

PENGOLAHAN DATA GPS MENGGUNAKAN SOFTWARE GAMIT 10.6 DAN TOPCON TOOLS V.8 PADA PENGUKURAN DEFORMASI BENDUNGAN JATIBARANG TAHUN 2015

Yogi Wahyu Aji, Bambang Sudarsono, Fauzi Janu Amarrohman ^{*)}

Program Studi Teknik Geodesi Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof Sudarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50215
email : geodesi@undip.ac.id

ABSTRAK

Bendungan adalah suatu tembok penahan air yang dibentuk dari berbagai batuan dan tanah. Bendungan juga merupakan salah satu sarana multifungsi yang memiliki peranan penting bagi kehidupan manusia. Suatu bangunan jika mendapat tekanan akan mengalami perubahan dimensi atau bentuk. Akibat gaya tekanan ini maka tubuh bendungan kemungkinan akan dapat mengalami deformasi. Maka diperlukan suatu bentuk pemeliharaan dan perawatan yang memadai guna menghindari kerusakan pada bendungan tersebut. Bentuk pemeliharaan dan perawatan tersebut salah satunya adalah dengan melakukan pemantauan deformasi pada tubuh bendungan. Pemantauan deformasi pada tubuh bendungan harus dilakukan secara berkala dan terus menerus.

Penelitian ini adalah tentang pengolahan data GPS menggunakan software GAMIT 10.6 dan Topcon Tools V.8 pada pengukuran deformasi bendungan Jatibarang tahun 2015. Metode penelitian yang digunakan adalah menggunakan GPS dual frequency pada enam titik pengamatan bendung utama Bendungan Jatibarang. Pengolahan data pengamatan GPS menggunakan perangkat lunak GAMIT 10.6 dan Topcon Tools V.8. Pengamatan dilakukan selama tiga periode yaitu : Maret, April dan Mei 2015. Maksud dari penelitian ini adalah untuk mengetahui hasil pengolahan data menggunakan perangkat lunak GAMIT 10.6 dan Topcon Tools V.8, serta untuk mengetahui ada tidaknya pergeseran yang signifikan pada tubuh Bendungan Jatibarang.

Setelah dilakukan pengolahan data menggunakan *scientific software* GAMIT 10.6 didapatkan nilai perubahan koordinat dengan rata-rata nilai perubahan koordinat toposentrik 3 dimensi pada sumbu X = $1,369 \pm 9,729$ mm, sumbu Y = $5,642 \pm 5,926$ mm, dan sumbu Z = $6,417 \pm 4,418$ mm. Sedangkan pada Topcon Tools V.8 didapatkan nilai perubahan koordinat dengan rata-rata nilai perubahan koordinat toposentrik 3 dimensi pada sumbu X = $0,168 \pm 0,467$ m, sumbu Y = $0,253 \pm 1,547$ m, dan sumbu Z = $0,261 \pm 1,108$ m. Dalam penelitian ini hasil pengolahan data menggunakan *scientific software* GAMIT 10.6 yang dianggap benar sehingga disimpulkan bahwa tiap titik pengamatan mengalami deformasi secara numeris. Namun setelah dilakukan uji statistik dengan selang kepercayaan 95% dinyatakan bahwa keenam titik monitoring bendungan tidak memiliki pergeseran yang signifikan. Berdasarkan hasil uji statistik, dapat disimpulkan bahwa tiap titik pengamatan tidak mengalami deformasi.

Kata Kunci : deformasi, GPS, GAMIT, Topcon Tools

ABSTRACT

Dam is a water-retaining wall formed from a variety of rock and soil. Dams also amultifunctional tool which has an important role in human life. A building if get the pressure will change the dimension or shape. As a result of this pressure, the body of dam may be deformed. It would require some form of maintenance and adequate care to avoid damage to the dam. Forms of maintenance and care of one of them is by monitoring the deformation in the dam body. Dam deformation monitoring should be done regularly and continuously.

This research is about GPS data processing using GAMIT 10.6 and Topcon Tools V.8 software for Jatibarang dam deformation measurement on 2015. the research method is using GPS dual-frequency at six points of monitoring which located on main dam. Data processing of GPS observation using GAMIT 10.6 and Topcon Tools V.8. observation takes three period : March, April, and May 2015. The purpose of this research was to determine the result of data processing using GAMIT 10.6 and Topcon Tools V.8 and also to determine whether there is a significant shift in the main dam of Jatibarang Dam.

After data processing using GAMIT 10.6, earned value change of coordinates with the average value of three-dimensional toposentric coordinate changes on the X axis = 1.369 ± 9.729 mm, Y axis = 5.642 ± 5.926 mm and Z axis = 6.417 ± 4.418 mm. While on Topcon Tools V.8, earned value change of coordinates with the average value of three-dimensional toposentric coordinate changes on the X axis = $0,168 \pm 0,467$ m, Y axis = $0,253 \pm 1,547$ m, and Z axis = $0,261 \pm 1,108$ m. In this research, the results of data processing using scientific software 10.6 is considered correct one. Thus concluded that each point of observation deformed numerically. However, after a statistical test with confidence interval 95% stated that the six monitoring stations, dams do not have a significant shift. Based on the results of statistical tests, it can be concluded that each point of observation is not deformed.

Keyword : deformation, GPS, GAMIT, Topcon Tools

^{*)} Penulis Penanggung Jawab

I. Pendahuluan

I.1 Latar Belakang

Bendungan adalah suatu tembok penahan air yang dibentuk dari berbagai batuan dan tanah. Bendungan juga merupakan salah satu sarana multifungsi yang memiliki peranan penting bagi kehidupan manusia. Bendungan memiliki beberapa manfaat penting antara lain irigasi, penyediaan air baku, sebagai PLTA, pengendali banjir, perikanan, pariwisata dan olahraga air.

Suatu bangunan jika mendapat tekanan akan mengalami perubahan dimensi atau bentuk. Seperti halnya bendungan-bendungan lain buatan manusia, Bendungan Jatibarang pun rawan dari deformasi yang disebabkan oleh berbagai muatan-muatan dan gaya-gaya diantaranya berat bendungan, tekanan pori, tekanan hidrostatik, dan faktor pengaruh lainnya.

Pemantauan secara berkala, dengan metode observasi berulang serta pencatatan mengenai perilaku bendungan dapat dilakukan dengan bantuan instrumentasi atau peralatan lain. Data hasil pemantauan tersebut dapat menggambarkan perilaku suatu bendungan, sehingga gejala-gejala yang akan terjadi dapat diketahui secara dini.

I.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana hasil pengolahan data GPS yang diolah dengan menggunakan *Scientific Software* GAMIT 10.6 untuk monitoring deformasi di Bendungan Jatibarang?
2. Bagaimana hasil pengolahan data GPS yang diolah dengan menggunakan *Software* Topcon Tools V.8 untuk monitoring deformasi di Bendungan Jatibarang?
3. Apakah terjadi pergeseran yang signifikan pada tubuh Bendungan Jatibarang?

I.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

Adapun maksud dan tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui hasil pengolahan data GPS yang diolah dengan menggunakan *Scientific Software* GAMIT 10.6 pada monitoring deformasi.
2. Mengetahui hasil pengolahan data GPS yang diolah dengan menggunakan

Software Topcon Tools V.8 pada monitoring deformasi.

3. Mengetahui ada tidaknya pergeseran yang signifikan pada tubuh Bendungan Jatibarang.

I.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengumpulan data enam titik kontrol Bendungan Jatibarang dengan melakukan pengukuran GPS *Dual Frequency* secara statik.
2. Pengolahan data pengamatan GPS menggunakan *scientific software* GAMIT dan *software* Topcon Tools V.8 sehingga dihasilkan koordinat titik pengamatan.
3. Menggunakan titik ikat global berjumlah 4 stasiun (BAKO, COCO, TOW2, PIMO) yang kemudian dikombinasikan sesuai keperluan.
4. Penelitian berfokus pada deformasi pada bendung utama (*main dam*) Bendungan Jatibarang yang terjadi pada bulan Maret sampai dengan bulan Mei 2015.

I.5 Ruang Lingkup Penelitian

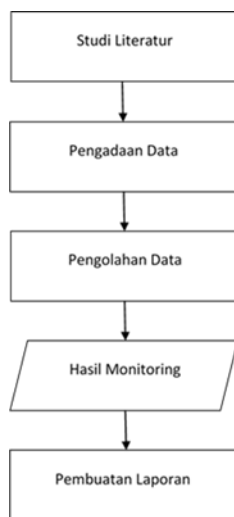
Adapun ruang lingkup dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Daerah penelitian Tugas Akhir adalah Bendungan Jatibarang di Kota Semarang, Jawa Tengah (Kec. Gunung Pati dan Kec. Mijen), (Kel. Kandri, Kel. Jatibarang, Kel. Jatirejo, Kel. Kedungpare) yang terletak pada koordinat $7^{\circ}02'09.7''$ LS dan $110^{\circ}21'02.6''$ BT.
2. Data pengamatan yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah data pengamatan GPS yang dilakukan di Bendungan Jatibarang pada bulan Maret, April dan Mei 2015.
3. Pengamatan GPS dilakukan pada enam titik Bench Mark yang sudah terpasang di tubuh Bendungan Jatibarang. Enam titik itu adalah M7, M8, M9, M10, M11 dan M12.

I.6 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian pada penulisan

Tugas Akhir ini dapat dilihat pada dilihat pada Gambar I.1 berikut:



Gambar 1.1. Diagram alir metodologi penelitian

II. Tinjauan Pustaka

II.1 Kajian Penelitian Terdahulu

Beberapa kajian yang menjelaskan tentang pengukuran GPS untuk pengamatan suatu konstruksi atau suatu daerah yang akan dijelaskan singkat berikut ini :

1. Penelitian Andika Rizal Bahlevi yang dilakukan pada tahun 2013 mengenai pengamatan deformasi gunung api yang menggunakan metode pengukuran GPS.
2. Penelitian Ayu Nur Safi'i tahun 2014 yang menganalisa ketelitian titik kontrol horizontal pada pengukuran deformasi jembatan Penggaron menggunakan *scientific software* GAMIT 10.5.
3. Penelitian Ali Amirrudin Ahmad tahun 2014 mengenai pengamatan deformasi Bendungan Jatibarang.
4. Penelitian Muhammad Adnan Yusuf tahun 2015 mengenai pengamatan deformasi bendungan UNDIP.

II.2 Bendungan

Bendungan atau dam adalah konstruksi yang dibangun untuk menahan laju air menjadi waduk, danau, atau tempat rekreasi. Seringkali bendungan juga digunakan untuk mengalirkan air ke sebuah Pembangkit Listrik Tenaga Air. Kebanyakan dam juga memiliki bagian yang disebut pintu air untuk membuang air yang tidak diinginkan secara bertahap atau berkelanjutan.

Bendungan memiliki beberapa manfaat penting antara lain irigasi, penyediaan air baku, sebagai PLTA, pengendali banjir, perikanan, pariwisata dan olahraga air.

Bendungan merupakan bangunan air yang dibangun secara melintang sungai, sedemikian rupa agar permukaan air sungai di sekitarnya naik sampai ketinggian tertentu, sehingga air sungai tadi dapat dialirkan melalui pintu sadap ke saluran-saluran pembagi kemudian hingga ke lahan-lahan pertanian (Kartasapoetra, 1991:37).

II.3 Deformasi

Deformasi adalah perubahan bentuk, posisi, dan dimensi dari suatu benda (Kuang,1996 dalam Andriyani, 2012). Berdasarkan definisi tersebut deformasi dapat diartikan sebagai perubahan kedudukan atau pergerakan suatu titik pada suatu benda secara absolut maupun relatif. Dikatakan titik bergerak absolut apabila dikaji dari perilaku gerakan titik itu sendiri dan dikatakan relatif apabila gerakan itu dikaji dari titik yang lain. Perubahan kedudukan atau pergerakan suatu titik pada umumnya mengacu kepada suatu sitem kerangka referensi (absolut atau relatif).

Untuk mengetahui terjadinya deformasi pada suatu tempat diperlukan suatu survei, yaitu survei deformasi dan geodinamika. Survei deformasi dan geodinamika sendiri adalah survei geodetik yang dilakukan untuk mempelajari fenomena-fenomena deformasi dan geodinamika. Fenomena-fenomena tersebut terbagi atas dua, yaitu fenomena alam seperti pergerakan lempeng tektonik, aktivitas gunung api, dan lain-lain. Fenomena yang lain adalah fenomena manusia seperti bangunan, jembatan, bendungan, permukaan tanah, dan sebagainya.

II.4 Global Positioning System (GPS)

GPS (*Global Positioning System*) adalah sistem satelit navigasi dan penentuan posisi menggunakan satelit. Nama formalnya adalah NAVSTAR GPS (*NAVigation Satellite Timing and Ranging Global Position System*). Sistem yang dapat digunakan oleh banyak orang sekaligus dalam segala cuaca ini didesain untuk memberikan posisi dan kecepatan tiga dimensi

yang teliti, dan juga informasi mengenai waktu, secara kontinyu di seluruh dunia (Abidin, 2007). Di Indonesia sendiri penggunaan GPS sudah dimulai sejak beberapa tahun yang lalu dan terus berkembang sampai saat ini baik dalam volume maupun jenis aplikasinya. Salah satu aplikasinya adalah untuk *monitoring* deformasi bendungan.

Pada dasarnya GPS terdiri atas tiga segmen utama, yaitu segmen angkasa (*space segment*) yang terutama terdiri dari satelit-satelit GPS, segmen sistem kontrol (*control system segment*) yang terdiri dari stasiun-stasiun pemonitor dan pengontrol satelit, dan segmen pemakai (*user segment*) yang terdiri dari pemakai GPS termasuk alat-alat penerima dan pengolah sinyal dan data GPS (Abidin, 2007).

III. Metodologi Penelitian

III.1 Daerah Penelitian

Daerah penelitian Tugas Akhir adalah Bendungan Jatibarang di Kota Semarang, Jawa Tengah (Kec. Gunung Pati dan Kec. Mijen), (Kel. Kandri, Kel. Jatibarang, Kel. Jatirejo, Kel. Kedungpare) yang terletak pada koordinat 7°02'09.7" LS dan 110°21'02.6" BT.

III.2 Data Pengamatan

Pengamatan GPS dalam satu sesi dilakukan selama 5 jam untuk setiap titik yang diikatkan ke Stasiun IGS Badan Informasi Geospasial (BIG), Coco Island (COCO), Townsville (TOW2) dan Pimo Island (PIMO). Data survei GPS dilaksanakan tiga kali, yaitu masing-masing pada tanggal 16-17 Maret 2015, 28-30 April 2015, dan 27-30 Mei 2015.

III.3 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari perangkat keras dan perangkat lunak.

Perangkat Keras yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Laptop dengan spesifikasi Processor Intel(R) Core(TM) i5-4210U CPU @ 1.70GHz (4 CPUs), ~2,4GHz, RAM 4GB,
- b. GPS Topcon Hiper GB,
- c. GPS Topcon Hiper II,

- d. GPS Topcon Hiper SR.

Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Sistem Operasi Ubuntu 12.04,
- b. Perangkat lunak GAMIT 10.6,
- c. Perangkat lunak Topcon Tools V.8,
- d. TEQC.

III.4 Pengumpulan Data

Data yang digunakan pada penelitian ini dikelompokkan menjadi dua bagian, yaitu:

1. Data pengamatan

Data Pengamatan GPS dalam satu kali pengukuran diperoleh dengan pengambilan data langsung di lokasi titik-titik pengamatan di Bendungan Jatibarang. Titik yang digunakan adalah titik M7, M8, M9, M10, M11, dan M12 yang terpasang di lokasi Bendungan Jatibarang.

2. Data Pendukung

Data pendukung adalah data-data sekunder yang dilakukan saat pengolahan data. *Software* GAMIT menyediakan fasilitas dimana *user* secara otomatis dapat melakukan *download* data sekunder yang dibutuhkan apabila tersambung dengan internet. Adapun jika melakukan *download* secara *manual* adalah sebagai berikut:

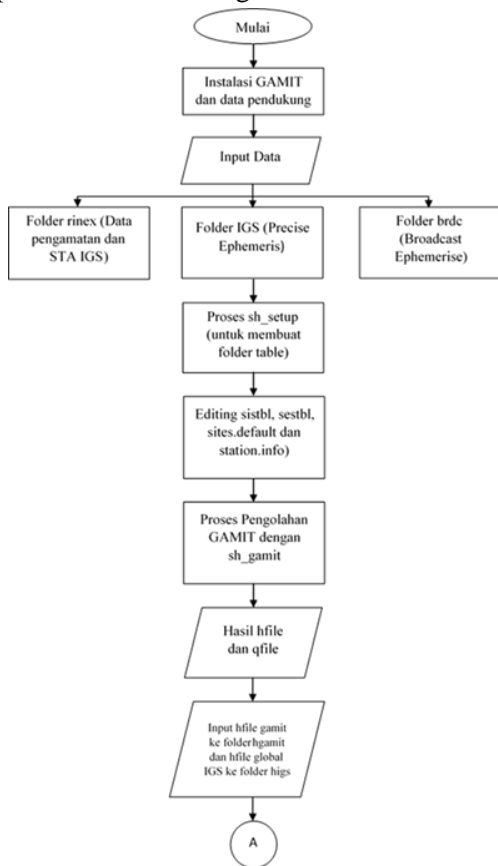
- a. *File* IGS ephemeris final orbit. *File* ini dalam bentuk *.sp3 dan dapat diunduh dari <http://garner.ucsd.edu/pub/products/>. *file* tersebut diletakkan ke dalam folder igs.
- b. *File* navigasi. *File* navigasi ini yang digunakan adalah yang bertipe brdcDDD0.YYn (DDD: DOY, YY: tahun) dan dapat diunduh dari <http://cddis.gsfc.nasa.gov/gnss/data/daily>. *File* tersebut diletakkan ke dalam folder brdc.
- c. Ada 3 *file* tambahan yaitu : *file* gelombang pasang surut (otl_FES2004.grd), *file* atmosfer

(atmdisp_YYYY), file pemodelan cuaca (vmflgrdYYYY), yang dapat diunduh dari <http://everest.mit.edu/pub/GRIDS>. File tersebut diletakkan ke dalam folder tables.

- d. H-file global diunduh pada <http://garner.ucsd.edu/pub/hfiles> dengan DOY yang sama dengan DOY pada saat pengamatan. Terdapat tujuh jenis untuk setiap DOY yaitu higs1a, higs2a, higs3a, higs4a, higs5a, higs6a, dan higs7a. File tersebut diletakkan ke dalam folder hfiles, file ini diperlukan saat pengolahan GLOBK.

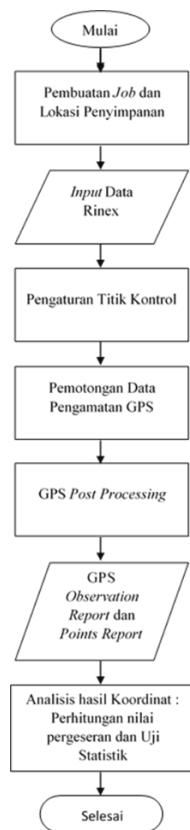
III.5 Tahapan Pengolahan Data

Tahapan proses pengolahan data menggunakan GAMIT 10.6 pada penelitian ini dapat dilihat dalam diagram alir berikut:



Gambar III.1. Diagram alir pengolahan data GPS menggunakan GAMIT 10.6

Tahapan proses pengolahan data menggunakan Topcon Tools V.8 pada penelitian ini dapat dilihat dalam diagram alir berikut:



Gambar III.2. Diagram alir pengolahan data GPS menggunakan Topcon Tools.

III.6 Pengolahan Data

Proses pengolahan data adalah sebagai berikut:

a. Pengecekan data dengan TEQC

Sebelum melakukan pengolahan, terlebih dahulu dilakukan pengecekan kualitas data pengamatan dalam format RINEX. Pengecekan data dilakukan untuk mengetahui waktu mulai dan berakhirnya sebuah pengamatan, nilai *multipath* yang terjadi, interval perekaman, total satelit, dan informasi lainnya yang mana dapat menggunakan *software* TEQC.

b. Pengolahan data dengan GAMIT

GAMIT adalah sebuah paket perangkat lunak ilmiah yang digunakan untuk pengolahan data pengamatan GPS yang dikembangkan oleh MIT

(Massachusetts Institute of Technology) dan SIO (Scripps Institution of Oceanography) dan Harvard University dengan dukungan dari National Science Foundation untuk melakukan analisis pengamatan GPS yaitu estimasi koordinat stasiun, percepatan, fungsi post-seismik deformasi, *atmospheric delay*, orbit satelit dan parameter orientasi bumi. Pengolahan data pengamatan GPS dengan GAMIT dilaksanakan melalui 4 tahapan pengolahan, yaitu *makexp*, *makex*, *fixdrv* dan *batch processing*. Hasil akhir dari pengolahan data pengamatan GPS dengan GAMIT berupa *file Q*, *file H* dan *file L*. *File H* digunakan untuk proses selanjutnya yaitu pengolahan dengan perangkat lunak GLOBK. *File H* hasil pengolahan dengan GAMIT dan *file H global* hasil *download* dari internet (IGS *H-files*) selanjutnya diolah dengan GLOBK.

File yang digunakan pada pengolahan dengan GLOBK yaitu *file* koordinat pendekatan (*.apr), *earthquake file* (eq_file) dan *command block file* (com_file), *sort file* (srt_file), apriori rotasi bumi (in_pmu). Proses harian (*daily processing* dengan GLRED) dan terakhir dilakukan proses global (*global processing* dengan GLOBK). Proses pada GLOBK melakukan kombinasi lebih dari satu solusi, sekaligus melakukan pengikatan terhadap sebuah *frame* koordinat. Hasil yang didapat dari proses tersebut dapat berupa koordinat kartesian tiga dimensi, data panjang baseline, ketelitian data pengamatan dan titik ikat pengamatan.

c. Pengolahan Data dengan Topcon Tools V.8

Topcon Tools adalah perangkat lunak yang digunakan untuk mengolah data secara *post-processing*, analisa jaringan dan perataan yang dikeluarkan oleh salah satu perusahaan alat pengukuran Topcon. Pada penelitian ini modul yang digunakan pada perangkat lunak Topcon Tools adalah *PostProcessing*. Pada modul ini diperlukan data masukan berupa data pengukuran yang diperoleh dari penggunaan alat Topcon atau dapat menggunakan data RINEX (*Receiver Independent Exchange Format*).

IV. Hasil dan Pembahasan
IV.1 Pengecekan Kualitas Data Menggunakan TEQC.

Data pengamatan GPS memiliki kualitas baik atau tidaknya dilihat dari nilai MP1 dan MP2. Efek multipath diklasifikasikan baik apabila MP1 maupun MP2 memiliki nilai kurang dari 0,5 m (Muliawan, 2012). Hasil seluruh pengecekan data pengukuran Bendungan Jatibarang dapat dilihat pada Tabel IV.1, IV.2 dan IV.3 berikut:

Tabel IV.1 Hasil Uji Kualitas Data Periode Maret 2015

Titik (DOY)	Moving Average	
	MP 1 (meter)	MP 2 (meter)
M07 (075)	0.222532	0.207578
M08 (075)	0.314898	0.268434
M09 (075)	0.332865	0.315540
M10 (075)	0.396026	0.412374
M11 (075)	0.267437	0.265919
M12 (075)	0.280954	0.289267
Rata-rata	0.302452	0.293185

Pada Tabel IV.1 terlihat bahwa *moving average* MP1 memiliki nilai rata-rata sebesar 0,302452 m dan *moving average* MP2 memiliki nilai rata-rata sebesar 0,293185 m.

Tabel IV.2 Hasil Uji Kualitas Data Periode April 2015

Titik (DOY)	Moving Average	
	MP 1 (meter)	MP 2 (meter)
M07 (118)	0.333767	0.286009
M08 (119)	0.390832	0.352017
M09 (119)	0.331493	0.292228
M10 (118)	0.229309	0.234590
M11 (119)	0.324762	0.303631
M12 (119)	0.263690	0.250716
Rata-rata	0.312309	0.286532

Pada Tabel IV.2 terlihat bahwa *moving average* MP1 memiliki nilai rata-rata sebesar 0,312309 m dan *moving average* MP2 memiliki nilai rata-rata sebesar 0,286532 m.

Tabel IV.3 Hasil Uji Kualitas Data Periode Mei 2015

Titik (DOY)	Moving Average	
	MP 1 (meter)	MP 2 (meter)
M07 (147)	0.258243	0.233979
M08 (148)	0.410628	0.352186
M09 (148)	0.339146	0.364845
M10 (147)	0.295943	0.281062
M11 (148)	0.306508	0.287632
M12 (148)	0.266659	0.247204
Rata-rata	0.312855	0.294485

Pada Tabel IV.3 terlihat bahwa nilai *moving average* MP1 memiliki nilai rata-rata sebesar 0,312855 m dan *moving average* MP2 memiliki nilai rata-rata sebesar 0,294485 m.

Dari hasil pengecekan kualitas data pada semua periode pengukuran menunjukkan bahwa MP1 dan MP2 dari data pengamatan GPS memiliki nilai kurang dari 0,5 m, sehingga dapat digunakan untuk pengolahan selanjutnya.

IV.2 Hasil Pengolahan GAMIT dan GLOBK

Nilai koordinat masing-masing titik pada setiap periode pengukuran ditampilkan dalam Tabel IV.4, Tabel IV.5 dan Tabel IV.6 :

Tabel IV.4 Koordinat Kartesian Titik Bendungan Hasil GLOBK Periode Maret 2015

Nama Titik	Koordinat Kartesian (m)			Simpangan Baku (m)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
MD7	-2201526,292	5935476,088	-776094,836	0,00848	0,01516	0,00486
MD8	-2201564,394	5935460,204	-776112,589	0,00919	0,0176	0,00537
MD9	-2201602,187	5935443,475	-776130,487	0,01084	0,02126	0,00599
MD0	-2201530,045	5935475,791	-776086,517	0,00845	0,01512	0,00483
MD1	-2201568,161	5935459,845	-776104,472	0,00885	0,01651	0,00512
MD2	-2201605,869	5935443,141	-776122,303	0,01029	0,01973	0,00566

Tabel IV.5 Koordinat Kartesian Titik Bendungan Hasil GLOBK Periode April 2015

Nama Titik	Koordinat Kartesian (m)			Simpangan Baku (m)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
M07	-2201526,408	5935476,481	-776094,882	0,00794	0,01433	0,00425
M08	-2201564,41	5935460,264	-776112,597	0,00996	0,01954	0,00578
M09	-2201602,154	5935443,456	-776130,463	0,00852	0,01633	0,00484
M10	-2201529,838	5935475,313	-776086,454	0,00784	0,01402	0,00418
M11	-2201568,163	5935459,932	-776104,48	0,00948	0,01828	0,00548
M12	-2201605,827	5935443,127	-776122,31	0,00863	0,01663	0,00490

Tabel IV.6 Koordinat Kartesian Titik Bendungan Hasil GLOBK Periode Mei 2015

Nama Titik	Koordinat Kartesian (m)			Simpangan Baku (m)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
M07	-2201526,279	5935476,078	-776094,838	0,00832	0,01439	0,00466
M08	-2201564,399	5935460,273	-776112,588	0,01019	0,01978	0,00543
M09	-2201602,114	5935443,339	-776130,484	0,00860	0,01521	0,00442
M10	-2201530,023	5935475,776	-776086,515	0,00811	0,01383	0,00455
M11	-2201568,16	5935459,922	-776104,486	0,00955	0,01796	0,00505
M12	-2201605,777	5935443,009	-776122,300	0,01045	0,01962	0,00434

Hasil Koordinat Kartesian yang sudah didapat selanjutnya ditransformasikan dalam sistem koordinat geodetis seperti yang disajikan dalam Tabel IV.7, Tabel IV.8 dan Tabel IV.9 :

Tabel IV.7 Koordinat Geodetis Titik Bendungan Hasil GLOBK Periode Maret 2015

Nama Titik	Koordinat		Tinggi (m)
	Lintang	Bujur	
M07	7°02'09,16238" S	110°21'01,12044" E	183,847
M08	7°02'09,74243" S	110°21'02,46438" E	184,392
M09	7°02'10,33080" S	110°21'03,80844" E	184,063
M10	7°02'08,88951" S	110°21'01,23843" E	183,848
M11	7°02'09,47633" S	110°21'02,58352" E	184,365
M12	7°02'10,06254" S	110°21'03,92469" E	184,020

Tabel IV.8 Koordinat Geodetis Titik Bendungan Hasil GLOBK Periode April 2015

Nama Titik	Koordinat		Tinggi (m)
	Lintang	Bujur	
M07	7°02'09,16223" S	110°21'01,11952" E	184,259
M08	7°02'09,74247" S	110°21'02,46418" E	184,455
M09	7°02'10,33014" S	110°21'03,80766" E	184,029
M10	7°02'08,88955" S	110°21'01,23753" E	183,324
M11	7°02'09,47627" S	110°21'02,58260" E	184,447
M12	7°02'10,06288" S	110°21'03,92356" E	183,994

Tabel IV.9 Koordinat Geodetis Titik Bendungan Hasil GLOBK Periode Maret 2015

Nama Titik	Koordinat		Tinggi (m)
	Lintang	Bujur	
M07	7°02'09,16248" S	110°21'01,12013" E	183,834
M08	7°02'09,74214" S	110°21'02,46374" E	184,459
M09	7°02'10,33132" S	110°21'03,80775" E	183,911
M10	7°02'08,88953" S	110°21'01,23795" E	183,826
M11	7°02'09,47650" S	110°21'02,58259" E	184,437
M12	7°02'10,06305" S	110°21'03,92337" E	183,865

IV.3 Hasil Pengolahan Topcon Tools V.8

Nilai koordinat kartesian masing-masing titik pada setiap periode pengukuran ditampilkan dalam Tabel IV.10, Tabel IV.11 dan Tabel IV.12:

Tabel IV.10 Koordinat Kartesian Titik Bendungan Hasil Topcon Tools Periode Maret 2015

Nama Titik	Koordinat Kartesian (m)			Simpangan Baku (m)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
BM07	-2201527,449	5935476,553	-776095,045	0,02	0,034	0,064
BM08	-2201564,747	5935460,581	-776112,465	0,02	0,034	0,064
BM09	-2201602,48	5935443,719	-776130,342	0,02	0,034	0,064
BM10	-2201530,915	5935476,214	-776086,572	0,02	0,034	0,064
BM11	-2201568,398	5935450,163	-776104,342	0,02	0,034	0,064
BM12	-2201607,145	5935443,504	-776122,703	0,02	0,034	0,064

Tabel IV.11 Koordinat Kartesian Titik Bendungan Hasil Topcon Tools Periode April 2015

Nama Titik	Koordinat Kartesian (m)			Simpangan Baku (m)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
BM07	-2201530,98	5935477,195	-776086,743	0,019	0,054	0,035
BM08	-2201565,105	5935460,464	-776112,679	0,019	0,054	0,035
BM09	-2201602,831	5935443,617	-776130,559	0,019	0,054	0,035
BM10	-2201527,556	5935478,389	-776095,173	0,019	0,054	0,035
BM11	-2201568,85	5935460,121	-776104,561	0,019	0,054	0,035
BM12	-2201606,504	5935443,289	-776122,386	0,019	0,054	0,035

Tabel IV.12 Koordinat Kartesian Titik Bendungan Hasil Topcon Tools Periode Mei 2015

Nama Titik	Koordinat Kartesian (m)			Simpangan Baku (m)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
BM07	-2201527,088	5935476,264	-776094,512	0,014	0,038	0,026
BM08	-2201564,924	5935461,688	-776112,904	0,014	0,038	0,026
BM09	-2201602,663	5935444,83	-776130,811	0,014	0,038	0,026
BM10	-2201530,837	5935475,966	-776086,188	0,014	0,038	0,026
BM11	-2201568,686	5935461,341	-776104,801	0,014	0,038	0,026
BM12	-2201606,332	5935444,509	-776122,624	0,014	0,038	0,026

Hasil Koordinat Kartesian yang sudah didapat selanjutnya ditransformasikan dalam sistem koordinat geodetis seperti yang disajikan dalam Tabel IV.13, Tabel IV.14 dan Tabel IV.15:

Tabel IV.13 Koordinat Geodetis Titik Bendungan Hasil Topcon Tools Periode Maret 2015

Nama Titik	Koordinat		Tinggi (m)
	Lintang	Bujur	
BM07	7°02'09,16578" S	110°21'01,15051" E	184,706
BM08	7°02'09,73655" S	110°21'02,47087" E	184,851
BM09	7°02'10,32478" S	110°21'03,81462" E	184,373
BM10	7°02'08,88850" S	110°21'01,26023" E	184,549
BM11	7°02'09,47060" S	110°21'02,58715" E	184,726
BM12	7°02'09,07233" S	110°21'03,95955" E	184,847

Tabel IV.14 Koordinat Geodetis Titik Bendungan Hasil Topcon Tools Periode April 2015

Nama Titik	Koordinat		Tinggi (m)
	Lintang	Bujur	
BM07	7°02'08,89027" S	110°21'01,25108" E	185,504
BM08	7°02'09,74338" S	110°21'02,48314" E	184,406
BM09	7°02'10,33169" S	110°21'03,82650" E	184,937
BM10	7°02'09,16290" S	110°21'01,13297" E	186,467
BM11	7°02'09,47721" S	110°21'02,60144" E	184,424
BM12	7°02'10,06379" S	110°21'03,94243" E	184,915

Tabel IV.15 Koordinat Geodetis Titik Bendungan Hasil Topcon Tools Periode Mei 2015

Nama Titik	Koordinat		Tinggi (m)
	Lintang	Bujur	
BM07	7°02'09,15013" S	110°21'01,14276" E	184,246
BM08	7°02'09,74632" S	110°21'02,46373" E	185,995
BM09	7°02'10,33553" S	110°21'03,80762" E	185,527
BM10	7°02'08,87712" S	110°21'01,26064" E	184,244
BM11	7°02'09,48064" S	110°21'02,58259" E	185,978
BM12	7°02'10,06716" S	110°21'03,92335" E	185,492

IV.4 Deformasi Titik Bendungan

Pada penelitian ini, dengan menjadikan pengamatan pada periode Maret 2015 sebagai koordinat origin/titik nol toposentrik maka didapatkan hasil transformasi koordinat toposentrik pada periode April 2015 dan periode Mei 2015. Nilai koordinat toposentrik tersebut merupakan nilai perubahan koordinat yang meliputi *n*, *e* dan *u*. Dapat dilihat pada Tabel IV.16 dan Tabel IV.17 untuk hasil GAMIT/GLOBK dan pada Tabel IV.18 dan Tabel IV.19 untuk hasil Topcon Tools:

Tabel IV.1. Koordinat Toposentrik Titik Bendungan Hasil GAMIT/GLOBK Bulan Maret-April 2015

Nama Titik	Koordinat Toposentrik (m)		
	<i>n</i>	<i>e</i>	<i>u</i>
M07	0,004585	0,002812	0,101445
M08	0,000989	0,006095	0,016299
M09	0,020336	0,002432	0,001687
M10	0,001039	0,002944	0,101364
M11	0,001899	0,002810	0,030119
M12	0,010312	0,003453	0,010532

Tabel IV.17. Koordinat Toposentrik Titik Bendungan Hasil GAMIT/GLOBK Bulan Maret-Mei 2015

Nama Titik	Koordinat Toposentrik (m)		
	<i>n</i>	<i>e</i>	<i>u</i>
M07	0,003055	0,009393	0,001517
M08	0,009165	0,019633	0,022222
M09	0,015818	0,002124	0,022126
M10	0,000524	0,014798	0,001991
M11	0,005126	0,002844	0,028939
M12	0,015550	0,004036	0,014261

Tabel IV.18. Koordinat Toposentrik Titik Bendungan Hasil Topcon Tools Bulan Maret-April 2015

Nama Titik	Koordinat Toposentrik (m)		
	<i>n</i>	<i>e</i>	<i>u</i>
M7	0,46362	3,08735	2,01403
M8	0,21058	0,37634	0,13773
M9	0,21213	0,36456	0,12977
M10	0,42953	3,90572	2,96354
M11	0,94555	0,03926	0,30779
M12	0,26262	0,52622	0,10821

Tabel IV.19. Koordinat Toposentrik Titik Bendungan Hasil Topcon Tools Bulan Maret-Mei 2015

Nama Titik	Koordinat Toposentrik (m)		
	<i>n</i>	<i>e</i>	<i>u</i>
M7	0,48042	0,23797	0,04044
M8	0,30102	0,21902	0,37476
M9	0,33007	0,2148	0,37775
M10	0,34930	0,01311	0,10571
M11	0,84048	0,6173	0,81487
M12	0,15919	1,11176	0,61781

Dengan menggunakan tingkat kepercayaan 95% ($\alpha = 5\%$) dan $df \infty$ maka nilai *t* adalah 1,960. Apabila *t*-hitungan lebih besar dari nilai *t*-tabel (nilai *t* $df, \alpha/2$) menunjukkan bahwa parameter mempunyai perbedaan yang signifikan. Akan tetapi apabila nilai *t*-hitungan lebih kecil dari *t*-tabel (nilai *t* $df, \alpha/2$) berarti parameter yang diuji tidak mempunyai perbedaan yang signifikan. Tabel berikut merupakan hasil hitungan nilai *t*-hitungan. Hasil uji statistik pergeseran dapat dilihat pada Tabel IV.20 dan IV.21 untuk GAMIT/GLOBK dan pada Tabel IV.22 dan IV.23 untuk Topcon Tools.

Tabel IV.2. Hasil Uji Statistik Pergeseran Titik Hasil GAMIT/GLOBK Periode April 2015

Nama Titik	Pij	Std Pij	<i>t</i> hitungan	<i>t</i> tabel	H_0	Pergeseran
M07	0,005379	0,0163827	0,32833	1,960	Diterima	Tidak
M08	0,006174	0,021932	0,281528	1,960	Diterima	Tidak
M09	0,020481	0,0184190	1,111937	1,960	Diterima	Tidak
M10	0,003121	0,0160632	0,194325	1,960	Diterima	Tidak
M11	0,003392	0,0205920	0,164723	1,960	Diterima	Tidak
M12	0,010874	0,0187359	0,580402	1,960	Diterima	Tidak

Tabel IV.21. Hasil Uji Statistik Pergeseran Titik Hasil GAMIT/GLOBK Periode Mei 2015

Nama Titik	Pij	Std Pij	<i>t</i> hitungan	<i>t</i> tabel	H_0	Pergeseran
M07	0,009877	0,0166221	0,594237	1,96	Diterima	Tidak
M08	0,021666	0,0222505	0,973753	1,96	Diterima	Tidak
M09	0,015959	0,017473	0,913382	1,96	Diterima	Tidak
M10	0,014807	0,0160325	0,923558	1,96	Diterima	Tidak
M11	0,005862	0,0203412	0,288168	1,96	Diterima	Tidak
M12	0,016065	0,0222294	0,722697	1,96	Diterima	Tidak

Tabel IV.22. Hasil Uji Statistik Pergeseran Titik Hasil Topcon Tools Periode April 2015

Nama Titik	Pij	Std Pij	<i>t</i> hitungan	<i>t</i> tabel	H_0	Pergeseran
M07	3,12196	0,05725	54,53681	1,960	Ditolak	Ya
M08	0,43125	0,05725	7,53338	1,960	Ditolak	Ya
M09	0,42179	0,05725	7,36809	1,960	Ditolak	Ya
M10	3,92927	0,05725	68,63940	1,960	Ditolak	Ya
M11	0,94636	0,05725	16,53173	1,960	Ditolak	Ya
M12	0,58811	0,05725	10,27352	1,960	Ditolak	Ya

Tabel IV.23. Hasil Uji Statistik Pergeseran Titik Hasil Topcon Tools Periode Mei 2015

Nama Titik	Pij	Std Pij	t hitungan	t tabel	H ₀	Pergeseran
M07	0,53612	0,0405	13,23865	1,960	Ditolak	Ya
M08	0,37227	0,0405	9,19249	1,960	Ditolak	Ya
M09	0,39381	0,0405	9,72444	1,960	Ditolak	Ya
M10	0,34955	0,0405	8,63154	1,960	Ditolak	Ya
M11	1,04282	0,0405	25,75053	1,960	Ditolak	Ya
M12	1,12310	0,0405	27,73303	1,960	Ditolak	Ya

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan GAMIT/GLOBK pada tabel IV.20 dan tabel IV.21 menunjukkan semua nilai t-hitungan kurang dari t_{α} (t-tabel) yang ditentukan. Nilai tersebut menunjukkan bahwa koordinat toposentrik hasil hitungan pada setiap titik tidak mengalami pergeseran secara statistik, tetapi titik mengalami pergeseran secara numeris. Sedangkan hasil perhitungan menggunakan Topcon Tools pada Tabel IV.22 dan Tabel IV.23 menunjukkan semua nilai t-hitungan lebih dari t_{α} (t-tabel) yang ditentukan. Nilai tersebut menunjukkan bahwa koordinat toposentrik hasil hitungan pada setiap titik mengalami pergeseran secara statistik dan secara numeris.

Dalam penelitian ini hasil pengolahan menggunakan GAMIT/GLOBK yang dianggap benar dikarenakan GAMIT/GLOBK merupakan *Scientific Software* yang dikhususkan untuk perhitungan dengan ketelitian tinggi. Ada beberapa faktor yang menyebabkan penulis memilih untuk menganggap hasil pengolahan *scientific software* GAMIT 10.6 sebagai hasil yang benar. Faktor-faktor tersebut adalah:

1. Pengolahan data survey GPS umumnya menggunakan perangkat lunak ilmiah (*scientific software*) untuk mengetahui gejala deformasi (Abidin, 2006).
2. Pada *reference manual* Topcon Tools tidak tercantum bahwa Topcon Tools mampu mengolah data untuk pengamatan deformasi. Data GPS dapat diolah menggunakan Topcon Tools hanya untuk keperluan *post processing baseline* GPS (Topcon Tools Reference Manual, 2009).
3. *Scientific Software* GAMIT mampu melakukan analisis pengamatan GPS

yaitu estimasi koordinat stasiun, percepatan, fungsi post-processing seismik deformasi, *athmospheric delay*, orbit satelit dan parameter orientasi bumi (Herring, 2007).

4. Dalam pengolahan data GPS pada *scientific software* GAMIT 10.6, dimasukkan komponen-komponen pendukung seperti *file igs*, *file navigasi* dan *H-file* yang dapat meningkatkan ketelitian perhitungan.

Sehingga mengacu pada hasil perhitungan GAMIT/GLOBK, pergeseran pada titik-titik pantau tersebut bukanlah suatu pergeseran yang signifikan. Jadi, secara statistik titik-titik pantau tidak mengalami pergeseran.

V. Kesimpulan dan Saran

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan data dan analisis data penelitian yang telah dilaksanakan, maka dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil pengolahan data pengukuran GPS bulan Maret, April dan Mei menggunakan *scientific software* GAMIT 10.6 teramati tiap titik pengamatan mengalami perubahan koordinat. Rata-rata nilai perubahan koordinat toposentrik 3 dimensi pada sumbu X = $1,369 \pm 9,729$ mm, sumbu Y = $5,642 \pm 5,926$ mm, dan sumbu Z = $6,417 \pm 4,418$ mm.
2. Dari hasil pengolahan data pengukuran GPS bulan Maret, April dan Mei menggunakan *software* Topcon Tools V.8 teramati tiap titik pengamatan mengalami perubahan koordinat. Rata-rata nilai perubahan koordinat toposentrik 3 dimensi pada sumbu X = $0,168 \pm 0,467$ m, sumbu Y = $0,253 \pm 1,547$ m, dan sumbu Z = $0,261 \pm 1,108$ m. Pengolahan data dengan menggunakan *software* Topcon Tools menghasilkan

perubahan koordinat dalam besaran meter. Hal ini dapat terjadi karena jarak titik pengamatan dan stasiun IGS yang sangat jauh sehingga mempengaruhi ketelitian pengukuran.

3. Dalam penelitian ini hasil pengolahan data menggunakan *scientific software* GAMIT 10.6 yang dianggap benar sehingga disimpulkan bahwa tiap titik pengamatan mengalami deformasi secara numeris. Namun setelah dilakukan uji statistik dengan selang kepercayaan 95% dinyatakan bahwa keenam titik monitoring bendungan tidak memiliki pergeseran yang signifikan. Berdasarkan hasil uji statistik, dapat disimpulkan bahwa tiap titik pengamatan tidak mengalami deformasi.

V.2 Saran

Beberapa saran yang yang diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Perlu melakukan perencanaan survei dan strategi pengamatan yang lebih matang.
2. Untuk validasi ketinggian sebaiknya dilakukan dengan pengukuran sipat datar, karena tinggi yang dihasilkan dari pengukuran GPS masih kurang teliti.
3. Durasi pengamatan pada tiap titik monitoring bendungan sebaiknya diperpanjang agar data pengamatan yang didapatkan bisa lebih teliti.
4. Dalam penentuan titik kontrol IGS, sebaiknya menggunakan lebih dari empat titik kontrol. Untuk mendapatkan hasil pengolahan yang lebih teliti.
5. Pengolahan data sebaiknya hanya menggunakan *scientific software* yang telah terbukti mampu menghasilkan data dengan ketelitian tinggi. Misalnya *scientific software* GAMIT ataupun *scientific software* Bernesse.

VI. Daftar pustaka

- Abidin, H.Z. 2006. *Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya*. PT Pradnya Paramita. Jakarta.
- Abidin, H.Z. 2007. *Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya*. PT Pradnya Paramita. Jakarta.
- Ahmad, Ali Ammirudin. 2014. *Pengamatan GPS untuk Monitoring Deformasi Bendungan Jatibarang Menggunakan Software GAMIT 10.5*. Jurusan Teknik Geodesi Universitas Diponegoro.
- Andriyani, Gina. 2012. *Kajian Regangan Selat Bali Berdasarkan Data GNSS Kontinu 2009-2011*. Jurusan Teknik Geodesi Universitas Diponegoro.
- Bahlevi, Andika Rizal. 2013. *Analisis Deformasi Gunung Merapi Tahun 2012 Dari data Pengamatan GPS*. Jurusan Teknik Geodesi Universitas Diponegoro.
- Herring, T.A., King, R.W., & McClusky, S.C. 2007. *Introduction to GAMIT/GLOBK*. Departement of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences. Massachussets Institute of Technology.
- Kartasapoetra, A.G. 1991. *Teknologi Pengairan Pertanian Irigasi*. Bumi Aksara. Jakarta.
- Muliawan, L. A. 2012. *Penentuan Koordinat Stasiun GNSS CORS GMUI Bulan Mei 2011*. Jurusan Teknik Geodesi Universitas Gadjah Mada.
- Safi'i, Ayu Nur. 2014. *Analisis Ketelitian Titik Kontrol Horizontal Pada Pengukuran Deformasi Jembatan Penggaron Dengan Menggunakan Software GAMIT 10.5*. Jurusan Teknik Geodesi Universitas Diponegoro.
- Topcon. 2009. *Topcon Tools Reference Manual*. Topcon Positioning System, Inc.