



EVALUASI PERGERAKAN TITIK KONTROL PEMANTAUAN WADUK SERMO UNTUK Mendukung MITIGASI MULTIDISASTER

Hilmiyati Ulinnuha¹, Nurrohmat Widjajanti², Yulaikhah³, Purnama Budi Santosa⁴, Suci Tresna Novianti⁵

^{1,2,3,4}Departemen Teknik Geodesi-Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada

Jl. Grafika No.2, Sleman, Yogyakarta-55281 Telp./Faks: (024) 74520226, ⁵Alumni Program Studi Sarjana
Teknik Geodesi-Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada

Jl. Grafika No.2, Sleman, Yogyakarta-55281 Telp./Faks: (024) 74520226, e-mail:

hilmiyatiulinnuha01@ugm.ac.id¹, suci.tresna.novianti@mail.ugm.ac.id⁵

ABSTRAK

Yogyakarta merupakan daerah dengan tingkat resiko bencana yang tinggi, termasuk daerah Kabupaten Kulon Progo. Dengan topografi yang cenderung berbukit, menjadikan daerah Kulon Progo merupakan area dengan kerawanan tanah longsor. Selain itu, di Kulon Progo juga terdapat Waduk Sermo sebagai sumber irigasi dan air bersih. Waduk ini terletak disekitar area sesar normal, sehingga Waduk Sermo memiliki resiko *multidisaster* yaitu seismik dan tanah longsor. Oleh karena itu, diperlukan pemantauan secara berkala untuk mengurangi dampak resiko *multidisaster* tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pergerakan titik kontrol pemantauan Waduk Sermo untuk mitigasi atau pengurangan resiko *multidisaster* di area Waduk Sermo. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data pengamatan GPS pada tahun 2015 sampai dengan 2020 pada lima titik kontrol pemantauan di sekitar Waduk Sermo, yaitu MAK1, MAK2, MAK3, MAK4, dan MAK5. Pengolahan data GPS tersebut dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak GAMIT/GLOBK. Selanjutnya dilakukan evaluasi hasil pengolahan GAMIT/GLOBK, dan perhitungan untuk mendapatkan posisi dan arah pergerakan masing-masing titik kontrol pemantauan. Berdasarkan hasil pengolahan data, didapatkan bahwa pergerakan horizontal titik kontrol pemantauan Waduk Sermo berkisar antara 0,006 m/tahun sampai dengan 0,016 m/tahun kearah Timur Laut. Sedangkan pergerakan vertikal berkisar antara 0,006 m/tahun sampai dengan 0,033 m/tahun dengan arah pergerakan keatas permukaan tanah kecuali untuk titik MAK3 yang bergerak kebawah. Pergerakan hingga level cm menunjukkan bahwa daerah Waduk Sermo harus terus dipantau secara berkala untuk mengurangi resiko *multidisaster*.

Kata kunci : Titik kontrol, Waduk Sermo, GPS, Mitigasi, Multidisaster.

ABSTRACT

Yogyakarta is an area with a high level of disaster risk, including the Kulon Progo Regency area. Kulon Progo topography that tends to be hilly, it has a landslide disaster vulnerability. In addition, in Kulon Progo there is also a Sermo Reservoir as a source of irrigation and clean water. This reservoir is located around a normal fault area, so the Sermo Reservoir has multidisaster risk, namely seismic and landslides. Therefore, periodic monitoring is needed to reduce the impact of the multidisaster risk. This study aims to evaluate the movement of control points monitoring the Sermo reservoir to mitigate or reduce the risk of multidisaster in the Sermo Reservoir area. The data used in this study is GPS observation data from 2015 to 2020 at five monitoring control points around the Sermo Reservoir, namely MAK1, MAK2, MAK3, MAK4, and MAK5. GPS data processing is done using GAMIT/GLOBK software. Furthermore, evaluation of the results of GAMIT/GLOBK processing is carried out, and calculations to obtain the position and direction of movement of each monitoring control point. Based on the results of data processing, it was found that the horizontal movement of the monitoring control point of the Sermo Reservoir ranged from 0.006 m to 0.016 m towards the Northeast. While the vertical movement ranges from 0.006 m to 0.033 m. The directions of vertical movement are above the ground surface except for the MAK3 point which moves downwards. Upwards movements reach the cm level which indicate that the Sermo Reservoir area must be monitored regularly to reduce the risk of multidisaster.

Keywords : Control Point, Sermo Reservoir, GPS, Mitigation, Multidisaster.

1. PENDAHULUAN

Yogyakarta memiliki faktor risiko bencana yang cukup tinggi, termasuk daerah Kabupaten Kulon Progo. Dengan topografi yang cenderung berbukit, Kabupaten

Kulon Progo merupakan area dengan kerawanan bencana yang tinggi, salah satunya adalah rawan bencana tanah longsor. Selain itu, Kabupaten Kulon Progo juga memiliki tingkat kerawanan bencana

gempa bumi. Pada tanggal 1 Oktober 2019, Kulon Progo diguncang gempa bumi dengan dengan kekuatan 5,1 SR dan tanggal 20 Januari 2020 dengan kekuatan 4,2 SR. Hal ini menunjukkan pergerakan aktif oleh sesar di sekitar wilayah Kulon Progo. Salah satu sesar aktif di kawasan Kulon Progo adalah sesar yang memanjang dari Parangtritis hingga Kulon Progo, selanjutnya disebut sesar Parangtritis – Kulon Progo.

Sesar Parangtritis – Kulon Progo melewati area Bendungan Sermo yang terletak di wilayah Kokap, Kulon Progo. Waduk ini merupakan sebagai sumber irigasi dan air bersih. Struktur geologi sesar ini adalah sesar utama dengan arah NW-SE yang melewati Kali Ngrancah di daerah genangan, kekar, dan potensi longsor (Herawati, dkk, 2015). Sesar ini merupakan sesari normal dan keberadaan sesar ini memiliki potensi/kontribusi terjadinya pergerakan pada tubuh Bendungan Sermo dan sebaliknya keberadaan bendungan juga dimungkinkan berpengaruh terhadap stabilitas sesar.

Penelitian terkait sesar Parangtritis – Kulon Progo yang terletak dibawah Bendungan Sermo telah banyak dilakukan. Waljiyanto dkk (2015) melakukan penelitian yang bertujuan untuk mengembangkan jaring pemantauan sesar disekitar Bendungan Sermo. Hasil penelitian ini adalah lokasi lima titik kontrol jaring makro. Febriana (2016) yang melakukan penelitian mengenai analisis deformasi aspek geometrik pada jaring kontrol pemantauan bendungan sermo tahun 2015 s.d. 2016. Hasilnya menunjukkan bahwa besar pergeseran horizontal dalam fraksi milimeter dengan nilai pergeseran horizontal berkisar antara 7,2 mm s.d. 80,4 mm. sedangkan besar pergerakan vertikal berkisar antara 1,1 cm s.d. 10,1 cm. Pada tahun ini juga dilakukan penelitian mengenai pergeseran koordinat titik kontrol oleh Yulaikhah dkk (2016). Hasilnya menunjukkan bahwa perbedaan koordinat titik kontrol jaring pemantauan pada tahun 2015 dan 2016 bervariasi mulai dari 0,12 hingga 1,68 cm pada komponen N, 0,21 hingga 0,65 cm pada komponen E, sedangkan komponen U (vertikal perpindahan) memiliki yang lebih besar, bervariasi dari 2,71 hingga 16,34 cm.

Tahun 2018, Yulaikhah dkk melakukan penelitian mengenai pengaruh korelasi komponen dasar terhadap desain GNSS untuk pemantauan deformasi Waduk Sermo. Hasilnya menunjukkan bahwa korelasi komponen dasar mempengaruhi hasil konfigurasi jaringan GNSS. Korelasi dapat menghasilkan konfigurasi jaringan yang sensitif dengan *baseline* yang lebih sedikit. Oleh karena itu, biaya dan waktu survei lapangan dapat dikurangi. Dapat dikatakan bahwa korelasi komponen dasar perlu diperhitungkan dalam desain konfigurasi jaringan pemantauan deformasi. Yulaikhah dkk (2018) juga melakukan penelitian yang bertujuan untuk menganalisis korelasi kualitas data pengamatan GNSS yang dihasilkan dari pengukuran

titik kontrol pergeseran Sermo dan kepresisian koordinat. Hasilnya menyatakan bahwa diantara ketiga parameter kualitas data pengamatan GNSS, efek *multipath*, efek atmosfer dan tingkat perekaman data, parameter tingkat perekaman data memiliki korelasi paling kuat terhadap ketelitian koordinat dan bertanda negatif yaitu dengan koefisien korelasi berkisar -0,7 sampai dengan -0,9. Selain kebutuhan data yang presisi, pergerakan sesar di sekitar area Waduk Sermo menunjukkan adanya kemungkinan pergerakan jaring pengamatan titik makro (Taftazani dan Yulaikhah, 2017). Hal ini mengakibatkan semakin tingginya ancaman bencana di area Waduk Sermo.

Tingginya ancaman *multidisaster* yaitu gempa bumi / seismik dan tanah longsor di Waduk Sermo, maka tetap diperlukan pemantauan di wilayah Bendungan Sermo secara berkala. Pemantauan wilayah bendungan secara berkala telah dilakukan sejak tahun 2015 harus terus dilakukan untuk mengurangi dampak negatif yang ditimbulkan. dengan distribusi titik kontrol disekitar Waduk Sermo. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pergerakan titik kontrol pemantauan Waduk Sermo berdasarkan data pengamatan GPS kontinyu.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan data primer dan sekunder. Data primer yang digunakan adalah data pengamatan GPS pada lima titik kontrol makro dari tahun 2015 s.d. 2020. Data yang digunakan berjumlah 14 *day of year* (doy). Titik kontrol tersebut adalah MAK1, MAK2, MAK3, MAK4, dan MAK5. Sedangkan data sekunder yang digunakan adalah data koreksi pasang surut air laut, koreksi atmosfer, dan data pengamatan stasiun CORS untuk pengikatan. Stasiun CORS yang digunakan berjumlah tujuh buah. Metode penelitian ini dimulai dari pengolahan data GPS, perhitungan kecepatan pergerakan titik kontrol, dan evaluasi pergerakan titik kontrol.

2.1 Pengolahan Data GPS

Pengolahan 14 doy data pengamatan titik kontrol dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *scientific* yaitu GAMIT/GLOBK. Pengolahan ini terdiri dari 2 tahap yaitu tahap pengolahan GAMIT dan tahap pengolahan GLOBK. Pengolahan ini diikatkan dengan 7 stasiun IGS.

Pengolahan data dengan GAMIT dilakukan dengan menggunakan prinsip hitung kuadrat terkecil parameter berbobot (Anonim, 2000). Hasil pengolahan terdiri dari solusi bias *fixed* dan *free*. Solusi ini berasal dari pengolahan *double difference* (Ulinnuha, 2015).

Untuk dapat melakukan pengolahan menggunakan GLOBK, maka hasil pengolahan GAMIT harus memenuhi kriteria nilai *fract* < 10 dan nilai *postfit nrms* < 0.5 meter. Nilai ini didapatkan sesuai dengan Persamaan (1) dan (2) (Herring, dkk., 2006).

$$\text{Postfit nrms} = \sqrt{\frac{\sum x^2}{n-u}} \quad (1)$$

$$x^2 = \frac{\hat{\sigma}^2}{\sigma^2} \quad (2)$$

Dalam hal ini,

$\hat{\sigma}^2$: varian aposteriori untuk unit bobot

σ^2 : varian apriori untuk unit bobot

n : jumlah ukuran

u : ukuran minimum

Nilai *fract* merupakan perbandingan nilai *adjust* dan nilai *formal*. Nilai *adjust* adalah besarnya perataan yang diberikan pada parameter hitungan, sedangkan nilai *formal* merupakan ketidakpastian pada pemberian bobot pada hitungan kuadrat terkecil.

Pengolahan menggunakan GLOBK merupakan proses perhitungan *Kalman Filter* untuk mengkombinasikan solusi semua hasil pengolahan data pengamatan GPS. Hasil proses *Kalman Filter* dievaluasi dengan nilai *weighted root mean square (wrms)* dan *normal root mean square (nrms)*. Nilai *wrms* yang baik apabila bernilai dibawah 10 mm (Herring, dkk., 2006). Selanjutnya hasil dari pengolahan ini adalah posisi dan ketelitian posisi masing-masing titik jaring kontrol.

2.2 Perhitungan Kecepatan Pergerakan

Setelah mendapatkan koordinat posisi dan ketelitian masing-masing titik, selanjutnya dilakukan perhitungan kecepatan pergerakan titik kontrol dari tahun 2015 s.d 2020. Perhitungan kecepatan pergerakan lima titik kontrol dilakukan sesuai Persamaan (3) s.d (5) (Herring, dkk., 2006). Perhitungan ini juga dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak GAMIT/GLOBK. Hasil dari perhitungan ini adalah nilai kecepatan pergerakan titik kontrol dan ketelitiannya, serta arah pergerakan tersebut.

$$X_t = X_{t_0} + (t - t_0) V \quad (3)$$

Dalam hal ini,

X_t : koordinat titik kala t

X_{t_0} : koordinat titik kala t_0

V : kecepatan pergeseran

$$V_R = \sqrt{V_n^2 + V_e^2} \quad (4)$$

Dalam hal ini,

V_R : *resultan* kecepatan pergeseran

V_n : kecepatan pergeseran pada komponen *northing*

V_e : kecepatan pergeseran pada komponen *easting*

$$\alpha = \tan \frac{V_e}{V_n} \quad (5)$$

Dalam hal ini,

α : arah vektor pergeseran horizontal

2.3 Evaluasi Pergerakan Titik Kontrol Pemantauan

Evaluasi hasil pergerakan titik kontrol pemantauan dilakukan dengan melihat nilai perbedaan koordinat dari tahun 2015 s.d 2020. Koordinat semua tahun dibandingkan dengan koordinat tahun 2015. Koordinat tahun 2015 dipilih sebagai referensi karena merupakan epok awal pemantauan pergerakan Waduk Sermo. Selain itu juga dilakukan uji signifikansi dengan *t-student* sesuai Persamaan (6) dan (7) (Ghilani, 2010) pada nilai kecepatan pergerakan hasil hitungan.

$$t = \frac{x}{\sigma x} \quad (6)$$

$$t \leq t_{(a/2, df)} \quad (7)$$

Dalam hal ini,

x : nilai kecepatan pergerakan

σx : ketelitian kecepatan pergerakan

Penolakan hipotesis terjadi apabila memenuhi kriteria pada Persamaan (6) dengan tingkat kepercayaan 95%. Penolakan hipotesis mengindikasikan bahwa nilai parameter tidak eksis secara stastistik dan menunjukkan tidak adanya pergerakan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini terbagi menjadi tiga bagian. Pertama adalah hasil pengolahan GPS. Kedua adalah hasil perhitungan kecepatan pergerakan titik kontrol. Ketiga adalah hasil evaluasi pergerakan titik kontrol.

3.1 Hasil Pengolahan Data GPS

Hasil akhir pengolahan data pengamatan GPS berupa koordinat dan ketelitian koordinat dari kelima titik kontrol pemantauan Waduk Sermo. Selain hal tersebut, nilai *postfit nrms* dan *fract*, serta *nrms* dan *wrms* hasil pengolahan juga dihasilkan dari pengolahan data ini.

3.1.1 Nilai *Postfit Nrms* dan Nilai *Fract*

Hasil pengolahan semua doy pengamatan menggunakan perangkat lunak GAMIT menunjukkan bahwa nilai *postfit nrms* pada solusi bias *free* maupun *fixed* kurang dari 0,5. Hal ini menunjukkan tidak ada efek *cycle slip* yang belum dihilangkan. Nilai *postfit nrms* pada pengolahan data tahun 2020 ditunjukkan pada **Tabel 1**.

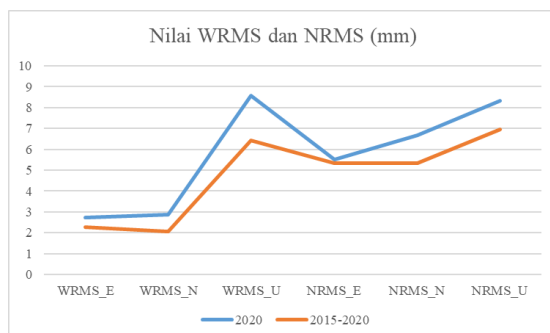
Tabel 1. Nilai *postfit nrms* hasil pengolahan GAMIT menggunakan data tahun 2020

DOY	Solusi	Jenis solusi	<i>Postfit nrms</i>
242	<i>Constrained solution</i>	<i>Bias free</i>	0,18855
		<i>Bias fixed</i>	0,19394
	<i>Loose solution</i>	<i>Bias free</i>	0,18851
		<i>Bias fixed</i>	0,19388
243	<i>Constrained solution</i>	<i>Bias free</i>	0,19022
		<i>Bias fixed</i>	0,19576
	<i>Loose solution</i>	<i>Bias free</i>	0,19018
		<i>Bias fixed</i>	0,19572
244	<i>Constrained solution</i>	<i>Bias free</i>	0,18027
		<i>Bias fixed</i>	0,18913
	<i>Loose solution</i>	<i>Bias free</i>	0,18014
		<i>Bias fixed</i>	0,18902

Nilai *fract* hasil pengolahan semua doy menunjukkan nilai kurang dari 10. Berdasarkan nilai *fract* dan *postfit nrms* menunjukkan bahwa hasil pengolahan GAMIT dapat digunakan untuk pengolahan selanjutnya, yaitu pengolahan menggunakan GLOBK.

3.1.2 Nilai *wrms* dan *nrms*

Pengolahan GLOBK menghasilkan file *.org yang berisi koordinat dan ketelitian hasil perhitungan *Kalman Filter*. Pada penelitian ini nilai *wrms* dan *nrms* juga dihasilkan. Nilai tersebut didapatkan dalam fraksi milimeter. Nilai *wrms* dan *nrms* ditunjukkan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Nilai *wrms* dan *nrms* hasil pengolahan GLOBK

Gambar 1. menunjukkan nilai *wrms* dan *nrms* pada pengolahan data tahun 2020, dan nilai maksimal pada pengolahan data tahun sebelumnya. Nilai *wrms* dan *nrms* dihasilkan pada komponen *Easting* (E), *Northing* (N), dan *Up* (U). Nilai terbesar terdapat pada *wrms* komponen *Up* dan *nrms* komponen *Up*. Hal ini dapat disebabkan oleh ketidakmampuan untuk mengamati satelit GPS yang berada dibawah horizon, sehingga nilai komponen vertikal (*Up*) tidak lebih teliti dari pada komponen horizontal (*Easting* dan *Northing*).

3.1.3 Koordinat Posisi Titik Kontrol Pengamatan

Koordinat hasil pengolahan GLOBK didapatkan pada sistem koordinat kartesi 3D, koordinat toposentrik, dan koordinat geodetic (Lintang, Bujur, Tinggi). Untuk melihat adanya pergerakan titik digunakan sistem koordinat toposentrik, yaitu komponen E, N, dan Up. Hasil dari penelitian ini adalah koordinat posisi dan ketelitian dari lima titik kontrol pada tahun 2015, 2016, 2017, 2018, dan 2020. Koordinat tahun 2019 tidak dihasilkan karena data pengamatan titik kontrol tidak tersedia pada tahun ini. Koordinat dan ketelitian koordinat lima titik kontrol Waduk Sermo pada tahun 2020 ditunjukkan pada **Tabel 2** dan **Tabel 3**.

Tabel 2. Koordinat titik kontrol pemantauan Waduk Sermo pada tahun 2020

Titik	Koordinat Toposentrik (m)		
	N	E	U
MAK1	-873852,954	12143936,619	110,133
MAK2	-872957,960	12147739,715	79,733
MAK3	-870312,370	12148053,229	77,303
MAK4	-869344,320	12143520,471	188,678
MAK5	-870813,766	12142061,897	218,531

Tabel 3. Ketelitian koordinat titik kontrol pemantauan Waduk Sermo pada tahun 2020

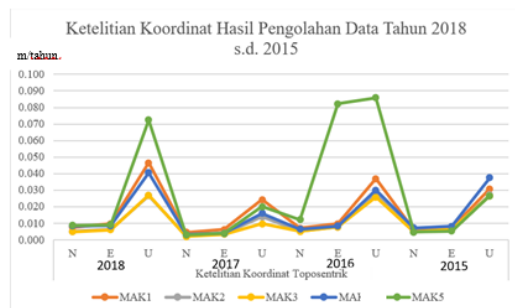
Titik	Ketelitian Koordinat Toposentrik (m)		
	N	E	U
MAK1	0,001	0,001	0,005
MAK2	0,001	0,001	0,002
MAK3	0,000	0,001	0,002

Tabel 3. Ketelitian koordinat titik kontrol pemantauan Waduk Sermo pada tahun 2020 (Lanjutan)

Titik	Ketelitian Koordinat Toposentrik (m)		
	N	E	U
MAK4	0,001	0,001	0,004
MAK5	0,001	0,001	0,004

Pada hasil pengolahan data tahun 2020, nilai ketelitian terkecil terdapat pada titik MAK2. Nilai ketelitian terbesar terletak pada titik MAK1 komponen U dengan nilai 0,005 mm. Meskipun nilai ketelitian ini paling besar, namun masih dalam fraksi milimeter. Ketelitian vertikal yang tidak lebih baik dari pada horizontal ini juga disebabkan oleh adanya ketidakmampuan untuk mengamati satelit yang berada dibawah horizon.

Pada pengolahan tahun sebelum 2020 didapatkan ketelitian yang beragam dari 0,0 m s.d. 0,082 m. Hasil ketelitian menunjukkan ketelitian dalam fraksi milimeter dan centimer. Ketelitian terendah terdapat pada titik MAK5 tahun 2016. Hasil ketelitian koordinat pada tahun 2018 s.d. 2015 ditunjukkan pada **Gambar 2**.

**Gambar 2.** Ketelitian koordinat hasil pengolahan data tahun 2018 s.d. 2015

Koordinat dan ketelitian koordinat dari pengolahan kombinasi semua data tahun 2015 s.d. 2020 (14 doy) juga didapatkan dari penelitian ini. Koordinat toposentrik pengolahan kombinasi ditunjukkan pada **Tabel 4**, dan ketelitiannya pada **Tabel 5**.

Tabel 4. Koordinat titik kontrol pemantauan Waduk Sermo pada tahun 2015 s.d. 2020

Titik	Koordinat Toposentrik (m)		
	N	E	U
MAK1	-873852,931	12143936,564	110,087
MAK2	-872957,953	12147739,645	79,741
MAK3	-870312,355	12148053,184	77,357
MAK4	-869344,292	12143520,423	188,629
MAK5	-870813,757	12142061,835	218,419

Tabel 5. Ketelitian koordinat titik kontrol pemantauan Waduk Sermo pada tahun 2015 s.d. 2020

Titik	Ketelitian Koordinat Toposentrik (m)		
	N	E	U
MAK1	0,007	0,008	0,036
MAK2	0,005	0,006	0,023
MAK3	0,004	0,005	0,021
MAK4	0,006	0,007	0,031
MAK5	0,006	0,006	0,033

3.2 Hasil Perhitungan Kecepatan Pergerakan

Nilai kecepatan pergerakan dihasilkan pada komponen horizontal (E, U) dan komponen vertikal (U). Nilai kecepatan pergerakan lima titik kontrol pemantauan Waduk Sermo ditunjukkan pada **Tabel 6**. Nilai kecepatan pergerakan berkisar antara antara 0,006 m/tahun sampai dengan 0,016 m/tahun kearah Timur Laut. Sedangkan pergerakan vertikal berkisar antara 0,006 m sampai dengan 0,033 m. Pergerakan vertikal bernilai positif menunjukkan pergerakan naik ke atas permukaan tanah, dan nilai negatif menunjukkan pergerakan menurun. Ketelitian kecepatan pergerakan masing-masing titik kontrol ditunjukkan pada **Tabel 7**.

Tabel 6. Kecepatan pergerakan titik pantau pada tahun 2015 s.d. 2020

Titik	Koordinat Toposentrik (m/tahun)		
	N	E	U
MAK1	0,009	0,014	0,010
MAK2	0,015	0,016	0,003
MAK3	0,011	0,013	-0,017
MAK4	0,011	0,011	0,006
MAK5	0,006	0,011	0,033

Tabel 7. Ketelitian kecepatan pergerakan titik pantau pada tahun 2015 s.d. 2020

Titik	Ketelitian koordinat Toposentrik (m/tahun)		
	N	E	U
MAK1	0,070	0,071	0,050
MAK2	0,069	0,071	0,049
MAK3	0,069	0,071	0,021
MAK4	0,069	0,071	0,050
MAK5	0,070	0,071	0,050

Dengan Persamaan (4) dan (5) didapatkan resultan kecepatan pergerakan horizontal dan arah pergerakannya. Berdasarkan **Tabel 8.**, nilai VR adalah nilai resultan kecepatan pergerakan horizontal.

Tabel 8. Nilai resultan kecepatan pergerakan titik kontrol pemantauan tahun 2015 sd. 2020

Titik	VR (m/tahun)	Arah (DD)	Keterangan
MAK1	0,016	58,493800	Timur Laut
MAK2	0,023	47,082889	Timur Laut
MAK3	0,017	48,602583	Timur Laut
MAK4	0,015	45,189094	Timur Laut
MAK5	0,013	57,792906	Timur Laut

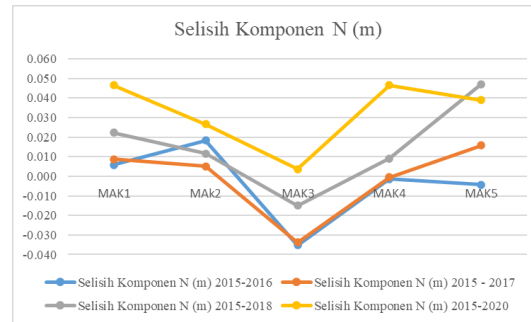
Berdasarkan **Tabel 7.** dan **Tabel 8.**, pergerakan horizontal dan vertikal hingga level cm dapat mengidentifikasi adanya kemungkinan terjadinya bencana gempa bumi dan tanah longsor di sekitar Waduk Sermo. Oleh karena itu, daerah Waduk Sermo harus terus dipantau secara berkala untuk mengurangi resiko *multidisaster*, yaitu khususnya bencana gempa bumi dan tanah longsor.

3.3 Hasil Evaluasi Pergerakan Titik Kontrol Pemantauan

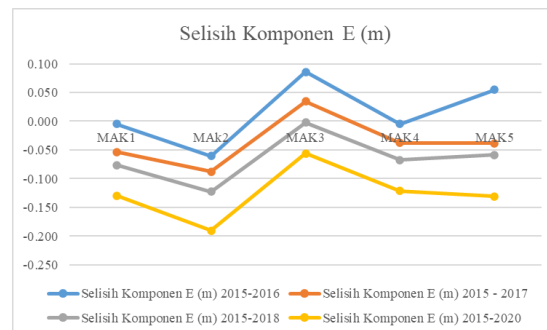
Evaluasi pergerakan titik kontrol dilakukan dengan menggunakan koordinat 2015 sebagai titik referensi. Terdapat dua bagian evaluasi, yaitu perbedaan koordinat 2016, 2017, 2018, dan 2020 terhadap koordinat 2015, serta evaluasi perbedaan koordinat dari tahun ke tahun. Selain itu juga dilakukan evaluasi nilai kecepatan pergerakan dengan uji *t-student*.

3.3.1 Hasil Evaluasi Perbedaan Koordinat

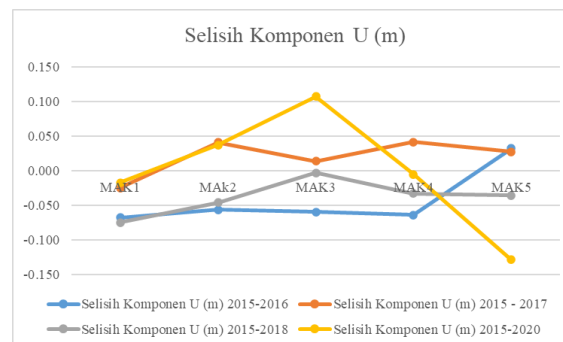
Perbedaan koordinat masing-masing tahun dengan koordinat tahun 2015 ditunjukkan pada **Gambar 3.** s.d. **Gambar 5.** Perbedaan koordinat komponen N cenderung semakin besar dari tahun 2015 sd 2020. Selisih koordinat dari 2015 s.d. 2020 cenderung bernilai positif. Hal ini mengindikasikan adanya penambahan nilai pada komponen N atau semakin ke arah Utara.



Gambar 3. Selisih Koordinat Komponen *Northing* (N) pada tahun 2015 s.d. 2020



Gambar 4. Selisih Koordinat Komponen *Easting* (E) pada tahun 2015 s.d. 2020

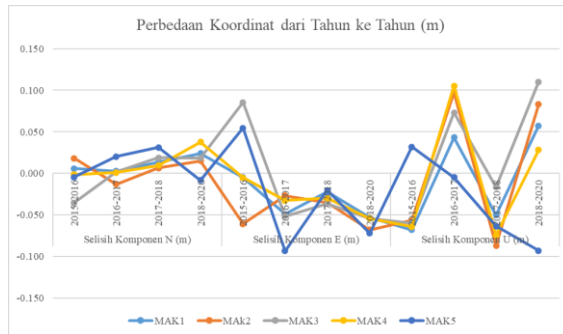


Gambar 5. Selisih Koordinat Komponen *Up* (U) pada tahun 2015 s.d. 2020

Berdasarkan **Gambar 4.**, perbedaan koordinat komponen E cenderung semakin kecil dari tahun 2015 sd 2020. Selisih koordinat dari 2015 s.d. 2020 cenderung bernilai negatif. Hal ini mengindikasikan adanya pengurangan nilai pada komponen E atau semakin ke arah Barat.

Perbedaan koordinat komponen U dari tahun 2015 s.d. 2020 ditunjukkan pada **Gambar 5.** Perbedaan komponen U cenderung mengalami kenaikan atau mengarah ke atas permukaan tanah. Namun pada titik MAK4 dan MAK5, perbedaan koodinat mengalami penurunan, yang artinya mengalami pergerakan turun. Kondisi ini dapat menunjukkan kondisi tanah yang tidak stabil dan

dapat mengakibatkan resiko terjadi bencana tanah longsor semakin besar.



Gambar 6. Selisih Koordinat dari tahun ke tahun (2015-2016-2017-2018-2020)

Perbedaan koordinat dari tahun ke tahun pada **Gambar 6.** menunjukkan kecenderungan semakin besar pada komponen N, semakin kecil pada komponen E, dan fluktuatif pada komponen U. Hal ini mendukung hasil evaluasi perbedaan koordinat dengan koordinat referensi pada tahun 2015. Komponen N cenderung bergerak ke Utara, komponen E cenderung bergerak ke Barat, dan komponen U cenderung fluktuatif.

3.3.2 Hasil Evaluasi Nilai Kecepatan Pergerakan

Evaluasi nilai kecepatan pergerakan 2015 sd 2020 berdasarkan uji *t-student* ditunjukkan pada **Tabel 9.** dan **Tabel 10.** Penerimaan hipotesis (H_0) mengindikasikan nilai parameter eksis secara statistik dan menunjukkan adanya pergerakan. Oleh karena itu, wilayah Waduk Sermo harus selalu dilakukan pemantauan secara berkala.

Tabel 9. Nilai t hitungan uji kecepatan pergerakan

Titik	Nilai t-hitungan		
	N	E	U
MAK1	0,122589	0,196189	0,208247
MAK2	0,223053	0,235319	0,067597
MAK3	0,164915	0,183512	0,789523
MAK4	0,152108	0,150197	0,123058
MAK5	0,096978	0,151044	0,677846

Tabel 10. Hasil uji *t-student* kecepatan pergerakan

Titik	Nilai t-hitungan		
	N	E	U
MAK1	Diterima	Diterima	Diterima
MAK2	Diterima	Diterima	Diterima
MAK3	Diterima	Diterima	Diterima

Tabel 10. Hasil uji *t-student* kecepatan pergerakan (Lanjutan)

Titik	Nilai t-hitungan		
	N	E	U
MAK4	Diterima	Diterima	Diterima
MAK5	Diterima	Diterima	Diterima

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah pergerakan horizontal titik kontrol pemantauan Waduk Sermo berkisar antara 0,006 m/tahun sampai dengan 0,016 m/tahun kearah Timur Laut. Sedangkan pergerakan vertikal berkisar antara 0,006 m sampai dengan 0,033 m dengan arah pergerakan keatas permukaan tanah kecuali untuk titik MAK3 yang bergerak kebawah. Pergerakan hingga level cm menunjukkan bahwa daerah Waduk Sermo harus terus dipantau secara berkala untuk mengurangi resiko *multidisaster*.

Saran untuk pengembangan penelitian ini adalah perlu dilakukan analisis tambahan mengenai peta ancaman dan resiko *multidisaster* di sekitar area Waduk Sermo dengan data terbaru, sehingga akan mengurangi dampak negatif yang dapat ditimbulkan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada Departemen Teknik Geodesi, Fakultas Teknik UGM dan segenap tim peneliti yang telah mendukung berjalannya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2000," Documentation for the GAMIT GPS Analysis Software", Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Science, Massachusetts Institute of Technology.
- Febriana, D., 2016," Analisis Deformasi 3D Aspek Geometrik Pada Jaring Kontrol Pemantauan Bendungan Sermo Tahun 2015 s.d. 2016", Tesis, Program Studi S-2 Teknik Geomatika, Pascasarjana Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Ghilani,C.D.,2010."Adjustment Computations Spatial Data Analysis".Fifth Edition. John Wiley & Sons,Inc. Hoboken.New Jersey.
- Herawati, Wibowo., N.D., dan Niyartama., T.F., 2015," Mikrozonasi Multidisaster Daerah Sekitar Waduk Sermo Berbasis Analisis Keputusan Multikriteria Simple Additive Weight (Saw) Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor", Jurnal Dialog

- Penanggulangan Bencana, BNPB Volume 6 No 1.
- Herring, T.A., King R.W., Floyd M.A., McClusky, S.C.,2006,” Introduction to GAMIT / GLOBK”. Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Science, Massachusetts Institutes of Technology.
- Taftazani, M.I., dan Yulaikhah,2017, “Studi Akurasi Pengukuran Gnss Jaring Makro Tahun 2016 dan 2017 Pada Pemantauan Bendungan Sermo“, Jurnal Nasional Teknologi Terapan, JNTT Vol.1. No.1.
- Ulinuha, H., 2015, ”Analisis Deformasi Aspek Geometrik Segmen Mentawai Akibat Gempa Tektonik 10 Juli 2013”, Tesis, Program Studi S-2 Teknik Geomatika, Pascasarjana Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Waljiyanto, Widjajanti. N, Yulaikhah, Taftazani. M.I., 2015, “Pengembangan Jaring Kontrol Geodesi Pemantau Waduk Sermo”, Jurnal Ilmiah Geomatika Volume 21 No. 2. Desember 2015: 107 – 114.
- Yulaikhah, dkk. 2016. “The Analysis of Monitoring Control Point Displacement of Sermo Dam Based on the 2015-2016 GNSS Data”, Proceeding International Seminar ISEDM 2016.
- Yulaikhah, Pramumijoyo,S., Widjajanti. N, , 2018, “Correlation of GNSS Observation Data Quality Resulted from TEQC Checking and Coordinate’s Precision”, JGISE Vol.1. No.1.