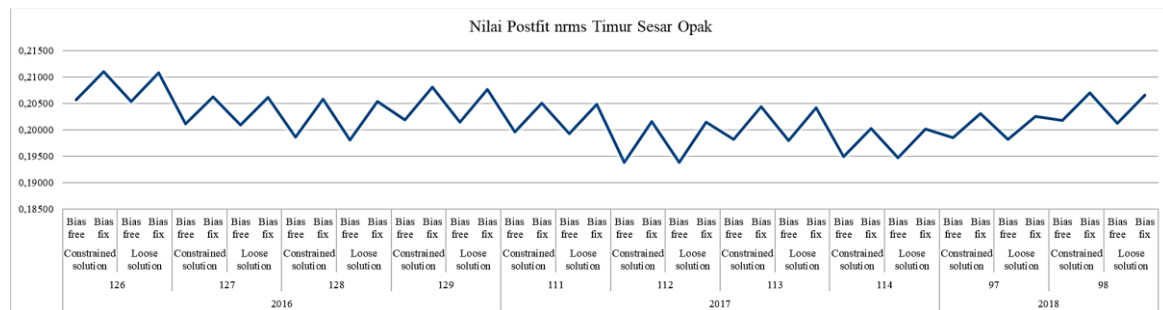
### 1. Hasil Pengolahan Data GPS

Hasil dari pengolahan data GPS dengan GAMIT/GLOBK berupa koordinat dan kecepatan pergerakan titik pemantauan yang berada pada sebelah Timur dan Barat Sesar Opak. Hasil pengolahan ini terbagi kedalam evaluasi hasil pengolahan GAMIT dengan metode *double difference*, evaluasi perhitungan *Kalman Filtering* dengan GLOBK, dan analisis koordinat dan kecepatan pergerakan titik pantau Sesar Opak.

Berdasarkan pengolahan data GPS dengan GAMIT, nilai *fract* titik pantau pengamatan pada skema 1 dan skema 2 memiliki nilai kurang dari 10. Skema 1 merupakan pengolahan titik pantau Sesar Opak bagian Barat, sedangkan skema 2 merupakan pengolahan titik pantau Sesar Opak bagian Timur. Hal ini menunjukkan bahwa hasil pengolahan data telah memenuhi syarat nilai *fract* yaitu kurang dari 10.



Gambar 4. Nilai *postfit nrms* Barat Sesar Opak



Gambar 5. Nilai *postfit nrms* Timur Sesar Opak

Berdasarkan Gambar 4. dan Gambar 5., nilai *postfit nrms* baik pada solusi *bias fixed* maupun solusi *bias free* memiliki nilai  $< 0,25$ . Nilai ini mengindikasikan bahwa pengolahan memenuhi standar nilai *postfit nrms* dan dapat dilanjutkan pada pengolahan *Kalman filtering* pada GLOBK. Solusi *bias fixed* dan solusi *bias free* merupakan solusi yang didapatkan dari perhitungan *double difference* menggunakan data beda fase. Pada perhitungan ini didapatkan ambiguitas fase *fixed* dan ambiguitas fase *float*. Solusi *bias fixed* digunakan dalam proses pengolahan dengan GLOBK. Solusi ini didapatkan pada *file \*.glx*.

Evaluasi hasil perhitungan dengan GLOBK dengan melihat nilai statistik *chi-squared increment per degree of freedom*  $\chi^2/f$  pada pengolahan tahun 2016, 2017, 2018, dan hasil akhir pengolahan yaitu pengolahan semua *doy* dari tahun 2016 s.d. 2018 pada skema 1 maupun skema 2. Hasil pengolahan pada penelitian ini menunjukkan bahwa nilai statistik *chi-squared increment per degree of freedom*  $\chi^2/f$  pada semua pengolahan memiliki nilai  $< 10$ . Nilai statistik *chi-squared* terbesar adalah 5,587. Hal ini menunjukkan bahwa hasil pengolahan memenuhi standar pengolahan GLOBK.

Koordinat masing-masing titik pantau Sesar Opak pada tahun 2018 ditunjukkan pada Tabel 1. dan Tabel 2. Koodinat masing-masing titik pantau dinyatakan dalam sistem koordinat toposentrik. Pada Barat Sesar Opak, nilai simpangan baku koodinat semua komponen berada pada fraksi milimeter dengan nilai simpangan baku terbesar berada pada titik TGD5. Titik ini memiliki simpangan baku terbesar pada komponen *Easting* sebesar 0,009 meter. Sedangkan pada Timur Sesar Opak, nilai simpangan baku koordinat terbesar pada titik TGD2 dengan nilai sebesar 0,035 meter. Pada Timur Sesar Opak, nilai simpangan baku komponen *Northing* dan *Easting* yang merupakan komponen horizontal memiliki simpangan baku dalam fraksi milimeter. Namun, pada komponen vertikal yaitu komponen *Up*, simpangan baku dalam fraksi milimeter hanya didapatkan pada titik SGY6, sedangkan titik lain pada fraksi centimeter. Hal ini dapat disebabkan oleh geometri satelit yang tidak bisa diamati ketika berada dibawah horizon.

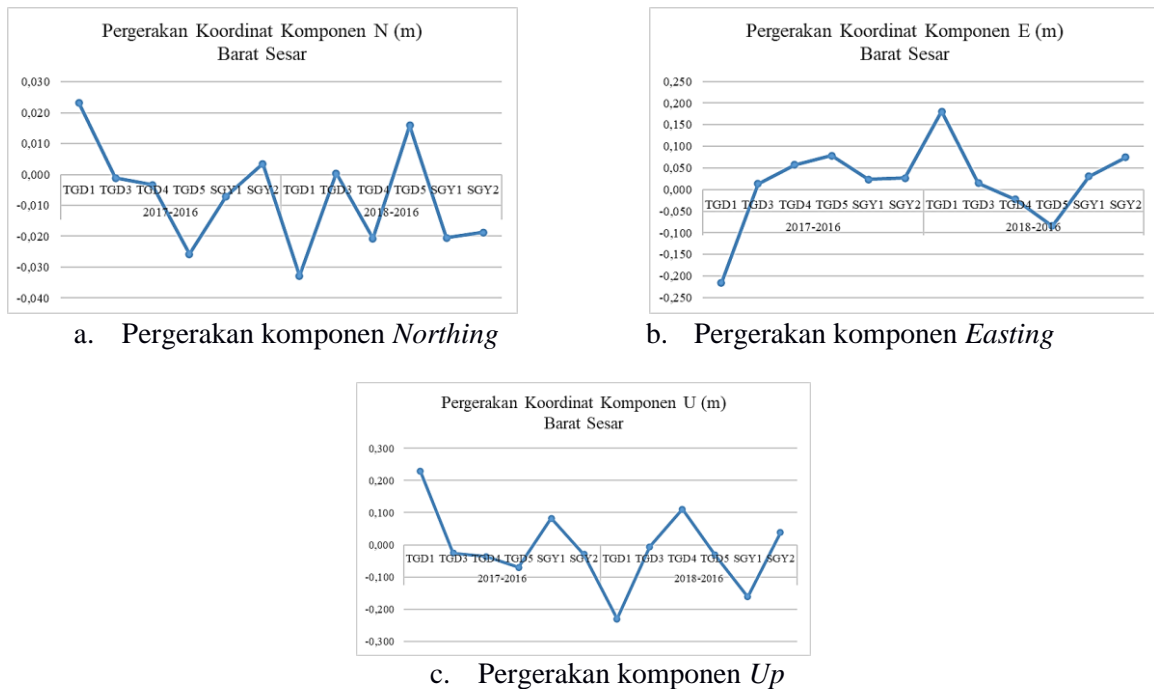
Tabel 1. Koodinat Toposentrik dan Simpangan Baku Koordinat Titik Pantau Barat Sesar Opak tahun 2018

Stasiun	Norting (N) (m)	$\sigma N$ (m)	Easting (E) (m)	$\sigma E$ (m)	Up (U)(m)	$\sigma U$ (m)
TGD1	-864798,814	0,001	12186767,153	0,001	255,155	0,004
TGD3	-862679,342	0,001	12174037,857	0,001	179,787	0,003
TGD4	-874332,093	0,001	12164639,098	0,001	145,259	0,004
TGD5	-861553,144	0,001	12155314,686	0,009	150,989	0,006
SGY1	-877367,404	0,000	12176248,973	0,001	90,538	0,002
SGY2	-879573,973	0,001	12173189,810	0,002	141,434	0,004

Tabel 2. Koodinat Toposentrik dan Simpangan Baku Koordinat Titik Pantau Timur Sesar Opak tahun 2018

Stasiun	Norting (N) (m)	$\sigma N$ (m)	Easting (E) (m)	$\sigma E$ (m)	Up (U)(m)	$\sigma U$ (m)
TGD2	-877389,247	0,006	12179309,731	0,007	401,592	0,035
SGY6	-874711,964	0,000	12182286,089	0,000	408,221	0,001
OPK6	-886315,542	0,004	12187316,917	0,005	198,616	0,020
OPK7	-894636,520	0,005	12175161,884	0,006	298,662	0,024
OPK8	-886126,725	0,006	12171756,358	0,008	254,897	0,032

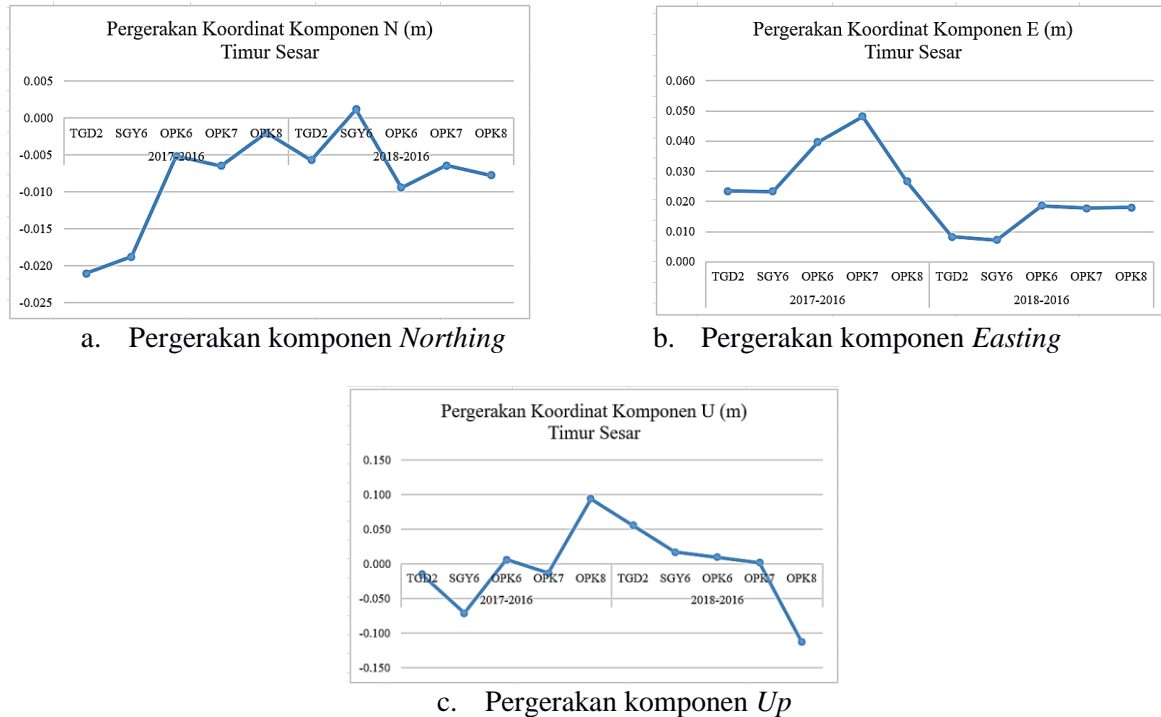
Selain itu, juga dilakukan analisis untuk pergerakan koodinat dari tahun 2016 s.d. 2018. Pergerakan koordinat ini diamati dengan menselisihkan koordinat antar tahun. Hasil pergerakan koordinat ditunjukkan pada Gambar 6. dan Gambar 7.



Gambar 6. Pergerakan Koodinat Toposentrik Titik Pantau Barat Sesar Opak tahun 2016 s.d. 2018

Berdasarkan Gambar 6., pergerakan komponen N titik pantau Barat Sesar Opak pada tahun 2016 s.d. 2018 cenderung mengalami pergerakan ke arah Selatan. Hal ini ditunjukkan dengan nilai selisih koordinat bertanda negatif. Pergerakan komponen E pada titik pantau cenderung mengalami pergerakan ke arah Timur, yang ditandai dengan selisih koordinat bertanda positif. Selisih koordinat terbesar bernilai -0,035 meter ke arah Selatan dan 0,216 meter ke arah Timur. Sedangkan komponen U, memiliki pergerakan koordinat cenderung ke arah bawah dari permukaan bumi dengan nilai terbesar adalah -0,230 meter. Selisih koordinat dalam fraksi

desimeter ini dapat menunjukkan bahwa bagian Barat Sesar Opak ini masih terus aktif bergerak. Kegiatan sesar aktif ini dapat memicu terjadinya gempa tektonik.



Gambar 7. Pergerakan koodinat toposentrik titik pantau Timur Sesar Opak tahun 2016 s.d. 2018

Berdasarkan Gambar 7., pergerakan komponen N dan E pada titik pantau Timur Sesar Opak pada tahun 2016 s.d. 2018 memiliki kecenderungan arah yang sama dengan pergerakan koordinat titik pantau Barat Sesar Opak. Pada Timur Sesar Opak, komponen N juga cenderung bergerak ke arah Selatan, sedangkan komponen E juga bergerak ke arah Timur. Komponen U pada titik pantau Timur Sesar Opak, memiliki pergerakan yang fluktuatif keatas atau kebawah permukaan bumi. Pergerakan komponen horisontal terbesar  $-0,021$  meter dan  $0,048$  meter pada komponen N dan E. Adanya Gerakan fluktuatif pada komponen U ini dapat menunjukkan adanya pergerakan aktif dari Sesar Opak. Pergerakan ini juga dapat menimbulkan gempa tektonik, namun masih diperlukan perhitungan deformasi untuk analisis lebih lanjut.

Nilai kecepatan pergeseran titik pantau Sesar Opak ditunjukkan dalam Tabel 3. dan 4. Resultan kecepatan pergeseran horisontal titik pantau Barat Sesar Opak antara  $0,012$  s.d.  $0,025$  m/th, sedangkan untuk Timur Sesar Opak bernilai antara  $0,23$  s.d.  $0,036$  m/th. Hal ini menunjukkan bahwa resultan kecepatan pergeseran horisontal pada Timur Sesar Opak lebih besar dari pada Barat Sesar Opak. Berkaitan dengan gempa tektonik Yogyakarta tahun 2006 yang berada di Timur Sesar Opak, maka dapat menunjukkan bahwa bagian Timur Sesar Opak lebih aktif dari pada Barat Sesar Opak. Apabila pergeseran ini terus menerus terjadi dan menimbulkan deformasi tektonik, maka kondisi ini dapat menimbulkan potensi gempa tektonik dikemudian hari. Hal ini mendukung hasil penelitian Pratama dkk (2019) yang menyatakan bahwa sesar aktif pada sisi timur Sesar Opak dapat menimbulkan potensi gempa bumi di masa yang akan datang.

Dari Tabel 3. dan 4., kecepatan pergeseran vertikal Barat Sesar Opak berkisar antara  $-0,011$  s.d.  $0,038$  m/th. Kecepatan pergeseran vertikal Barat Sesar Opak ini cenderung fluktuatif ke atas atau ke bawah permukaan bumi. Sedangkan Kecepatan pergeseran vertikal Timur Sesar Opak berkisar antara  $-0,040$  s.d.  $0,023$  m/th. Kecepatan pergeseran vertikal Timur sesar ini memiliki kecenderungan bergerak ke bawah dari permukaan bumi.



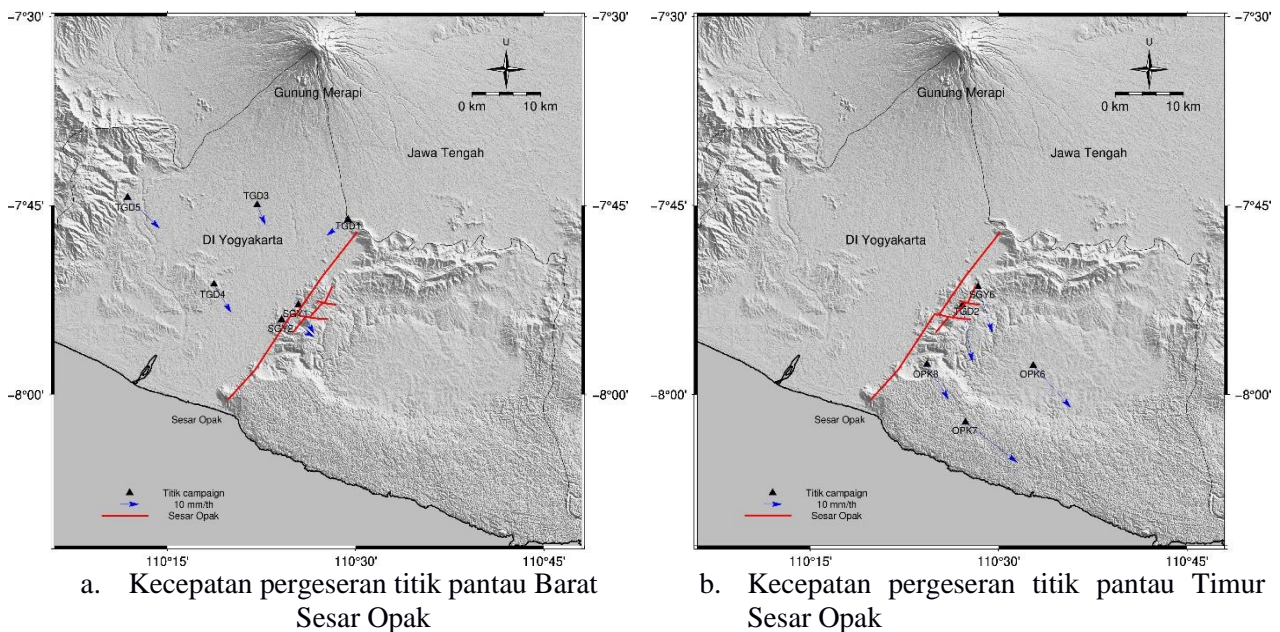
Tabel 3. Kecepatan pergeseran titik pantau Barat Sesar Opak

Stasiun	Vn (m/th)	$\sigma Vn$ (m)	Ve (m/th)	$\sigma Ve$ (m)	Resultan Kecepatan Horisontal (m/th)	Vu(m/th)	$\sigma Vu$ (m)
TGD1	-0,009	0,087	-0,012	0,089	0,015	0,037	0,060
TGD3	-0,011	0,087	0,005	0,089	0,012	-0,011	0,056
TGD4	-0,016	0,087	0,009	0,089	0,018	0,022	0,060
TGD5	-0,017	0,087	0,018	0,087	0,025	-0,009	0,062
SGY1	-0,016	0,087	0,009	0,089	0,018	0,038	0,058
SGY2	-0,009	0,087	0,018	0,089	0,020	0,002	0,060

Tabel 4. Kecepatan pergeseran titik pantau Timur Sesar Opak

Stasiun	Vn (m/th)	$\sigma Vn$ (m)	Ve (m/th)	$\sigma Ve$ (m)	Resultan Kecepatan Horisontal (m/th)	Vu(m/th)	$\sigma Vu$ (m)
TGD2	-0,031	0,091	0,006	0,093	0,032	-0,009	0,060
SGY6	-0,025	0,088	0,008	0,090	0,026	-0,040	0,058
OPK6	-0,023	0,091	0,021	0,093	0,031	-0,015	0,058
OPK7	-0,022	0,091	0,029	0,093	0,036	-0,022	0,059
OPK8	-0,019	0,091	0,012	0,093	0,023	0,023	0,060

Gambar 8. menunjukkan arah kecepatan pergeseran horizontal pada Barat dan Timur Sesar Opak. Pada Barat Sesar Opak, titik pantau cenderung bergeser ke arah Tenggara, kecuali titik TGD1 yang memiliki arah kecepatan pergeseran horizontal ke arah Baratdaya. Pada bagian Timur Sesar Opak, semua titik pemantauan memiliki arah kecepatan pergeseran horizontal ke arah Tenggara. Hal ini mengindikasikan bahwa arah kecepatan pergeseran titik pantau Barat dan Timur Sesar Opak memiliki kecenderungan yang sama, yaitu bergeser ke arah Tenggara. Kecenderungan arah Tenggara ini mendukung penelitian Widjajanti dkk (2020) yang menyebutkan arah pergeseran Sesar Opak adalah Timur–Tenggara.



Gambar 8. Visualisasi kecepatan pergeseran horizontal titik pantau Sesar Opak tahun 2016 s.d. 2018

## 2. Hasil perhitungan estimasi potensi gempa tektonik Sesar Opak

Estimasi potensi gempa tektonik dalam penelitian ini dievaluasi dengan nilai momen *maximum magnitude* dan nilai estimasi periode perulangan momen *maximum magnitude*. Dari hasil perhitungan, momen *maximum magnitude* didapatkan sebesar 6,5 Mw. Hal ini menunjukkan bahwa magnitude terbesar yang dapat dihasilkan dari pergerakan pada area Sesar Opak yang diasumsikan sepanjang 18 km adalah sebesar 6,5 Mw. Hal ini perlu diwaspadai karena gempa bumi pada tahun 2006 berkekuatan 6,3 Mw telah merusak dan menimbulkan banyak dampak negatif bagi Daerah Istimewa Yogyakarta, khususnya daerah Kabupaten Bantul.

Tabel 5. Hasil perhitungan estimasi periode perulangan momen *maximum magnitude*

Segmen Sesar Opak	Estimasi Periode Perulangan $M_{max}$
Segmen Utara	$\pm 60$ tahun
Segmen Selatan	$\pm 130$ tahun

Hasil perhitungan estimasi periode perulangan momen *maximum magnitude* ditunjukkan pada Tabel 5. Untuk Segmen Utara, estimasi kejadian perulangan momen *maximum magnitude* atau potensi terjadinya gempa dengan kekuatan 6,5 Mw adalah selama  $\pm 60$  tahun. Sedangkan untuk Segmen Selatan estimasi kejadian perulangan momen *maximum magnitude* adalah selama  $\pm 130$  tahun. Meskipun estimasi kejadian perulangan momen *maximum magnitude* pada Segmen Selatan lebih lama dari pada Segmen Utara, berdasarkan penelitian Adam (2020), efek *creep of fault* atau pergerakan merayap yang terjadi pada lapisan bumi paling atas secara dominan berada pada Segmen Selatan. Hal ini mengindikasikan adanya potensi yang tinggi pada bagian Segmen Selatan. Namun, hasil estimasi *maximum magnitude* dan periode perulangan momen *maximum magnitude* dalam penelitian ini masih perlu disempurnakan dengan menambahkan data lain seperti seismik multitemporal.

## Kesimpulan

Kesimpulan dari hasil penelitian ini adalah berdasarkan hasil pengolahan data GPS, resultan kecepatan pergeseran horizontal titik pantau Timur Sesar Opak lebih besar dari pada titik pantau Barat Sesar Opak. Hal ini dapat mengindikasikan Timur Sesar Opak lebih aktif dari pada Barat Sesar Opak. Adanya pergeseran aktif ini dapat menimbulkan potensi gempa tektonik dikemudian hari. Selain itu, hasil estimasi *maximum magnitude* yang dapat terjadi di wilayah Sesar Opak adalah 6,5 Mw dengan periode perulangan *maximum magnitude* selama  $\pm 60$  tahun pada Segmen Utara dan selama  $\pm 130$  tahun pada Segmen Selatan. Namun, penggunaan data *campaign* GPS memiliki keterbatasan pada jumlah data pengamatan. Oleh karena itu, data seismik multitemporal dan data lain seperti data stasiun CORS di sekitar Sesar Opak dapat ditambahkan untuk studi lebih lanjut.

## Ucapan Terimakasih

Terimakasih penulis ucapkan kepada Departemen Teknik Geodesi, tim peneliti Laboratorium Geodesi, Geometri, dan Geodesi Fisis FT UGM, serta mahasiswa Teknik Geodesi yang telah bekerjasama dalam pelaksanaan penelitian Sesar Opak 2021.

## Daftar Pustaka

- Abidin, H.Z., Andreas H, Meliano, I, Gamal M, Kusuma MA, Kimata F, Ando, M. 2007. Deformasi seismik Gempa Yogyakarta Dari Survei GPS. *Jurnal Geofisika Indonesia*, Edisi 2007, No 1.
- Abidin, H.Z., Heri, A., Irwan, M., Gamal, M., Gumilar, I., dan Abdullah, C.I. 2009. Deformasi Koseismik dan Pascaseismik Gempa Yogyakarta 2006 dari Hasil Survei GPS. *Jurnal Geologi Indonesia*, Vol. 4 No.4 Desember 2009: 275-284.
- Adam, J.A.N. 2020. Estimasi Nilai Laju Geser dan Geometri Sesar Opak Menggunakan Data Pengamatan Geodetik Di Yogyakarta, *Skripsi*. Yogyakarta. Universitas Gadjah Mada.
- Cahyadi, M.N., dan Septiningrum, L.2016. Analisa Perubahan Ionosfer Akibat Gempa Mentawai Tahun 2010

- Berdasarkan Kedalaman Dan Magnitude (Studi Kasus : Kepulauan Mentawai, Sumatra Barat). *Geoid*, 12(1), 89-99.
- Lestari, D., 2006. GPS Study for Resolving the Stability of Borobudur Temple Site. *Thesis*. School of Surveying and Spatial Information System, University of New South Wales.
- Herring, T.A, King, R.W., dan McClusky, S.C. 2006. Introduction to GAMIT/GLOBK. Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Science, Massachusetts Institute of Technology.
- Natawidjaja, D.H., Sieh, K., Ward, S.N., Cheng, H., Edwards, R.L., Galetzka, J., dan Suwargadi, B.W. 2004. Paleogeodetic Records of Seismic and Aseismic Subduction from Central Sumatran Microatolls, Indonesia. *Journal of Geophysical Research*, 109, B04306, doi:10.1029/2003JB002398.
- Pinasti, A. 2019. Pemodelan Deformasi Kawasan Sesar Opak Berdasarkan Data GNSS Periodik Tahun 2013 sampai 2018., *Tesis*. Yogyakarta. Universitas Gadjah Mada.
- Pratama, C., Widjajanti, N., Parseno, Pinasti, A., Ummi, R.F., Lestari, D., Sunantyo, T.A., Heliani L.S., Ulinnuha, H. 2021. A possible opak fault segment that caused the 2006 mw 6.3 yogyakarta earthquake and its future implication. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Volume 683, International Geography Seminar 2019 31 August 2019, Lor in Hotel Solo, Indonesia.
- Riastama, C.N., Anjasmara, I.M., Kurniawan, A. 2022. Pemanfaatan Data GPS Tahun 2017-2020 untuk Monitoring Aktivitas Sesar Kendeng di Kota Surabaya. *Geoid*, 17(2), 208-216. Sarsito, D.A., Andreas, Abidin, H.Z., Meilano, I., Darmawan, dan Gamal. 2005. Implikasi Co-Seismic dan Post-Seismic Horizontal Displacement Gempa Aceh 2004 terhadap Status Geometrik Data Spasial Wilayah Aceh dan Sekitarnya. Kelompok Keahlian Geodesi, Departemen Teknik Geodesi, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Sulaeman, C., Dwi, L.C., dan Triyoso, W. 2008. Karakteristik Sumber Gempa Yogyakarta 2006 Berdasarkan Data GPS. *Jurnal Geologi Indonesia*, Vol. 3, No. 1.
- Ulinnuha, H., Sunantyo, A., Widjajanti, N. 2018. Analysis of the July 10th 2013 Tectonic Earthquake effect on the Coordinates Changes of Mentawai Segment Monitoring Station. *Jurnal of Geospatial Information Science and Engineering (JGISE)*, Vol. 1, No. 2.
- Wells, D. L and K. J. Coppersmith. 1994. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement. *Bulletin of the Seismological Society of America*. 84: 974–1002.
- Widjajanti, N., Pratama, C., Parseno, Sunantyo, TA., Heliani, L.S., Ma'ruf, B., Atunggal, D., Lestari, D., Ulinnuha, H., Pinasti, P., Ummi, R.F. 2020. Present-day Crustal Deformation Revealed Active Tectonics in Yogyakarta, Indonesia inferred from GPS Observations. *Journal Geodesy and Geodynamics*.
- Yulaikhah, dan Lestari, D. 2013. Optimasi Jaring Kontrol Horizontal Berdasarkan Persyaratan Matriks Kriteria untuk Studi Geodinamik di Sesar Sungai Opak, *Laporan Penelitian DPP Sekolah Vokasi UGM 2013*. Yogyakarta.
- Yusfania, M., Cahyadi, M.N., Ihsan, F.U., 2015. Analisis Pergeseran Akibat Gempa Bumi Sumatera 11 April 2012 Menggunakan Metode Gps Continue (Studi Kasus : Samudera Hindia). *Geoid*, 11(1), 57-61.



This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).