

**STUDI DEFORMASI WADUK PENDIDIKAN DIPONEGORO
TAHUN 2016**

Rizki Fadillah, Bambang Darmo Yuwono, Bambang Sudarsono^{*)}

Program Studi Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang Telp.(024)76480785, 76480788
Email: dickyrfd@gmail.com

ABSTRAK

Menurut SNI No. 1731-1989 bendungan adalah setiap penahan buatan, jenis urugan atau jenis lainnya yang menampung air atau dapat menampung air baik secara alamiah maupun buatan. Selain manfaatnya yang sangat banyak bendungan juga mempunyai resiko yang tinggi karena mengandung potensi bahaya keruntuhan yang dapat mengakibatkan kehilangan jiwa dan kerugian materil yang besar, oleh karena itu perlu dilakukan pengamatan deformasi untuk mengetahui kondisi dari bendungan.

Dalam penelitian ini akan dilakukan pengamatan deformasi terhadap Waduk Pendidikan Diponegoro, dengan metode pengamatan GPS (*Global Positioning System*) dilakukan pengamatan terhadap 9 titik pantau deformasi (*bench mark*) yang tersebar di sekitar tubuh bendungan, data hasil pengamatan GPS diolah dengan menggunakan *scientific software* GAMIT 10.6, titik pantau deformasi juga diamati perubahan jarak dan tingginya terhadap titik kontrol yang dipasang diluar tubuh bendungan, pengamatan deformasi dilakukan dari bulan April sampai dengan Juni 2016 dengan dua kali periode pengamatan.

Hasil pengamatan GPS selama periode pengamatan menunjukkan titik pantau deformasi mengalami perubahan koordinat dengan nilai perubahan berkisar antara 0,06 cm sampai dengan 1,4 cm untuk sumbu X, 0,03 cm sampai dengan 1,9 cm untuk sumbu Y, dan 0,4 cm sampai dengan 1,3 cm untuk sumbu Z. Perubahan jarak dan tinggi dari hasil pengamatan *total station* dan *waterpass* selama periode pengamatan berkisar antara 0,09 mm sampai dengan 1,7 mm dan 0,15 mm sampai dengan 1,8 mm. Dari hasil pengamatan deformasi bendungan dengan metode pengamatan GPS, *total station*, dan *waterpass* secara nilai terjadi deformasi terhadap titik pantau deformasi selama periode pengamatan, namun berdasarkan hasil uji statistik dengan tingkat kepercayaan 95% menunjukkan tidak terjadi deformasi terhadap semua titik pantau deformasi.

Kata Kunci: Bendungan, Deformasi, GAMIT, GPS, *Velocity rate*

ABSTRACT

According to SNI No. 1731-1989 dam is any artificial barrier, urugan type or any other type that can hold or store water both natural and artificial. In addition to benefits are very much dams also have a high risk because has the potential danger of collapse that could result in the loss of life and material losses, therefore it needs to be observed deformation to determine the condition of the dam.

In this research will be observation of the deformation of Pendidikan Diponegoro dam, with GPS (Global Positioning System) observation methods will be observed of 9 monitoring points deformation (bench mark) spread around the body of the dam, the GPS observed data will be processing using scientific software GAMIT 10.6, deformation monitoring points were also observed changes in distance and height from the control points are placed outside the body of the dam, deformation observations carried out from April to June 2016, with twice the period of observation.

The results of GPS observations during the observation period showed deformation monitoring points change the coordinate value with ranging from 0.06 cm to 1.4 cm for the X axis, 0.03 cm to 1.9 cm for the Y axis, and 0.4 cm to 1.3 cm for the Z axis. Distance and height changes based on total station and waterpass measurement during the observation period ranging from 0.09 mm to 1.7 mm and 0.15 mm to 1.8 mm. From the result of the dam deformation observation by GPS observation methods, total station, and waterpass shows deformation of the deformation monitoring points during the observation period, but based on the statistical test with 95% confidence level showed that there is no deformation of all the deformation monitoring points.

Keywords: DAM, Deformation, GAMIT, GPS, *Velocity rate*

^{*)} Penulis, Penanggung Jawab

I. Pendahuluan

I.1. Latar Belakang

Bendungan Waduk Pendidikan Diponegoro berlokasi di kawasan Tembalang, Semarang. Waduk ini mampu menampung genangan air normal sampai 13,500 meter persegi dengan luas daerah tangkapan air mencapai 10,24 kilometer persegi dengan panjang sungai 7,52 km, tinggi tubuh bendungan 22 m dan tipe bendungan adalah urugan (batu dan random) berinti lempung kedap (PT. Jasapatria Gunatama, 2008).

Bendungan mempunyai resiko yang tinggi karena mengandung potensi bahaya keruntuhan yang dapat mengakibatkan kehilangan jiwa dan kerugian materi yang besar. Seperti diketahui bahwa tubuh bendungan akan mengalami tekanan dari efek *loading* air bendungan, akibat gaya tekanan ini maka tubuh bendungan kemungkinan akan dapat mengalami deformasi. Bangunan yang mendapatkan tekanan secara terus menerus akan mengalami perubahan dimensi atau bentuk dan posisi. Gaya-gaya yang bekerja pada tubuh bendungan adalah gaya berat (berat dari bendungan dan air), gaya tekanan ke atas, gaya hidrostatis, gaya hidrodinamik, gaya gempa, dan gaya tekan lumpur. Gaya-gaya ini dirambatkan ke fondasi dan tumpuan bendungan, yang bereaksi terhadap bendungan dengan gaya sama besar dan berlawanan yaitu reaksi fondasi. Dengan tekanan yang diterima oleh tubuh bendungan secara terus-menerus menyebabkan terjadinya deformasi (Sidharta, 1997).

Dalam penelitian ini akan dilakukan pengamatan deformasi terhadap Waduk Pendidikan Diponegoro, dengan metode pengamatan GPS (*Global Positioning System*) dilakukan pengamatan terhadap 9 titik pantau deformasi (*bench mark*) yang tersebar di sekitar tubuh bendungan, data hasil pengamatan GPS diolah dengan menggunakan *scientific software* GAMIT 10.6, Titik pantau yang digunakan untuk pengamatan GPS juga dikontrol jarak dan perubahan tingginya terhadap titik kontrol yang dipasang di luar tubuh bendungan, dengan menggunakan alat ukur *total station* diamati jarak dari titik pantau ke titik kontrol setiap periode pengamatan, dengan menggunakan alat ukur *waterpass* juga diamati perubahan tinggi masing-masing titik pantau terhadap titik kontrol, pengamatan deformasi dilakukan dari bulan April sampai dengan Juni 2016 dengan dua kali periode pengamatan.

Hasil dari analisis pada penelitian ini diharapkan mampu menjadi pertimbangan untuk perawatan bendungan dan untuk melihat kesehatan bendungan sehingga bisa dilakukan tindakan yang cepat untuk menghindari sesuatu yang tidak diinginkan. Diharapkan kedepannya tetap dilakukan pengamatan deformasi bendungan secara berkala.

I.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, masalah yang dapat ditemukan dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana cara melakukan pengamatan deformasi bendungan dengan metode pengamatan GPS, *total station*, dan *waterpass*?
2. Berapa nilai pergeseran yang terjadi selama periode April sampai dengan Juni 2016 dan *velocity rate* dari pengamatan GPS, *total station*, dan *waterpass*?
3. Bagaimana analisis deformasi yang terjadi selama periode April sampai dengan Juni 2016?

I.3. Maksud dan Tujuan Penelitian

Adapun maksud dan tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui apakah terjadi deformasi pada bendungan Waduk Pendidikan Diponegoro.
2. Untuk mengetahui berapa besar kecepatan pergeseran (*velocity rate*) dan arah deformasi yang terjadi dari pengamatan GPS.
3. Melakukan perbandingan hasil pengamatan GPS, *total station*, dan *waterpass* apakah terjadi korelasi.

I.4. Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini dibatasi pada hal-hal berikut:

1. Pengamatan titik pantau deformasi dilakukan dengan metode GPS statik selama 5 jam dengan menggunakan receiver GPS dual *frequency*
2. Pengolahan data pengamatan GPS menggunakan *scientific software* GAMIT dan GLOBK 10.6
3. Titik ikat yang digunakan dalam pengolahan adalah CORS BIG di Semarang (CSEM) dan stasiun IGS COCO, DARW, IISC, PIMO, dan YARR
4. Penelitian ini berfokus pada deformasi bendungan Waduk Pendidikan Diponegoro yang terjadi pada bulan April sampai dengan Juni 2016
5. Hasil *velocity* dari titik pantau deformasi pada penelitian ini tidak memperhatikan nilai dari *velocity* Blok Sunda.

I.5. Metodologi Penelitian

Pengamatan dilakukan terhadap 9 titik pantau deformasi (*bench mark*) yang tersebar di sekitar tubuh bendungan dengan menggunakan GPS *dual frequency*. Pengamatan dilakukan dengan metode GPS statik selama 5 jam terhadap masing-masing titik pantau untuk setiap periode pengamatan. Data hasil pengamatan dari setiap periode diolah dengan menggunakan *scientific software* GAMIT dan GLOBK 10.6 untuk mengetahui koordinat dari masing-masing titik. Titik pantau deformasi juga diamati jarak dan perubahan tingginya terhadap titik kontrol yang dipasang diluar tubuh bendungan dengan *total station* dan *waterpass*.

II. Tinjauan Pustaka

II.1. GPS (*Global Positioning System*)

GPS atau *Global Positioning System* merupakan sebuah alat atau suatu sistem navigasi dan penentuan posisi yang memanfaatkan satelit dan dapat digunakan untuk menginformasikan penggunaanya dimana dia

berada (secara global) di permukaan bumi yang berbasis satelit. Sistem ini dimiliki dan dikelola oleh Amerika Serikat yang didesain untuk memberikan posisi dan kecepatan tiga dimensi serta informasi mengenai waktu, secara kontinu di seluruh dunia kepada banyak orang secara simultan tanpa bergantung pada waktu dan cuaca. Sistem GPS yang nama aslinya adalah NAVSTAR GPS (*Navigation Satellite Timing and Ranging Global Positioning System*) (Wooden, 1985). Pada dasarnya GPS terdiri dari tiga bagian utama (*segment*) yaitu, segmen angkasa (*space segment*) yang terdiri dari satelit-satelit GPS, segmen kontrol (*control segment*) yang terdiri dari stasiun-stasiun pemonitor dan pengontrol satelit, dan segmen pengguna (*user segment*) yang terdiri dari pemakai GPS termasuk alat-alat penerima dan pengolah signal dan data. Pada dasarnya penentuan posisi GPS adalah pengukuran jarak secara bersama-sama ke beberapa satelit sekaligus. Untuk menentukan suatu koordinat suatu titik di bumi, *receiver* setidaknya membutuhkan 4 satelit yang dapat ditangkap dengan baik. Secara *default*, posisi atau koordinat yang diperoleh bereferensi pada global datum yaitu *World Geodetic System 1984* (Abidin, 2007).

II.2. Deformasi

Deformasi adalah perubahan bentuk, posisi, dan dimensi dari suatu benda. Berdasarkan definisi tersebut deformasi dapat diartikan sebagai perubahan kedudukan atau pergerakan suatu titik pada suatu benda atau perubahan bentuk secara absolut maupun relatif. Dikatakan titik bergerak atau berubah bentuk secara 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 sistem kerangka referensi (Kuang, 1996 dalam Safi'i, 2014). Deformasi pada suatu benda atau tempat dapat diketahui dengan melakukan survei deformasi dan geodinamika, survei deformasi dan geodinamika adalah survei geodetik yang dilakukan untuk mempelajari fenomena-fenomena deformasi dan geodinamika, fenomena geodinamika disebabkan oleh gaya-gaya yang bekerja pada lapisan bumi terdalam yang menyebabkan terjadinya fenomena alam seperti pergerakan lempeng tektonik (e.g. Gunawan et al., 2015), aktivitas gunung api (e.g. Bahlefi et al., 2013), sesar dan patahan (e.g. Setyawan et al., 2014; Fathullah et al., 2015) dan lain-lain, fenomena ini menyebabkan terjadinya deformasi. Selain karena fenomena alam deformasi juga dapat terjadi pada bangunan gedung (e.g. Lovse et al., 1995; Jones et al., 2015), jembatan (e.g. Handayani et al., 2015; Safii et al., 2014), bendungan (e.g. Li et al., 2011; Yusuf et al., 2015), permukaan tanah (e.g. Abidin et al., 2008), dan sebagainya karena gaya yang bekerja pada benda atau tempat itu sendiri.

II.3. Transformasi Koordinat Geosentrik ke Toposentrik

Hasil dari pengolahan menggunakan GAMIT dan GLOBK adalah koordinat dalam sistem koordinat kartesian geosentrik (X, Y, Z), merupakan sistem koordinat yang pusat sumbunya berada pada pusat bumi. Dari koordinat kartesian geosentris ini kemudian dilakukan transformasi koordinat kedalam sistem koordinat toposentrik (n, e, u) dimana koordinat toposentrik pusat sumbunya berada pada permukaan bumi dan sifatnya lokal, pusat sumbu sistem koordinat toposentrik yang digunakan pada penelitian ini adalah koordinat periode pengamatan pertama, terlebih dahulu dilakukan transformasi koordinat ke sistem koordinat geodetik (φ, λ, H) maka koordinat toposentrik dapat kita hitung. Persamaan yang digunakan dalam proses transformasi koordinat kartesian geosentrik ke toposentrik adalah (Kosasih dan Wedyanto, 2005):

$$\begin{pmatrix} nA \\ eA \\ uA \end{pmatrix} = R(\varphi_0, \lambda_0) \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix} \dots\dots\dots (1)$$

$$\begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} XA - Xo \\ YA - Yo \\ ZA - Zo \end{pmatrix} \dots\dots\dots (2)$$

$$R(\varphi_0, \lambda_0) = \begin{pmatrix} -\sin \varphi_0 \cos \lambda_0 & -\sin \varphi_0 \sin \lambda_0 & \cos \varphi_0 \\ -\sin \lambda_0 & \cos \lambda_0 & 0 \\ \cos \varphi_0 \cos \lambda_0 & \cos \varphi_0 \sin \lambda_0 & \sin \varphi_0 \end{pmatrix} \dots\dots (3)$$

- Keterangan:
 nA, eA, uA = koordinat toposentrik titik A
 φ₀, λ₀ = koordinat geodetik titik O (origin sistem koordinat toposentrik)
 X₀, Y₀, Z₀ = koordinat geosentrik titik O (origin sistem koordinat toposentrik)
 XA, YA, ZA = koordinat geosentrik titik A
 ΔX, ΔY, ΔZ = selisih antara koordinat kartesian geosentrik titik A dan titik O
 R = matrik rotasi

Koordinat pengamatan pertama digunakan sebagai sumbu pusat toposentrik dan pusat dalam perhitungan kecepatan dan arah pergeseran (n, e, u).

II.4. Velocity

Velocity adalah sebuah laju perpindahan dari sebuah kerangka acuan dan merupakan fungsi dari waktu. Dalam *velocity* ini kita dapat menggambarkan kecepatan objek misalkan pergerakan lempeng yang ada di Indonesia yaitu pergerakan lempeng di pulau Jawa atau pergerakan lempeng di pulau Sumatra dan pergerakan lempeng-lempeng pulau lainnya. Karena bicara tentang *velocity*, maka biasanya disertakan juga arah pergerakannya misalkan ke arah timur atau timur laut. Perhitungan *velocity* dilakukan dengan menggunakan koordinat toposentrik. Kecepatan pergeseran yang diperoleh adalah pada arah n, e dan u dengan satuan kecepatan meter/tahun. Kecepatan pergeseran adalah besaran yang menyatakan

perubahan sebuah titik pengamatan yang telah dilakukan pengamatan sebelumnya dalam selang waktu tertentu sehingga bisa menjadi indikator adanya deformasi pada daerah pengamatan tersebut. Metode linier fit adalah salah satu metode yang digunakan dalam melakukan perhitungan kecepatan pergeseran. Metode ini menggunakan pendekatan fungsi linier. Dari persamaan linier fit dapat disederhanakan untuk penentuan *velocity* menjadi:

$$V_n = 366/(t-t_0) \times n \dots\dots\dots (4)$$

$$V_e = 366/(t-t_0) \times e \dots\dots\dots (5)$$

$$V_u = 366/(t-t_0) \times u \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan:

- $V_{n,e,u}$ = Kecepatan pergeseran sumbu n,e,u selama setahun
- t = DOY akhir pengamatan
- t_0 = DOY awal pengamatan
- n,e,u = Koordinat toposentrik sumbu n,e,u

III. Metodologi Penelitian

III.1. Tahapan Persiapan

Dalam tahapan penelitian ini terlebih dahulu dilakukan beberapa tahapan persiapan guna untuk meminimalisir kesalahan dan untuk mendapatkan hasil yang sesuai dengan yang diharapkan, dan merupakan tahap awal dari penelitian.

Adapun tahapan persiapan adalah sebagai berikut:

1. Studi literatur mengenai semua informasi yang terkait dengan penyusunan penelitian Tugas Akhir.
2. Persiapan jadwal rencana pengadaan data dan jadwal rencana pengamatan terhadap titik tetap Waduk Pendidikan Diponegoro menggunakan GPS Dual Frekuensi.
3. Pengamatan GPS, pengamatan validasi perubahan jarak dan tinggi dengan menggunakan *total station* dan *waterpass*.
4. Pengadaan data titik ikat pengolahan CORS BIG di Semarang (CSEM) sesuai dengan jadwal pengamatan.
5. Melakukan proses instalasi sistem operasi LINUX Ubuntu 14.04 LTS.
6. Melakukan proses instalasi *scientific software* GAMIT 10.6 yang akan digunakan untuk pengolahan data pengamatan GPS dan *software* Generic Mapping Tolls (GMT).

III.2.Peralatan dan Bahan Penelitian

III.2.1.Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan menggunakan perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras yang digunakan adalah:

1. *Receiver* GPS Topcon HIPER GB 2 unit dan *receiver* GPS Topcon HIPER II 1 unit untuk pengamatan titik pantau deformasi.
2. *Total station* ES Series GTS-250 1 unit untuk kontrol jarak terhadap 9 titik pantau deformasi.

3. *Waterpass* digital GeoMax ZDL700 1 unit untuk kontrol tinggi terhadap 9 titik pantau deformasi.
4. Laptop dengan spesifikasi *Processor Intel(R) Core (TM) i3-3217U CPU @1.80GHz 1.80 GHz*.

Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Sistem Operasi Linux Ubuntu 10.04 LTS.
2. Perangkat lunak GAMIT dan GLOBK versi 10.6.
3. Topcon Link V.7.1 digunakan untuk pengolahan data *total station*.
4. GMT V.5.3.2 (*Generic Mapping Tools*), digunakan untuk *plotting* data hasil pengolahan.
5. NETCDF (*Network Common Data Form*), perangkat lunak ini adalah dependencies yang harus dipenuhi bila menginstal perangkat lunak GMT.
6. GFortran, perangkat lunak (*software*) yang digunakan sebagai *compiler* untuk bahasa Fortran.
7. *Translation, Editing, dan Quality Checking* (TEQC) yang digunakan untuk rinex data pengamatan GPS dan pengecekan kualitas data.
8. Xcode 4, perangkat lunak ini adalah *compiler* GCC.

III.2.2.Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini ada dua yaitu bahan utama dan bahan pendukung.

1. Bahan utama adalah bahan yang harus ada dalam penelitian agar penelitian dapat dilakukan. Bahan utama dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:
 - a. Data pengamatan GPS dari titik pantau deformasi yang tersebar di sekitar tubuh bendungan selama periode April dan Juni 2016, titik yang digunakan adalah titik A100, A200, A300, A400, A500, A600, B700, B800 dan B900. Data pengamatan GPS periode April dan Juni 2016 ditunjukkan oleh Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1 Data pengamatan GPS periode April 2016

Nama Titik	Doy	Lama Pengamatan	Tinggi Alat	Tipe Receiver
A100	112	5 Jam	1,5863 m	Topcon Hiper II
A200	112	5 Jam	1,0860 m	Topcon Hiper GB
A300	112	5 Jam	1,1681 m	Topcon Hiper GB
A400	111	5 Jam	1,1760 m	Topcon Hiper II
A500	111	5 Jam	1,0715 m	Topcon Hiper GB
A600	111	5 Jam	1,2790 m	Topcon Hiper GB
B700	113	5 Jam	1,3903 m	Topcon Hiper II
B800	113	5 Jam	1,1585 m	Topcon Hiper GB
B900	113	5 Jam	0,9515 m	Topcon Hiper GB

Tabel 2 Data pengamatan GPS periode Juni 2016

Nama Titik	Doi	Lama Pengamatan	Tinggi alat	Tipe Receiver
A100	173	5 Jam	1,5930 m	Topcon Hiper II
A200	173	5 Jam	1,1267 m	Topcon Hiper GB
A300	173	5 Jam	0,9833 m	Topcon Hiper GB
A400	173	5 Jam	1,2470 m	Topcon Hiper II
A500	173	5 Jam	1,2211 m	Topcon Hiper GB
A600	173	5 Jam	0,9976 m	Topcon Hiper GB
B700	174	5 Jam	1,3571 m	Topcon Hiper II
B800	174	5 Jam	1,0333 m	Topcon Hiper GB
B900	174	5 Jam	1,0000 m	Topcon Hiper GB

- b. Data pengamatan dari stasiun IGS (*International GNSS Service*) COCO, DARW, IISC, PIMO, YARR selama 24 jam pada masing-masing DOY pengamatan.
 - c. Data pengamatan stasiun CORS BIG di Semarang (CSEM) selama 24 jam pada masing-masing DOY pengamatan.
 - d. *File Broadcast ephemeris* (*file navigasi satelit*).
 - e. *File Precise ephemeris* dengan format sp3.
 - f. *H-files* global hasil olahan MIT
2. Bahan pendukung yaitu data yang digunakan untuk mendukung jalannya penelitian, dan guna untuk meningkatkan kualitas hasil data olahan. Bahan pendukung tersebut adalah sebagai berikut:
 - a. *File* gelombang pasang-surut (*otl.grid*)
 - b. *File* pemodelan cuaca (*map.grid*)
 - c. *File* pemodelan atmosfer (*atml.grid*)
 - d. *File* Pemodelan ionosfer

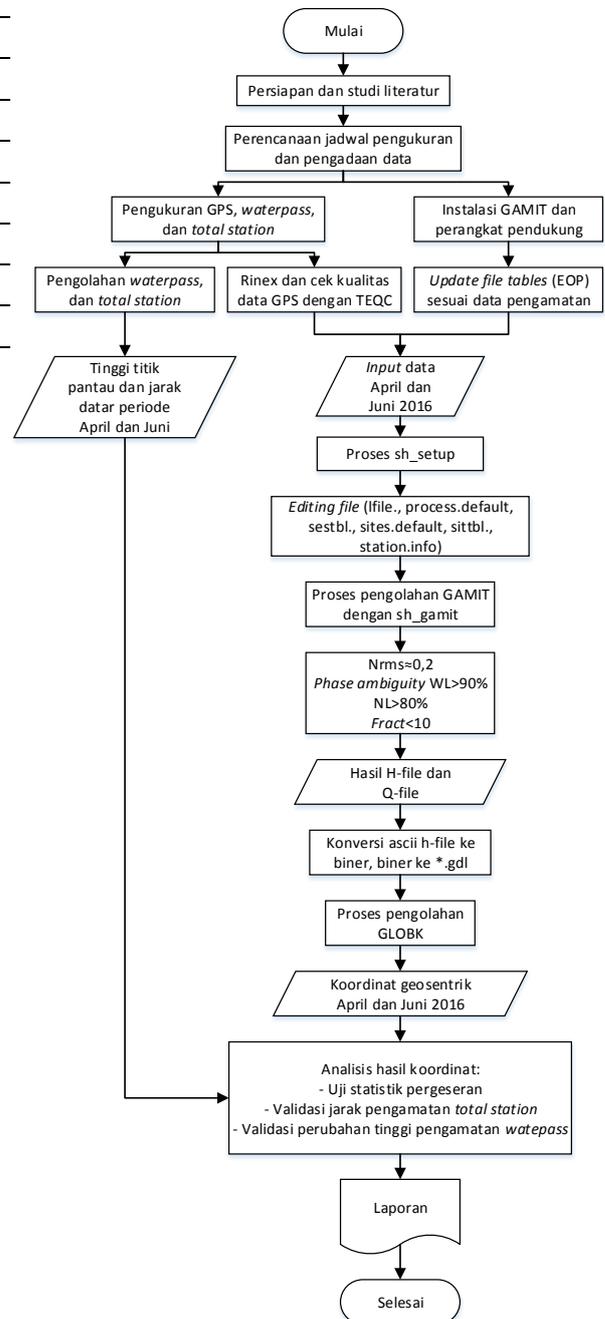
III.3. Tahapan Pengolahan Data

Data pengamatan GPS titik pantau deformasi diolah menggunakan titik ikat stasiun IGS (*International GNSS Service*) COCO, DARW, IISC, PIMO, YARR dan titik ikat lokal stasiun CORS BIG di Semarang (CSEM) dengan strategi pengolahan metode jaringan, visualisasi metode jaringan ditunjukkan oleh Gambar 1.



Gambar 1 Visualisasi metode jaringan

Berikut diagram alir penelitian ditunjukkan oleh Gambar 2.



Gambar 2 Diagram alir penelitian

III.3.1. Pengecekan Kualitas Data dengan TEQC

Sebelum dilakukan pengolahan dengan menggunakan *software* GAMIT 10.6, dilakukan pengecekan kualitas data rinex pengamatan terlebih dahulu, untuk mengetahui nilai *multipath* dari data pengamatan, waktu mulai dan berakhir data pengamatan, *interval* perekaman, dan informasi lain mengenai kualitas data seperti pengaruh ion terhadap perambatan sinyal. Pengecekan kualitas data dengan menggunakan *software* TEQC (*Translating, Editing and Quality Check*)

III.3.2. Pengolahan Menggunakan GAMIT/GLOBK

Data pengamatan yang telah dicek kualitasnya dengan TEQC dilakukan pengolahan dengan menggunakan *scientific software* GAMIT, dengan menggunakan titik ikat stasiun IGS COCO, DARW, IISC, PIMO, YARR dan stasiun CORS CSEM dilakukan pengolahan metode jaringan. Tahapan pengolahan dengan menggunakan GAMIT adalah sebagai berikut (Panuntun, 2012):

1. Persiapan Pembuatan Direktori Kerja GAMIT

Sebelum melakukan pengolahan dengan menggunakan GAMIT, terlebih dahulu harus membuat *project* olahan dan direktori pendukungnya untuk penyimpanan data pengamatan GPS yang akan kita olah dan data-data pendukungnya, penamaan direktori yang terdapat dalam direktori induk harus sesuai dengan standar pengolahan *automatic batch processing* GAMIT.

2. *Link* Folder Tables dan *Editing File Control*

Sebelum melakukan *editing file control* folder tables yang terdapat diinstallan gamit harus di *link* ke folder proyek pengolahan sesuai dengan tahun pengamatan dan file *apr* yang akan digunakan, dalam folder tables inilah *file control* yang akan di edit berada.

3. *Update File Tables* berdasarkan Tahun Pengamatan

File kontrol yang digunakan untuk pengolahan GAMIT harus diupdate sesuai dengan tahun dan DOY pengamatan file EOP yang perlu diupdate diantaranya: *pole.usno*, *ut1.usno*, *leap.sec*, *luntab*, *nutabl*, *soltab*, *snav.dat*, *svs_exclude.dat*

4. *Automatic batch processing* GAMIT

Tahapan pengolahan data GPS dengan menggunakan *command sh_gamit* untuk melakukan pengolahan secara otomatis.

5. Persiapan Pengolahan Menggunakan GLOBK

H-file hasil olahan GAMIT yang merupakan matrik varian dan kovarian digunakan untuk pengolahan GLOBK untuk mendapatkan koordinat hasil olahan, file-file pendukung yang digunakan untuk pengolahan GLOBK diantaranya: H-file *global*, file *glog_comb.cmd* dan *globk_comb.cmd*

6. Pengolahan Menggunakan GLRED dan GLOBK

Pengolahan dengan menggunakan GLOBK menggunakan *directory* olahan sendiri yang terdapat didalam direktori olahan GAMIT, pengolahan dengan GLOBK terdiri dari dua tahapan, GLRED dan GLOBK. Hasil dari olahan GLOBK akan menghasilkan koordinat *fix* olahan yang terdapat didalam file *globk.org*.

III.3.3. Perhitungan Koordinat Toposentrik

Hasil dari olahan GAMIT/GLOBK menghasilkan koordinat olahan Kartesian Geosentrik dan Geodetik, dengan menggunakan koordinat pengamatan pertama sebagai pusat sumbu koordinat, dihitung koordinat toposentrik dengan rumus transformasi koordinat Kosasih dan Wedyanto (2005). Koordinat toposentrik

merupakan perubahan nilai koordinat selama periode pengamatan.

III.3.4. Perhitungan Velocity

Hasil dari koordinat toposentrik yang merupakan perubahan koordinat selama periode pengamatan digunakan untuk menentukan nilai dari *velocity* atau kecepatan pergeseran selama setahun, nilai dari masing-masing sumbu *velocity* juga merupakan arah dari kecepatan pergeseran masing-masing titik panatau deformasi.

IV. Hasil dan Pembahasan

IV.1. Hasil

IV.1.1 Hasil Pengecekan Kualitas Data

Berikut hasil pengecekan kualitas data pengamatan dengan menggunakan TEQC ditunjukkan oleh Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3 Hasil uji kualitas data pengamatan periode April 2016

Titik	DOY	MP1 (m)	MP2 (m)	Tipe Receiver
A100	112	0,40193	0,39703	Topcon Hiper II
A200	112	0,29052	0,26045	Topcon Hiper GB
A300	112	0,31797	0,29838	Topcon Hiper GB
A400	111	0,28793	0,29680	Topcon Hiper II
A500	111	0,30953	0,29692	Topcon Hiper GB
A600	111	0,38586	0,35515	Topcon Hiper GB
B700	113	0,34518	0,33312	Topcon Hiper II
B800	113	0,37623	0,41046	Topcon Hiper GB
B900	113	0,40297	0,44713	Topcon Hiper GB

Tabel 4 Hasil uji kualitas data pengamatan periode Juni 2016

Titik	DOY	MP1 (m)	MP2 (m)	Tipe Receiver
A100	173	0,35239	0,33332	Topcon Hiper II
A200	173	0,33411	0,29106	Topcon Hiper GB
A300	173	0,34126	0,32423	Topcon Hiper GB
A400	173	0,24489	0,24207	Topcon Hiper II
A500	173	0,32286	0,31154	Topcon Hiper GB
A600	173	0,36776	0,35954	Topcon Hiper GB
B700	174	0,28237	0,27410	Topcon Hiper II
B800	174	0,26168	0,24541	Topcon Hiper GB
B900	174	0,25740	0,23293	Topcon Hiper GB

Dari hasil pengecekan kualitas data pengamatan nilai *moving average* MP1 dan MP2 semua titik pantau selama periode pengamatan cukup bagus karena nilai MP1 dan MP2 dibawah 0,5 m dengan rata-rata 0,3465 m dan 0,3439 m periode April, dan 0,3072 m dan 0,2905 m untuk periode Juni.

IV.1.2. Hasil Pengolahan GAMIT/GLOBK

Berikut koordinat pengamatan GPS hasil olahan GAMIT dan GLOBK ditunjukkan oleh Tabel 5 dan Tabel 6.

Tabel 5 Koordinat kartesian geosentrik April 2016

Titik	Kartesian Geosentrik (m)			Std (mm)		
	X	Y	Z	x	y	z
A100	-2211369,97088	5931608,73556	-777830,33404	5,52	8,39	4,49
A200	-2211376,07846	5931602,42124	-777861,96344	5,24	8,30	4,03
A300	-2211380,60490	5931597,58156	-777887,26567	5,33	8,38	4,13
A400	-2211386,71194	5931590,72268	-777922,11222	4,86	7,67	3,74
A500	-2211392,02373	5931584,69166	-777952,99075	5,22	8,18	4,07
A600	-2211398,00505	5931578,11628	-777985,85821	5,39	8,34	4,27
B700	-2211406,75943	5931573,61633	-777958,28394	6,05	8,65	4,78
B800	-2211399,82028	5931581,75722	-777914,46456	5,04	8,22	3,91
B900	-2211392,87698	5931590,07222	-777868,61696	6,12	8,82	5,03

Tabel 6 Koordinat kartesian geosentrik Juni 2016

Titik	Kartesian Geosentrik (m)			Std (mm)		
	X	Y	Z	x	y	z
A100	-2211369,95916	5931608,68349	-777830,32777	6,08	8,52	5,03
A200	-2211376,06684	5931602,39786	-777861,97216	5,79	8,43	4,30
A300	-2211380,59981	5931597,52882	-777887,27126	6,06	8,64	4,64
A400	-2211386,73754	5931590,75889	-777922,11185	4,67	7,58	3,47
A500	-2211392,04140	5931584,69976	-777953,00501	5,07	8,30	3,92
A600	-2211398,00748	5931578,15806	-777985,85415	5,36	8,51	4,19
B700	-2211406,73923	5931573,56053	-777958,27522	4,72	7,79	3,56
B800	-2211399,83802	5931581,78010	-777914,44830	7,64	9,49	6,95
B900	-2211392,88167	5931590,11454	-777868,61221	4,98	8,17	3,85

Hasil dari olahan GAMIT dan GLOBK ditransformasikan kedalam koordinat geodetik, Tabel 7 dan 8 merupakan koordinat geodetik hasil olahan GAMIT dan GLOBK.

Tabel 7 Koordinat geodetik April 2016

Titik	Koordinat Geodetik		
	Lintang	Bujur	Tinggi (m)
A100	7° 3' 6,0028855" S	110° 26' 45,6607194" E	204,22382
A200	7° 3' 7,0397938" S	110° 26' 45,9190571" E	204,35248
A300	7° 3' 7,8689878" S	110° 26' 46,1123374" E	204,52763
A400	7° 3' 9,0118662" S	110° 26' 46,3768574" E	204,54502
A500	7° 3' 10,024567" S	110° 26' 46,6076755" E	204,56953
A600	7° 3' 11,102625" S	110° 26' 46,8651310" E	204,56434
B700	7° 3' 10,216467" S	110° 26' 47,1836264" E	200,02907
B800	7° 3' 8,7800811" S	110° 26' 46,8791085" E	199,81345
B900	7° 3' 7,2775269" S	110° 26' 46,5724827" E	199,50962

Tabel 8 Koordinat geodetik Juni 2016

Titik	Koordinat Geodetik		
	Lintang	Bujur	Tinggi (m)
A100	7° 3' 6,0028952" S	110° 26' 45,6609541" E	204,17057
A200	7° 3' 7,0401801" S	110° 26' 45,9189682" E	204,32779
A300	7° 3' 7,8693739" S	110° 26' 46,1127822" E	204,47752
A400	7° 3' 9,0116838" S	110° 26' 46,3772266" E	204,58753
A500	7° 3' 10,024974" S	110° 26' 46,6081227" E	204,58495
A600	7° 3' 11,102334" S	110° 26' 46,8647296" E	204,60354
B700	7° 3' 10,216423" S	110° 26' 47,1836446" E	199,96911
B800	7° 3' 8,7794463" S	110° 26' 46,8793896" E	199,83889
B900	7° 3' 7,2772092" S	110° 26' 46,5721443" E	199,55001

IV.1.3. Hasil Perhitungan Deformasi Titik Pantau

Deformasi titik pantau bendungan selama periode pengamatan dapat diketahui dengan mentransformasi koordinat kartesian geosentrik hasil olahan GAMIT dan GLOBK ke dalam sistem koordinat kartesian toposentrik (n, e, u) dengan *origin* (pusat sumbu) koordinat periode pengamatan pertama (periode April 2016), hasil dari transformasi koordinat akan menampilkan nilai pergeseran titik pantau deformasi selama periode pengamatan. Dengan menggunakan rumus transformasi koordinat kartesian geosentrik ke dalam koordinat toposentrik Kosasih dan Wedyanto (2005) koordinat toposentrik Juni 2016 dapat ditentukan, hasil dari koordinat toposentrik periode Juni 2016 ditunjukkan oleh Tabel 9.

Tabel 9 Pergeseran koordinat periode April-Juni 2016

Titik	Kartesian Toposentrik (mm)			Std (mm)		
	n	e	u	n	e	u
A100	-0,2697	7,2077	-7,7553	8,5	6,1	11,8
A200	-11,8419	-2,7207	-12,8681	8,4	5,8	11,9
A300	-11,8332	13,6542	-13,5397	8,6	6,1	11,9
A400	5,6309	11,338	6,6517	7,6	4,7	3,24
A500	-12,4623	13,7272	7,0688	8,3	5,1	3,35
A600	8,9404	-12,3181	6,2745	8,5	5,4	3,35
B700	1,3679	0,5653	5,9351	7,8	4,7	5,92
B800	19,530	8,6297	-4,3020	9,5	7,6	5,92
B900	9,7835	-10,3891	9,2729	8,2	5	5,89

IV.1.4. Hasil Perhitungan Kecepatan Pergeseran

Kecepatan pergeseran (*velocity rate*) adalah besaran yang menyatakan perubahan posisi titik pantau dalam selang waktu tertentu sehingga bisa ditentukan seberapa jauh deformasi titik pantau. Kecepatan pergeseran bisa dihitung dari nilai pergeseran titik selama periode pengamatan dan lama waktu periode pengamatan, *velocity rate* dinyatakan dalam kecepatan pergeseran dalam setahun, berikut hasil perhitungan

velocity rate titik pantau deformasi ditunjukkan oleh Tabel 10.

Tabel 10 Kecepatan pergeseran titik pantau deformasi

Titik	Kecepatan /Tahun (cm)		
	Vn	Ve	Vu
A100	-0,1618	4,32461	-4,65322
A200	-7,10514	-1,63243	-7,72089
A300	-7,09989	8,1925	-8,12383
A400	3,32406	6,69311	3,92664
A500	-7,35678	8,10349	4,17286
A600	5,27774	-7,27166	3,70399
B700	0,82071	0,33919	3,56108
B800	11,71801	5,17782	-2,5812
B900	5,87012	-6,23344	5,56374

Kecepatan pergeseran terbesar pada titik pantau deformasi terjadi pada titik B800 dengan pergeseran sebesar 11,72 cm/tahun pada sumbu y dan 5,18 cm/tahun pada sumbu x, sedangkan pergeseran terkecil terjadi pada titik pantau B700 dengan pergeseran 0,82 cm/tahun pada sumbu y dan 0,34 cm/tahun pada sumbu x

IV.1.5. Hasil Perhitungan Jarak dengan Total station

Titik pantau deformasi yang digunakan untuk pengamatan GPS juga dikontrol pergerakannya terhadap titik kontrol total station (TS01) yang berada diluar tubuh bendungan, setiap periode pengamatan diamati jarak dari titik kontrol ke titik pantau deformasi, pengukuran jarak dilakukan sebanyak 5 kali setiap periode pengukuran dan diambil jarak rata-rata, maka didapat hasil jarak per periode pengamatan. Hasil pengamatan jarak datar dengan pengamatan total station ditunjukkan oleh Tabel 11 dan Tabel 12.

Tabel 11 Hasil pengamatan jarak periode April 2016

Jarak TS01 ke	Jarak (m)	Std (mm)	n
A100	180.886918	0.669	5
A200	148.496958	0.543	5
A300	122.92988	0.458	5
A400	88.335174	0.613	5
A500	59.185711	0.518	5
A600	33.769019	0.629	5
B700	43.848316	1.018	5
B800	87.799371	0.631	5
B900	134.466814	0.477	5

Tabel 12 Hasil pengamatan jarak periode Juni 2016

Jarak TS01 ke	Jarak (m)	Std (mm)	n
A100	180.886679	0.831	5
A200	148.497754	0.842	5
A300	122.929779	0.347	5
A400	88.335271	0.478	5
A500	59.185624	0.738	5
A600	33.769668	0.637	5
B700	43.847031	1.272	5
B800	87.797622	1.828	5
B900	134.465248	1.52	5

IV.1.6. Hasil Pengukuran Tinggi dengan Waterpass

Titik pantau deformasi yang digunakan untuk pengamatan GPS juga diamati perubahan tingginya dengan menggunakan alat ukur levelling (waterpass), pengukuran dilakukan setiap periode pengamatan dengan mengikatkan ke titik kontrol waterpass (WP01) yang terdapat diluar tubuh bendungan, Tinggi yang digunakan adalah tinggi lokal terhadap titik kontrol WP01 (100 m). Hasil pengukuran tinggi selama periode pengamatan ditunjukkan oleh Tabel 13.

Tabel 13 Hasil pengukuran tinggi dengan waterpass

Titik	April 2016		Juni 2016	
	H (m)	Std (m)	H (m)	Std (m)
A100	95,31473	0,0003	95,31444	0,0002
A200	95,43701	0,0005	95,43661	0,0007
A300	95,60538	0,0002	95,60483	0,0001
A400	95,6738	0,0002	95,67311	0,0007
A500	95,64883	0,0005	95,64855	0,0001
A600	95,66300	0,0001	95,66285	0,0001
B700	91,08801	0,0002	91,08687	0,0001
B800	90,85444	0,001	90,85279	0,0002
B900	90,56486	0,0008	90,56307	0,0005

IV.2. Analisis dan Pembahasan

IV.2.1. Analisis Pergeseran Titik Pantau Deformasi Pengamatan GPS

Hasil pengolahan titik pantau deformasi dari pengamatan GPS, total station dan waterpass menunjukkan terjadinya deformasi berdasarkan nilai perubahan koordinat, jarak dan tinggi terhadap semua titik pantau, nilai dan arah pergeseran dari setiap titik bervariasi. Untuk mengecek apakah secara signifikan hasil perubahan koordinat mengalami pergeseran dan perubahan tinggi, maka dilakukan uji-t terhadap semua titik pantau deformasi.

Uji statistik pergeseran dan perubahan tinggi dilakukan dengan membandingkan t-hitungan dan t-

tabel, dengan selang kepercayaan 95% ($\alpha/2 = 2,5\%$) dan derajat kebebasan (df) tak terhingga. Pengujian dilakukan untuk melihat apakah hipotesa nol (H_0) diterima atau tidak, hipotesa nol (H_0) diterima apabila hasil perbandingan nilai t-hitungan lebih kecil dari t-tabel ($t_{df,\alpha/2}$), akan tetapi apabila hasil perbandingan t-hitungan lebih besar dari nilai t-tabel ($t_{df,\alpha/2}$) maka hipotesa nol (H_0) ditolak. Hipotesa nol (H_0) diterima menunjukkan parameter yang di uji tidak terjadi perubahan yang signifikan, dan apabila hipotesa nol (H_0) ditolak maka parameter yang di uji menunjukkan terjadi perubahan yang signifikan. Berikut hasil uji statistik pergeseran dan perubahan tinggi titik pantau deformasi hasil pengamatan GPS ditunjukkan oleh Tabel 14 dan Tabel 15.

Tabel 14 Hasil uji statistik pergeseran pengamatan GPS

Titik	P (m)	Std P (m)	t-tabel	t-hitung	Pergeseran
A100	0,00721	0,01047	1,960	0,689	Tidak
A200	0,01215	0,01023	1,960	1,188	Tidak
A300	0,01807	0,01055	1,960	1,712	Tidak
A400	0,01266	0,00890	1,960	1,422	Tidak
A500	0,01854	0,00973	1,960	1,906	Tidak
A600	0,01522	0,01006	1,960	1,513	Tidak
B700	0,00148	0,00911	1,960	0,162	Tidak
B800	0,02135	0,01218	1,960	1,753	Tidak
B900	0,01427	0,00957	1,960	1,491	Tidak

Tabel 15 Hasil uji statistik perubahan tinggi pengamatan GPS

Titik	du (m)	Std u (m)	t-tabel	t-hitung	Perubahan Tinggi
A100	-0,0078	0,0118	1,960	-0,657234	Tidak
A200	-0,0129	0,01185	1,960	-1,085919	Tidak
A300	-0,0135	0,01185	1,960	-1,142592	Tidak
A400	0,0067	0,00324	1,960	2,052990	Ya
A500	0,0071	0,00335	1,960	2,110083	Ya
A600	0,0063	0,00335	1,960	1,872990	Tidak
B700	0,0059	0,00592	1,960	1,002557	Tidak
B800	-0,0043	0,00592	1,960	-0,72669	Tidak
B900	0,0093	0,00589	1,960	1,574345	Tidak

Dari hasil uji statistik pergeseran pengamatan GPS nilai t-hitung semua titik pantau deformasi lebih kecil nilainya dari t-tabel, sehingga hipotesa nol (H_0) semua titik pantau deformasi diterima, dan secara statistik dikatakan tidak terjadi pergeseran. Sedangkan uji statistik perubahan tinggi pengamatan GPS nilai t-hitung titik A400 dan A500 lebih besar dari nilai t-tabel, sehingga hipotesa nol (H_0) ditolak dan titik A400 dan A500 secara statistik terjadi perubahan tinggi.

IV.2.2. Analisis Perubahan Jarak Titik Pantau Deformasi Pengamatan Total station

Nilai perubahan jarak dari pengamatan *total station* dilakukan uji statistik (uji-t) untuk mengetahui apakah terjadi perubahan jarak yang signifikan, berikut hasil uji statistik pengamatan *total station* ditunjukkan oleh Tabel 16.

Tabel 16 Hasil uji statistik perubahan jarak dengan *total station*

Jarak TS01 ke	Selisih Jarak (mm)	Standar Deviasi (mm)	n	t-tabel	t-hitungan	Pergeseran
A100	0,2393	0,831	5	2,776	0,6438	Tidak
A200	0,7962	0,842	5	2,776	2,1145	Tidak
A300	0,1007	0,3472	5	2,776	0,6485	Tidak
A400	0,0965	0,478	5	2,776	0,4514	Tidak
A500	0,0871	0,7376	5	2,776	0,2639	Tidak
A600	0,6488	0,637	5	2,776	2,2773	Tidak
B700	1,2856	1,2716	5	2,776	2,2607	Tidak
B800	1,7489	1,8283	5	2,776	2,139	Tidak
B900	1,566	1,5196	5	2,776	2,3043	Tidak

Dari hasil uji statistik terhadap perubahan jarak semua titik pantau deformasi nilai t-hitung lebih kecil dari nilai t-tabel, sehingga secara statistik dikatakan tidak terjadi perubahan jarak yang signifikan.

IV.2.3. Analisis Perubahan Tinggi Titik Pantau Deformasi Pengamatan Waterpass

Nilai perubahan tinggi pengamatan *waterpass* dilakukan uji statistik (uji-t) untuk mengetahui apakah terjadi perubahan tinggi yang signifikan, berikut hasil uji statistik pengamatan *waterpass* ditunjukkan oleh Tabel 17.

Tabel 17 Hasil uji statistik perubahan tinggi dengan *waterpass*

Titik	Beda Tinggi (mm)	Standar Deviasi (mm)	t-hitung	t-tabel	Perubahan Tinggi
A100	-0,2953	0,2	1,4767	12,705	Tidak
A200	-0,396	0,7	0,5657	12,705	Tidak
A300	-0,5467	0,1	5,4667	12,705	Tidak
A400	-0,6973	0,7	0,9962	12,705	Tidak
A500	-0,278	0,1	2,78	12,705	Tidak
A600	-0,1487	0,1	1,4867	12,705	Tidak
B700	-1,142	0,1	11,42	12,705	Tidak
B800	-1,6427	0,2	8,2133	12,705	Tidak
B900	-1,7933	0,5	3,5867	12,705	Tidak

Dari hasil uji statistik terhadap perubahan tinggi semua titik pantau deformasi nilai t-hitung lebih kecil dari nilai t-tabel, sehingga secara statistik dikatakan tidak terjadi perubahan tinggi yang signifikan.

V.1.Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan analisis dari penelitian, dapat diambil beberapa kesimpulan akhir sebagai berikut:

1. Cara melakukan pengamatan deformasi bendungan dengan pengamatan GPS, *total station*, dan *waterpass*:
 - a. Pengamatan GPS dilakukan dengan mengamati 9 titik pantau deformasi selama periode pengamatan dengan pengolahan metode jaring yang diikat ke stasiun IGS (COCO, DARW, IISC, PIMO, dan YARR) dan CORS CSEM.
 - b. Pengamatan *total station* dilakukan dengan mengamati perubahan jarak dari titik kontrol TS01 yang terdapat diluar tubuh bendungan terhadap 9 titik pantau deformasi selama periode pengamatan.
 - c. Pengamatan *waterpass* dilakukan dengan mengamati perubahan tinggi titik pantau deformasi selama periode pengamatan terhadap titik kontrol WP01 yang terdapat diluar tubuh bendungan.
2. Kecepatan pergeseran titik pantau deformasi dari hasil pengamatan GPS berkisar antara 0,3 cm/tahun sampai dengan 8,2 cm/tahun untuk sumbu X, 0,8 cm/tahun sampai dengan 11,7 cm/tahun untuk sumbu Y, dan 2,5 cm/tahun sampai dengan 8,1 cm/tahun untuk sumbu Z, pergeseran terbesar terjadi pada titik B800 dan terkecil pada titik B700.
3. Dari hasil pengamatan deformasi bendungan dengan metode pengamatan GPS, *total station*, dan *waterpass* secara nilai terjadi deformasi terhadap titik pantau deformasi selama periode pengamatan, namun berdasarkan hasil uji statistik dengan tingkat kepercayaan 95% menunjukkan tidak terjadi deformasi terhadap semua titik pantau deformasi.

V.2.Saran

Beberapa saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Pengamatan deformasi bendungan dengan metode pengamatan GPS sebaiknya dilakukan dengan *epoch* pengamatan yang lebih banyak secara periodik dengan kurun waktu tertentu, karena penentuan deformasi dengan metode pengamatan GPS mempertimbangkan parameter-parameter yang lebih banyak dan perlu memperhatikan train dan grafik pergeseran.
2. Titik kontrol pengamatan *total station* (TS01) dan *waterpass* (WP01) sebaiknya dilakukan pengamatan GPS terlebih dahulu dan digunakan sebagai titik ikat pengolahan GPS, supaya pendefinisian koordinat hasil pengamatan GPS dan *total station* dari titik ikat yang sama.
3. Pengamatan deformasi bendungan disarankan menggunakan pilar titik pantau dengan *mounting* antena untuk mengeliminir kesalahan *centering* dan pengukuran tinggi.

4. Untuk kualitas hasil pengamatan GPS yang lebih baik disarankan melakukan pengamatan minimal 24 jam (orde 0) dengan tambahan pengamatan data meteorologis.
5. Pengamatan deformasi untuk bendungan yang baru dibangun disarankan dilakukan pengamatan deformasi sebulan sekali untuk tahun pertama, tiga bulan sekali untuk tahun kedua, dan setahun sekali untuk tahun berikutnya.

DAFTAR REFERENSI

- Abidin, H. Z. 2007. *Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya*. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional 1989.SNI.03-1731-1989: Pedoman Keamanan Bendungan.
- Kuang, S. 1996. *Geodetic Network Analysis and Optimal Design: Concept and Application*. Ann Harbour Press, Inc, Chelsea, Michigan.
- Panuntun, H. 2012. *Penentuan posisi anjungan minyak lepas pantai dengan titik ikat gps regional dan global*. Tesis. Teknik Geomatika Kelompok Bidang Geodesi Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Prijatna, K., W. Kuntjoro. 2005. *Materi ajar geodesi geometrik*. Teknik Geodesi & Geomatika, ITB.
- PT. Jasapatria Gunatama. 2008. *Studi dan Detail Desain Waduk Diponegoro*. Presentasi Konsep Laporan Akhir.
- Safi'i, A. N., B. Sudarsono, M. Awaluddin. 2014. *Analisis ketelitian titik kontrol horizontal pada pengukuran deformasi jembatan penggaron menggunakan software gamit 10.5*. Jurnal Geodesi Undip 3 (3): 85-97
- Sidharta, S. K. 1997. *Irigasi dan Bangunan Air*. Gunadarma, Depok.
- Wooden W.H., (1985). *Navstar Global Positioning System*. Proceedings of the first International Symposium on Precise Positioning with Global Positioning System, Rockville, Maryland, April 15-19, vol. 1, pp 23-32.