

PENGEMBANGAN JARING KONTROL GEODESI PEMANTAU WADUK SERMO

(Geodetic Control Network Development in Waduk Sermo Monitoring)

Waljiyanto, Nurrohmat Widjajanti, Yulaikhah dan M. Iqbal Taftazani

Program Studi Diploma-3 Teknik Geomatika Departemen Teknologi Kebumihan Sekolah Vokasi UGM

Jl. Grafika No. 2 Yogyakarta

E-mail: jinto@ugm.ac.id

Diterima (received): 25 Agustus 2015; Direvisi (revised): 1 Oktober 2015; Disetujui untuk dipublikasikan (accepted): 30 Oktober 2015

ABSTRAK

Keberadaan Waduk Sermo di Kabupaten Kulonprogo, sangat penting karena manfaatnya sebagai tampungan air bersih, sarana pariwisata dan saluran irigasi untuk lahan pertanian di sekitarnya. Namun demikian banyak juga yang tidak menyadari bahwa di bawah Waduk Sermo terdapat segmen sesar aktif yang memanjang dari Parangtritis ke Kulonprogo. Penelitian ini bermaksud untuk mengembangkan jaring pengamatan yang telah ada sebelumnya menjadi lebih luas cakupannya untuk mengetahui dampak dari adanya sesar aktif tersebut. Penelitian dilaksanakan dengan beberapa tahapan, yaitu: 1) pengembangan kerangka kontrol, dengan menambah tujuh titik (5 makro dan 2 mikro) jaring kontrol baru; 2) pengukuran kerangka kontrol, dengan menggunakan pengamatan GPS/GNSS metode relatif statik di semua titik kontrol sejumlah 15 titik; 3) pengolahan data, dengan menggunakan perangkat lunak GAMIT/GLOBK dan diolah dalam dua skenario terkait penggunaan titik referensi dalam pengolahan. Hasil dari penelitian ini adalah terbangunnya pilar/patok jaring pemantauan baru sebagai pengembangan jaring kontrol pemantauan Waduk Sermo, serta koordinat jaring kontrol hasil olahan dalam dua skenario, yaitu: pada skenario pertama, titik makro memiliki simpangan baku terkecil yaitu 0,004 m pada sumbu Z di titik MAK2. Sedangkan pada titik mikro, simpangan baku terkecil sebesar 0,004 m pada sumbu Z di titik BBR1 dan BMS2. Pada skenario kedua, simpangan baku titik makro terkecil yaitu 0,001 m pada sumbu X di titik MAK1. Sedangkan pada titik mikro, simpangan baku terkecil sebesar 0,005 m pada sumbu Z di titik BMS2. Titik-titik yang sudah dibangun dapat bermanfaat untuk memantau pergerakan bendungan dan secara berkala bisa digunakan untuk memantau aktivitas sesar yang berada di bawah Waduk Sermo.

Kata kunci: pengembangan JKG, pemantau Waduk Sermo, teknik GPS/GNSS

ABSTRACT

The existence of Sermo reservoir in Kulon Progo Regency, is very important because its benefits as a clean water reservoir, tourism facilities and irrigation canals for agricultural land in the vicinity. However, many do not realize that under the Sermo Reservoir, there are active fault segment that extends from Parangtritis to Kulonprogo. This study intends to develop nets observations that have been there before becoming wider scope to determine the impact of the presence of active faults. Research conducted by several stages, namely: 1) development control framework, by adding seven points (5 2 macro- and micro) net new control; 2) measurement control framework, using observations GPS / GNSS relatively static methods at all control points number of 15 points; 3) data processing, using software gesture / GLOBK and processed in two scenarios related to the use of a reference point in the processing. The results of this research is to build a pillar / peg net new monitoring as development netting monitoring control Sermo Reservoir, as well as coordinate nets control processed in two scenarios, namely: the first scenario, the point of the macro has a standard deviation of the smallest of 0,004 m in the Z-axis at the point MAK2. While the micro point, the smallest standard deviation of 0.004 m in the Z-axis at the point BBR1 and BMS2. In the second scenario, the smallest standard deviation macro point is 0,001 m on the X axis at point MAK1. While the micro point, the smallest standard deviation of 0.005 m in the Z-axis at the point BMS2. The points that have been built can be useful for monitoring the movement of the dam and periodically can be used to monitor the activity of faults that are under Sermo Reservoir.

Keywords: Geodetic Control Network development, Waduk Sermo monitoring, GPS/GNSS technique

PENDAHULUAN

Waduk Sermo merupakan sebuah bendungan penampung air yang berlokasi di Kabupaten Kulonprogo, Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta yang dimanfaatkan sebagai tampungan air bersih, sarana pariwisata dan saluran irigasi untuk lahan pertanian di sekitarnya. Waduk Sermo diresmikan oleh Presiden Soeharto pada tanggal 22 November 2006 (Wikipedia, 2015). Luas

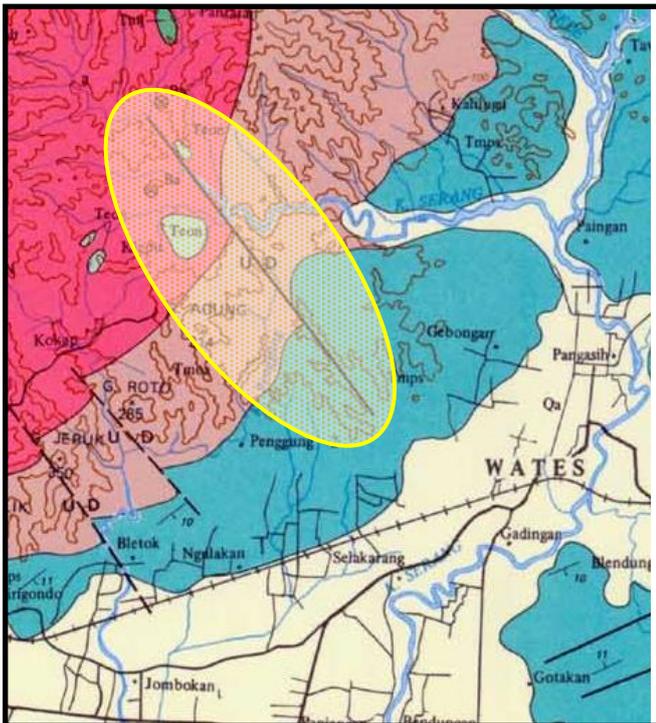
genangan air Waduk Sermo adalah kurang lebih 157 Ha dengan kondisi air yang masih jernih serta bentuknya berkelok-kelok. Waduk ini dapat menampung air 25 juta meter kubik. Konstruksi bendungan berukuran lebar atas 8 m, lebar bawah 250 m, panjang 190 m dan tinggi 56 m (Apriyanti dan Yulaikhah, 2014).

Keberadaan bendungan di Waduk Sermo telah menarik perhatian banyak peneliti untuk meneliti tentang monitoring keamanan bendungan dengan berbagai metode, salah

satunya metode geodetik dengan melakukan pengukuran teliti menggunakan *Total Station* secara radial (Apriyanti dan Yulaikhah; Yulaikhah dan Andaru; Yulaikhah dan Parseno) dan jaring GPS/GNSS (*Global Positioning System/Global Navigation Satellite System*) serta menganalisis pergerakan dari bendungan tersebut (Sunantyo *et al.*, 2012).

Penelitian terdahulu lebih terfokus pada pemantauan jaring kontrol di sekitar area bendungan di Waduk Sermo. Pada penelitian ini bermaksud untuk mengembangkan jaring pengamatan yang telah ada sebelumnya menjadi lebih luas cakupannya. Hal ini disebabkan karena adanya sesar/patahan yang berada di bawah Waduk Sermo (Peta Geologi Yogyakarta) yang digolongkan dalam sesar aktif segmen Parangtritis-Kulonprogo (USGS, 2015).

Secara umum, lokasi Waduk Sermo berada di bawah kaki pegunungan Kulonprogo yang banyak mengalami proses tektonis pada periode tersier-kuarter awal, yang mengakibatkan adanya jalur patahan di area kaki pegunungan Kulonprogo (Mulyaningsih, 2006). Keberadaan sesar Kulonprogo ditunjukkan oleh area yang diarsir pada peta geologi dalam **Gambar 1**.



Gambar 1. Peta Geologi Lembar Yogyakarta. (Rahardjo *et al.*, 1977)

Tujuan penelitian adalah untuk melakukan pengembangan jaring titik kontrol geodesi pemantau Waduk Sermo yang lebih luas

cakupannya dan tidak terbatas di area bendungan saja. Pengembangan jaring kontrol tersebut diharapkan dapat melihat pengaruh keberadaan sesar di bawah Waduk Sermo terhadap keamanan Waduk Sermo dengan pengukuran GPS/GNSS secara terus menerus.

METODE

Penelitian dilaksanakan dengan beberapa tahapan, yaitu: 1) pengembangan kerangka kontrol, 2) Pengukuran kerangka kontrol, 3) pengolahan data.

Pengembangan jaring kontrol

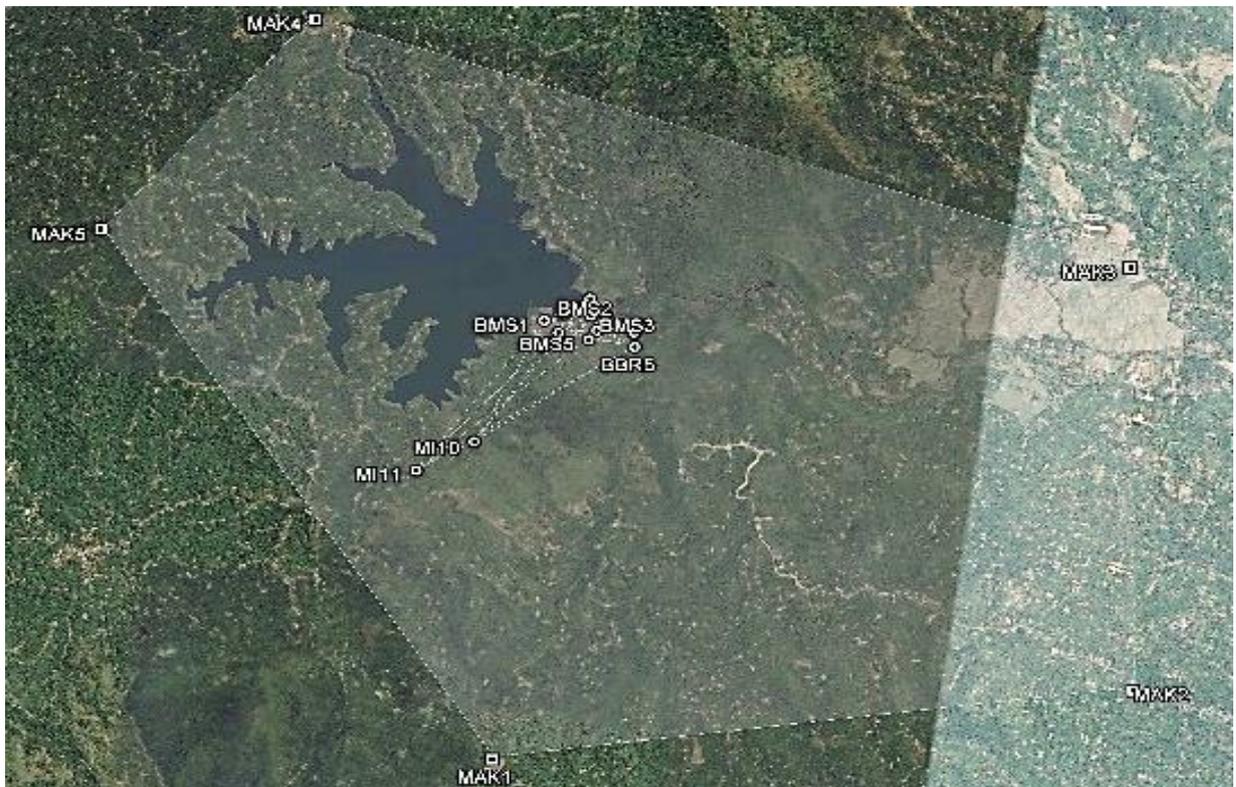
Jaring kontrol yang telah ada sebelumnya, yang selanjutnya disebut titik kontrol mikro, merupakan titik kontrol di sekitar area bendungan, seperti terlihat pada **Gambar 2**. Jaring kontrol pemantauan Waduk Sermo mikro pada beberapa penelitian sebelumnya diukur secara radial dengan menggunakan alat *Total Station*, sehingga dibutuhkan saling terlihat antara titik-titik kontrolnya. Sedangkan dalam penelitian ini, digunakan metode pengamatan GPS/GNSS.

Jaring kontrol baru yang merupakan jaring kontrol pengembangan terletak di luar wilayah Waduk Sermo, dan diberi nama titik MAK1, MAK2, MAK3, MAK4, MAK5, MI10 dan MI11. Jaring MAK1 s.d. MAK5 merupakan jaring kontrol pengamatan makro yang letaknya di luar area Waduk Sermo. Sedangkan jaring MI10 dan MI11 merupakan jaring mikro pengembangan. Lokasi jaring kontrol baru dapat dilihat pada **Gambar 3**.

Jaring kontrol makro didesain untuk mengamati pergerakan sekitar Waduk Sermo sebagai akibat adanya Sesar Kulonprogo. Keberadaan Sesar Kulonprogo menjadi perhatian utama saat kegiatan pembangunan Bendungan Sermo di tahun 1994-1996 (Wibowo dan Gunawan, 2014). Jarak antar titik makro pemantau waduk sermo didesain berjarak antara 1 hingga 5 km, dimana tidak dibutuhkan saling terlihat antara titik makro yang satu dengan yang lain, hal ini disebabkan pengukuran titik dilakukan dengan metode GPS/GNSS. Jika pengukuran dilakukan dengan menggunakan metode *Total Station*, maka dibutuhkan saling terlihat antara titik makro yang satu dengan yang lain. Adapun tujuan pemasangan titik makro yang berjauhan dan berbentuk *polygon* adalah untuk dapat mencakup seluruh area sesar Kulonprogo seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 1**.



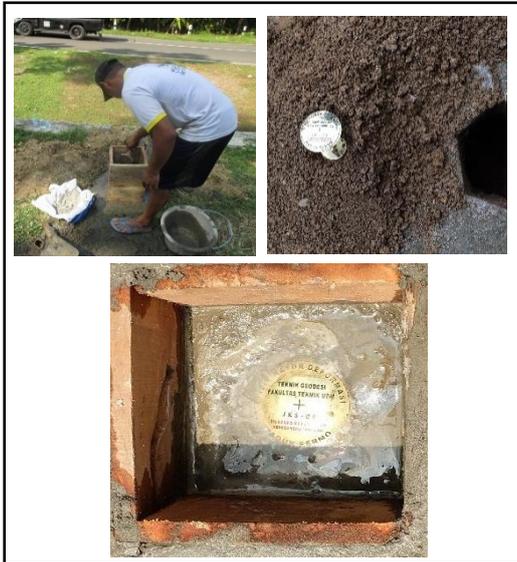
Gambar 2. Lokasi Titik Kontrol Lama. (Yulaikhah dan Parseno, 2015)



Sumber: Google Earth tahun 2015

Gambar 3. Lokasi Titik Kontrol Pengembangan/Baru.

Jaring kontrol pengembangan yang baru ditandai dengan pemasangan pilar/patok beton cor yang ditanam di kedalaman antara 50 s.d 100 cm untuk titik makro (MAK1 s.d. MAK5) dan 30 s.d. 50 cm untuk titik mikro (MI10 dan MI11). Proses pemasangan pilar/patok jaring kontrol pengembangan dapat dilihat pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Pemasangan Pilar Jaring Kontrol Pengembangan.

Pengukuran kerangka kontrol

Pengukuran kerangka kontrol dilakukan pada semua titik kontrol pemantauan Waduk Sermo, baik titik kontrol lama maupun titik kontrol baru. Pengukuran dilakukan dengan pengamatan GPS/GNSS metode relatif statik menggunakan alat GPS Geodetik *double* frekuensi dengan durasi pengukuran selama 8 s.d 10 jam dan *sampling rate* penyimpanan data setiap 15 detik. Pengamatan GPS/GNSS dengan relatif statik dipilih untuk penelitian ini karena dapat menghasilkan data koordinat yang akurat dan memiliki ketelitian tinggi (Abidin, 2007). Metode penentuan posisi secara relatif (diferensial) adalah penentuan posisi suatu titik ditentukan relatif terhadap titik lainnya yang telah diketahui koordinatnya (stasiun referensi). Metode ini membutuhkan minimal 1 (satu) buah *receiver* sebagai base/stasiun referensi yang sudah diketahui nilai koordinatnya dan 1 (satu) buah *receiver* sebagai *rover* pada titik yang ingin dicari nilai koordinatnya. Pengukuran titik kontrol dengan GPS/GNSS membutuhkan jangka waktu pengukuran tertentu. Jangka waktu pengukuran yang semakin lama akan mendapatkan hasil koordinat yang lebih baik. Pengamatan GPS dengan spesifikasi pengukuran seperti tersebut di atas sudah memenuhi Standard Nasional Indonesia (SNI) Jaring Kontrol Horizontal orde 1 (BSN, 2002), seperti disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Spesifikasi Teknis Strategi Pengamatan GPS/GNSS. (BSN, 2002)

	Orde jaringan					
	00	0	1	2	3	4 (GPS)
Metode pengamatan	GPS kontinu	survei GPS	survei GPS	survei GPS	survei GPS	survei GPS
Lama pengamatan per sesi (minimum)	kontinu	24 jam	6 jam	2 jam	1 jam	0,25 jam
Data pengamatan utama untuk penentuan posisi	fase dua frekuensi	fase dua frekuensi	fase dua frekuensi	fase dua frekuensi	fase satu frekuensi	fase satu frekuensi
Mode pengamatan	jaring tetap	jaring	jaring	jaring	jaring	radial
- setidaknya 3 kali (% dari jumlah titik)	100%	50%	40%	20%	10%	-
- setidaknya 2 kali (% dari jumlah titik)	100%	100%	100%	100%	100%	-
Interval data pengamatan (detik)	30	30	30	15	15	15
Jumlah satelit minimum	tidak ada			4 satelit		
Nilai PDOP yang diperlukan	tidak ada			lebih kecil dari 10		
Elevasi satelit minimum				15°		
Pengamatan data meteorologi	ya	ya	ya	tidak	tidak	tidak

Pengolahan data

Keluaran dari proses pengukuran yaitu data pengamatan GPS/GNSS dengan format RINEX (*Receiver Independent Exchange format*). Selanjutnya data RINEX tersebut bersama-sama dengan data yang lain, yaitu: data *broadcast ephemeris*, data *precise ephemeris* dan data orbit diolah secara bersamaan dengan menggunakan perangkat lunak *scientific* GAMIT/GLOBK secara *automatic batch processing* untuk menghasilkan koordinat dan simpangan baku titik kontrol pengamatan mikro dan makro. Perangkat lunak GAMIT dan GLOBK merupakan perangkat lunak pengolahan data GPS/GNSS yang dikembangkan oleh MIT dan dapat berfungsi pada semua jenis sistem operasi komputer. Namun dalam penelitian ini, perangkat lunak GAMIT/GLOBK dijalankan dengan sistem operasi Linux Ubuntu 12.04 64 bit (Herring *et al.*, 2009).

Pengolahan data GPS/GNSS dilakukan dalam dua skenario pengolahan, yaitu:

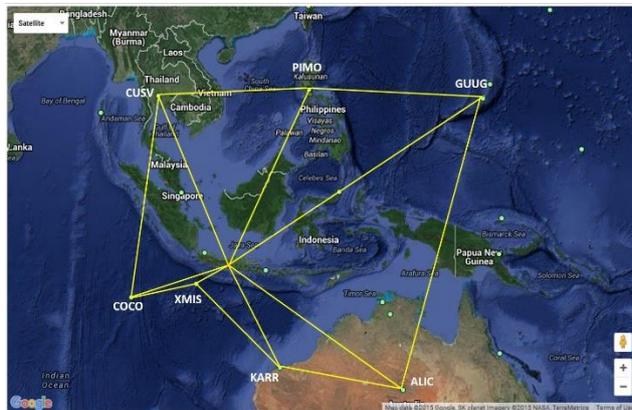
- a) Titik mikro dan makro diolah bersama-sama dengan tujuh titik referensi *International GNSS Service* (IGS). Skenario ini dilakukan dengan mengumpulkan data RINEX pada pengamatan GPS/GNSS di titik mikro dan

makro kemudian diolah bersama-sama dengan tujuh titik referensi IGS secara *automatic batch processing* sehingga dihasilkan koordinat pada masing-masing titik mikro dan makro.

- b) Titik makro diolah dengan tujuh titik referensi IGS dan titik mikro diolah dengan menggunakan referensi titik makro.

Dalam skenario ini, titik makro (MAK1 s.d MAK5) diolah terlebih dahulu dengan tujuh titik referensi IGS. Selanjutnya titik makro menjadi titik referensi dalam pengolahan titik mikro.

Titik referensi IGS yang digunakan dalam penelitian ini antara lain CUSV (China), PIMO (Filipina), GUUG (Guam), ALIC (Australia), KARR (Australia), XMIS (Pulau Natal, Australia), COCO (Pulau Coco, Australia). Lokasi tujuh titik referensi IGS dapat dilihat pada **Gambar 5**.



Sumber: <http://igs.org/network>

Gambar 5. Lokasi Stasiun IGS

Pemilihan tujuh titik referensi IGS didasarkan pada hasil penelitian oleh Leonard (2009) yang menyebutkan bahwa terjadi kenaikan ketelitian yang signifikan dalam penambahan titik referensi sampai dengan tujuh stasiun, namun kenaikan ketelitian tidak signifikan lagi ketika titik referensi IGS berjumlah lebih dari tujuh titik ikat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil yang didapat dari penelitian ini telah terbangunnya pilar/patok titik kontrol pengembangan untuk pemantauan Waduk Sermo, khususnya titik makro dan dua titik mikro tambahan. Selain itu adalah dihasilkan koordinat dan simpangan baku titik makro dan mikro jaring kontrol pemantauan Waduk Sermo dari pengamatan GPS/GNSS pada *epoch* pertama tahun pengamatan 2015.

Sebagaimana disebutkan di atas, terdapat dua strategi dalam pengolahan data GPS/GNSS. Hasil pengolahan dari kedua strategi tersebut sebagai berikut:

- a) Strategi 1, titik mikro dan makro diolah bersama-sama dengan tujuh titik referensi *International GNSS Service* (IGS).

Hasil pengolahan strategi 1 dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Hasil Pengolahan Data GPS/GNSS dengan Skenario 1.

Nama Titik	Koordinat (m)		
	X	Y	Z
MAK1	-2173894,941	5933154,645	-865359,066
S.Baku (m)	0,009	0,021	0,006
MAK2	-2177261,465	5932017,338	-864474,083
S.Baku (m)	0,008	0,018	0,004
MAK3	-2177051,162	5932473,475	-861869,867
S.Baku (m)	0,008	0,018	0,005
MAK4	-2172643,062	5934345,885	-860932,134
S.Baku (m)	0,011	0,026	0,008
MAK5	-2171606,493	5934545,236	-862382,545
S.Baku (m)	0,007	0,018	0,005
BBR1	-2174072,428	5933543,903	-862689,636
S.Baku (m)	0,008	0,017	0,004
BBR2	-2174225,643	5933530,903	-862459,520
S.Baku (m)	0,008	0,018	0,005
BBR5	-2174472,533	5933359,097	-862718,597
S.Baku (m)	0,013	0,037	0,009
BMS1	-2173994,724	5933592,581	-862625,358
S.Baku (m)	0,013	0,028	0,007
BMS2	-2174237,079	5933501,593	-862561,610
S.Baku (m)	0,006	0,013	0,004
BMS3	-2174463,168	5933376,987	-862632,412
S.Baku (m)	0,015	0,043	0,010
BMS5	-2174219,509	5933435,112	-862704,188
S.Baku (m)	0,025	0,085	0,013
BMS6	-2174259,724	5933434,459	-862644,413
S.Baku (m)	0,010	0,024	0,007
MI10	-2173706,43	5933670,465	-863434,639
S.Baku (m)	0,082	0,113	0,022
MI11	-2173410,532	5933743,878	-863652,084
S.Baku (m)	0,020	0,055	0,010

Dari **Tabel 2** di atas, untuk titik makro, simpangan baku terkecil yaitu 0,004 m pada sumbu Z di titik MAK2 dan terbesar 0,026 m pada sumbu Y di titik MAK4. Sedangkan pada titik mikro, simpangan baku terkecil sebesar 0,004 m pada sumbu Z di titik BBR1 dan BMS2. Nilai simpangan baku terbesar 0,113 m pada sumbu Y di titik MI10.

- b) Strategi 2, titik makro diolah dengan tujuh titik referensi IGS dan titik mikro diolah dengan menggunakan referensi titik makro.

Hasil pengolahan GPS/GNSS strategi 2 dapat dilihat pada **Tabel 3**. Dari **Tabel 3** tersebut, untuk titik makro, simpangan baku terkecil yaitu 0,001 m pada sumbu X di titik MAK1 dan terbesar 0,021 pada sumbu Y di titik MAK3. Sedangkan pada titik mikro, simpangan baku terkecil sebesar 0,005 m pada sumbu Z di titik BMS2. Nilai simpangan baku terbesar 0,129 m pada sumbu Y di titik MI10.

Hasil pengolahan data GPS/GNSS yang disajikan pada **Tabel 2** dan **Tabel 3** merupakan nilai koordinat setiap titik, baik makro ataupun mikro dalam sistem koordinat kartesian 3D geosentris. Sistem koordinat kartesian 3D memiliki

aturan yaitu: titik pusat sistem koordinat kartesian terletak pada pusat bumi; sumbu Z adalah garis dalam arah *Conventional Terrestrial Pole* (CTP); sumbu X adalah arah perpotongan meridian *Greenwich* atau meridian nol *Conventional Zero Meridian* (CZM) yang ditetapkan oleh *Bureau International de l'Heure* (BIH) dan bidang ekuator; sumbu Y adalah garis pada bidang ekuator yang tegak lurus pada sumbu X dan Z dengan mengikuti kaidah tangan kanan (Leick *et al.*, 2015).

Tabel 3. Hasil Pengolahan Data GPS/GNSS dengan Skenario 2.

Nama Titik	Koordinat (m)		
	X	Y	Z
MAK1	-2173895,007	5933154,781	-865359,057
S.Baku (m)	0,001	0,010	0,002
MAK2	-2177261,535	5932017,492	-864474,078
S.Baku (m)	0,009	0,020	0,005
MAK3	-2177051,228	5932473,617	-861869,859
S.Baku (m)	0,009	0,021	0,006
MAK4	-2172643,127	5934346,034	-860932,128
S.Baku (m)	0,003	0,020	0,004
MAK5	-2171606,561	5934545,39	-862382,540
S.Baku (m)	0,003	0,020	0,002
BBR1	-2174072,495	5933544,05	-862689,635
S.Baku (m)	0,010	0,022	0,006
BBR2	-2174225,706	5933531,055	-862459,510
S.Baku (m)	0,011	0,026	0,007
BBR5	-2174472,606	5933359,255	-862718,599
S.Baku (m)	0,022	0,061	0,014
BMS1	-2173994,789	5933592,734	-862625,348
S.Baku (m)	0,014	0,030	0,008
BMS2	-2174237,146	5933501,74	-862561,609
S.Baku (m)	0,008	0,018	0,005
BMS3	-2174463,232	5933377,134	-862632,401
S.Baku (m)	0,018	0,051	0,011
BMS5	-2174219,587	5933435,231	-862704,184
S.Baku (m)	0,029	0,079	0,015
BMS6	-2174259,792	5933434,606	-862644,412
S.Baku (m)	0,011	0,026	0,007
MI10	-2173706,521	5933670,639	-863434,636
S.Baku (m)	0,084	0,129	0,026
MI11	-2173410,601	5933744,042	-863652,074
S.Baku (m)	0,020	0,057	0,011

Pada hasil penelitian ini sumbu Y mewakili komponen ketinggian hal ini disebabkan lokasi penelitian yang berada pada koordinat 7° LS dan 110° BT, dimana sistem koordinat kartesian 3 dimensi berpusat di bumi yang memiliki sumbu Y *spheroid* pada koordinat 90° BT dan 0° LU/LS. Selisih koordinat bujur lokasi penelitian dengan pusat sumbu sebesar 20° yang nilai cosinusnya sebesar 0,93 (mendekati 1), sedangkan selisih pada komponen lintangnya sebesar 4° yang nilai

cosinus nya jauh lebih kecil dibandingkan nilai bujurnya (Lestari, 2006).

Dari hasil koordinat pengolahan GPS/GNSS pada **Tabel 2** dan **Tabel 3** dapat dianalisis sebagai berikut:

- 1) Nilai koordinat titik makro dan mikro yang diolah sesuai skenario 1 memiliki simpangan baku yang relatif lebih baik dibandingkan dengan hasil yang diperoleh dari skenario 2, kecuali pada titik makro yang diolah dengan skenario 2, dimana simpangan bakunya lebih baik daripada hasil pengolahan skenario 1. Hal itu disebabkan karena pada skenario 2, titik makro diolah secara independen dengan tujuh titik referensi IGS, sedangkan pada skenario 1 titik makro dependen terhadap titik mikro.
- 2) Secara umum nilai simpangan baku pada sumbu Y memiliki nilai yang lebih besar daripada sumbu yang lainnya. Hal itu disebabkan karena geometri satelit yang tidak memungkinkan pengamatan di bawah horison, sehingga kekuatan ikatan jaring untuk komponen vertikal lebih lemah dibandingkan komponen horizontal.

KESIMPULAN

Penelitian ini telah menghasilkan tujuh titik kontrol pengembangan pemantauan Waduk Sermo, yang terdiri dari lima titik makro baru yang terletak di luar area waduk dan 2 titik mikro baru di area Waduk Sermo, yang selanjutnya tujuh titik kontrol baru (5 makro dan 2 mikro) beserta delapan titik mikro lama diukur menggunakan metode pengamatan GPS/GNSS relatif statik. Hasil dari pengamatan GPS/GNSS di titik mikro (lama dan baru) dan di titik makro adalah koordinat titik kontrol pengembangan pemantauan Waduk Sermo pada *epoch* pertama tahun 2015.

Nilai koordinat tersebut akan lebih berarti jika di kemudian hari pada tahun-tahun mendatang juga dilakukan pengamatan GPS/GNSS secara terus menerus. Hal ini dapat bermanfaat untuk memantau pergerakan bendungan secara khusus, apakah pergerakan bendungan masih dalam kategori wajar atau sudah membahayakan. Selain itu, secara umum dengan pengamatan GPS/GNSS terus-menerus dapat memantau aktivitas sesar yang berada di bawah Waduk Sermo. Dengan adanya pemantauan Waduk Sermo ini diharapkan dapat membantu mitigasi bencana apabila terjadi bencana longsor dan pergerakan sesar secara tiba-tiba.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam

penelitian ini, antara lain kepada LPPM UGM, Sekolah Vokasi UGM, Jurusan Teknik Geodesi FT-UGM, BBWS Serayu-Opak dan pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H.Z. (2007), *Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya*, Edisi III, PT. Pradnya Paramitha, Jakarta.
- Apriyanti, D., dan Yulaikhah, (2014), *Analisis Pergeseran Horisontal Waduk Sermo Tahun 2012-2013 Berdasarkan Hasil Hitung Perataan Parameter Berbobot*, Conference on Geospatial Information Science and Engineering, Yogyakarta.
- Badan Standardisasi Nasional, (2002), *Standard Nasional Indonesia Jaring Kontrol Horizontal SNI 19-6724-2002*, BSN Indonesia.
- Herring, T.A., King, R.W, McClusky, S.C., (2009), *GAMIT GPS Analysis at MIT*, Department of Earth, Atmospheric, Science, Massachusetts Institute of Technology.
- Leick, A., Rapoport, L., Tatarnikov, D., (2015), *GPS Satellite Surveying*, John Wiley & Sons.
- Leonard, Y, R., (2009), *Pengaruh Jumlah Titik Ikat pada Proses Perataan Jaring Terhadap Ketelitian Koordinat Titik dalam Jaring GPS Setingkat Orde 0*, Skripsi, Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Lestari, D., (2006), *GPS Study for Resolving the Stability of Borobudur Temple Site*, Thesis in School of Surveying and Spatial Information Systems (Formerly the School of Geomatic Engineering), The University of New South Wales (UNSW), Australia.
- Mulyaningsih, (2006), *Perkembangan Geologi pada Kuartar Awal sampai Masa Sejarah di Dataran Yogyakarta*, Jurnal Geologi Indonesia vol.1 No.2.
- Rahardjo, W., Sukandarrumidi, Rosadi, H.M.D., (1977), *Peta Geologi Lembar Yogyakarta*, Direktorat Geologi, Departemen Pertambangan Republik Indonesia, bekerjasama dengan *U.S. Geological Survey*.
- Wibowo, N.B., dan Gunawan, A., (2014), *Analisis Spasial Respon Bendungan terhadap Model Peak Ground Acceleration (PGA) Berdasarkan Karakteristik Mikrotremor*, Geologi Regional dan Amatan Instrumentasi pada Bendungan Sermo Kulonprogo, Indonesian Journal of Applied Physics (2014) Vol.4 No.2 hlm 115.
- Sunantyo, T.A., Suryolelono, K. B., Djawahir, F., Swastono, A., Adhi, A.D., Susilo, A., (2012), *Design and installation for Dam Monitoring Using Multi sensors: A Case Study at Sermo Dam, Yogyakarta Province, Indonesia*, FIG Working Week 2012, Rome, Italy, 6-10 May 2012
- Yulaikhah dan Andaru, R., (2015), *Kajian Terhadap Ketelitian Koordinat Jaring Kontrol Menggunakan Titik Ikat dengan Berbagai Variasi Tinggi*, The 5th Annual Engineering Seminar 2015, Fakultas Teknik UGM, Yogyakarta
- Yulaikhah dan Parseno, (2012), *Analisis Pergeseran Kerangka Kontrol di Sekitar Waduk Sermo, Kulonprogo*, Laporan Penelitian, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada
- , (2015), *IGS Station Network*, dari web <http://igs.org/network> Akses tanggal 22 Oktober 2015.
- , (2015), *Waduk Sermo*, dari web https://id.wikipedia.org/wiki/Waduk_Sermo akses tanggal 22 Oktober 2015.
- , (2015), *Latest Earthquake*, dari web <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/map/> Akses tanggal 22 Oktober 2015.
- , (2015), *Peta Citra Sermo*, dari aplikasi Google Earth akses tanggal 22 Oktober 2015.

Halaman ini sengaja dikosongkan