

**STUDI DEFORMASI WADUK PENDIDIKAN DIPONEGORO  
TAHUN 2017**Raka Angga Prawira, Bambang Darmo Yuwono, Bambang Sudarsono<sup>\*)</sup>Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Soedarto, SH, Tembalang, Semarang Telp.(024)76480785, 76480788  
Email: rap911.raka@gmail.com**ABSTRAK**

Bendungan Waduk Pendidikan Diponegoro berlokasi di kawasan Tembalang, Semarang. Waduk ini mampu menampung genangan air normal sampai 478.240 m<sup>3</sup> dengan luas daerah tangkapan air mencapai 7,1338 Ha. Tahap pertama, pembangunan dimulai awal bulan Maret hingga Desember 2013 dengan dana hibah dari Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Sumber Daya Air sebesar Rp 42 miliar. Pembangunan waduk ini dimaksudkan untuk menjaga keseimbangan ekosistem dan lingkungan, serta pengendali banjir di kawasan sekitar kampus Undip Tembalang. Dalam penelitian ini akan dilakukan pengamatan deformasi terhadap Waduk Pendidikan Diponegoro, dengan metode pengamatan GNSS (*Global Navigation Satellite System*) dilakukan pengamatan terhadap 9 titik pantau deformasi (*bench mark*) yang tersebar di sekitar tubuh bendungan. Data hasil pengamatan GNSS diolah 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 2017 dengan dua kali periode pengamatan. Hasil dari pengamatan GNSS selama periode pengamatan menunjukkan titik pantau deformasi mengalami perubahan koordinat. Berdasarkan pada sistem koordinat kartesian toposentris, nilai perubahan berkisar antara 0,4 mm sampai dengan 45 mm untuk sumbu X, 0,02 mm sampai dengan 10 mm untuk sumbu Y, dan 1,8 mm sampai dengan 91 mm untuk sumbu Z. Perubahan jarak dan tinggi dari hasil pengamatan *total station* dan *waterpass* selama periode pengamatan berkisar antara 0,2 mm sampai dengan 1,7 mm dan 0,2 mm sampai dengan 8,7 mm. Dari hasil pengamatan deformasi bendungan menggunakan metode pengamatan GNSS dan *total station* pada sumbu horizontal terhadap titik pantau deformasi tidak menunjukkan adanya deformasi, sedangkan pada metode pengamatan GNSS dan *waterpass* pada sumbu vertikal terhadap titik pantau deformasi menunjukkan adanya deformasi pada beberapa titik pantau.

**Kata Kunci:** Bendungan, Deformasi, GAMIT, GNSS

**ABSTRACT**

*The dam of Diponegoro Education Dam is located in Tembalang, Semarang. This dam is able to accommodate the normal water puddle up to 478,240 m<sup>3</sup> with the water catchment area reaches 7,1338 Ha. The first phase, construction starts from March to December 2013 with grants from the Ministry of Public Works of the Directorate General of Water Resources amounting to Rp 42 billion. The construction of the reservoir is intended to maintain the balance of ecosystems and environment, as well as flood control in the area around the campus Undip Tembalang. In this research will be observation of the deformation of Pendidikan Diponegoro dam, with observation methods GNSS (*Global Navigation Satellite System*) will be observed of 9 monitoring points deformation (*bench mark*) spread around the body of the dam, the observed data GNSS processed 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 2017, with twice the period of observation. The results of GNSS observations during the observation period showed deformation monitoring points change the coordinate. Based on topocentric cartesian coordinate system, value with ranging from 0.4 mm to 45 mm for the X axis, 0.02 mm to 10 mm for the Y axis, and 1,8 mm to 91 mm for the Z axis. Distance and height changes based on total station and waterpass measurement during the observation period ranging from 0.2 mm to 1.7 mm and 0.2 mm to 8.7 mm. From observation of dam deformation with GNSS observation method and total station on horizontal axis to deformation monitoring point did not show deformation, whereas for GNSS and waterpass observation method on vertical axis to deformation monitoring point showed deformation at some monitoring point.*

**Keywords:** Dam, Deformation, GAMIT, GNSS

<sup>\*)</sup> Penulis, Penanggung Jawab jawab

## I Pendahuluan

### I.1 Latar Belakang

Bendungan Waduk Pendidikan Diponegoro berlokasi di kawasan Tembalang, Semarang, Jawa Tengah. Waduk ini mampu menampung genangan air normal sampai 478.240 m<sup>3</sup> dengan luas daerah tangkapan air mencapai 7,1338 Ha.

Bendungan mempunyai resiko yang tinggi karena mengandung potensi retak bahaya keruntuhan yang dapat mengakibatkan kehilangan jiwa dan kerugian materi yang besar. Seperti diketahui, 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 nantinya akan bereaksi terhadap bendungan dengan gaya sama besar dan berlawanan yang disebut reaksi fondasi. Tekanan yang diterima oleh tubuh bendungan secara terus-menerus menyebabkan terjadinya deformasi (Sidharta, 1997).

Dalam penelitian tugas akhir ini(,) akan dilakukan pengamatan fenomena-fenomena deformasi dan geodinamika buatan manusia terhadap Waduk Pendidikan Diponegoro, dengan metode pengamatan satelit menggunakan *Global Navigation Satellite System* (GNSS akan dilakukan pengamatan terhadap titik tetap (*benchmark*) yang tersebar di sekitar bendungan. Pengamatan ini akan dilakukan secara periodik dalam tiga periode yaitu April, Mei, dan Juni tahun 2017. Selanjutnya akan dilakukan pengolahan data dari hasil pengamatan dengan menggunakan software GAMIT/GLOBK 10.6 untuk mengetahui koordinat dari masing-masing titik tetap setiap akuisisi data, pergeseran masing-masing titik pengamatan, dan arah dari kecepatan pergeseran (*velocity rate*), serta memvisualisasikan vector pergeseran dari masing-masing titik tetap dengan menggunakan *software Generic Mapping Tools* (GMT).

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

untuk tetap dilakukan pengamatan deformasi bendungan secara berkala.

### I.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Berapa nilai perubahan koordinat yang terjadi dalam pengamatan GNSS?
2. Berapa perbandingan nilai perubahan yang terjadi antara pengamatan GNSS dan pengukuran TS pada sumbu horizontal?
3. Berapa perbandingan nilai perubahan yang terjadi antara pengamatan GNSS dan pengukuran WP pada sumbu vertikal?
4. Bagaimana analisis deformasi yang terjadi selama periode April sampai dengan Juni 2017?

### I.3 Maksud dan Tujuan

Maksud dan tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui koordinat dari titik-titik pengamatan pada Waduk Pendidikan Diponegoro
2. Mengetahui nilai deformasi di Waduk Pendidikan Diponegoro dengan metode GNSS, *total station* dan *waterpass*
3. Mengetahui apakah terjadi deformasi pada bendungan Waduk Pendidikan Diponegoro.

### I.4 Ruang Lingkup

Adapun ruang lingkup dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengamatan titik pantau deformasi dilakukan dengan metode GNSS statik selama 4 jam dengan menggunakan *receiver* GNSS *dual frequency*.
2. Pengolahan data pengamatan GNSS menggunakan *scientific software* GAMIT dan GLOBK 10.6.
3. Titik ikat yang digunakan dalam pengolahan adalah CORS BIG di Semarang (CSEM) dan stasiun IGS BAKO, COCO, DARW, PIMO, dan YARR
4. Penelitian ini berfokus pada deformasi bendungan Waduk Pendidikan Diponegoro yang terjadi pada bulan April sampai dengan Juni 2017.

## II Tinjauan Pustaka

### II.1 Bendungan

Bendungan adalah konstruksi bangunan yang dibangun untuk menahan laju air sehingga menjadi waduk, danau, atau tempat rekreasi.

Menurut SNI No. 1731-1989 maka definisi bendungan adalah setiap penahan buatan, jenis urugan atau jenis lainnya yang menampung air atau dapat menampung air baik secara alamiah maupun buatan, termasuk fondasi, bukit/tebing tumpuan, serta bangunan pelengkap dan peralatannya. Seringkali bendungan juga digunakan untuk mengalirkan air ke sebuah Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA). Kebanyakan bendungan juga memiliki bagian yang disebut pintu air untuk membuang air yang tidak diinginkan secara bertahap atau berkelanjutan.

**II.2 GNSS (Global Navigation Satellite System)**

GNSS atau *Global Navigation Satellite 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 GNSS, yang nama aslinya adalah NAVSTAR GPS (*Navigation Satellite Timing and Ranging Global Positioning System*). Satelit ini diluncurkan pertama kali pada tahun 1978 dan secara totalitas sistem dinyatakan operasional tahun 1994. Satelit GNSS yang mengorbit bumi, dengan orbit dan kedudukan yang tetap (koordinat pasti), seluruhnya berjumlah 24 buah dimana 21 buah aktif bekerja dan 3 buah sisanya adalah cadangan (Wooden, 1985).

**II.3 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).

**II.4 IGS (International GNSS Service)**

IGS (*International GNSS Service*) ditetapkan dan diperkenalkan secara formal oleh

IAG (*International Association Of Geodesy*) pada tahun 1993 dan mulai dioperasikan pada 1 Januari 1994 (Edy, 2013). IGS merupakan organisasi dan badan multi nasional yang menyediakan data GNSS, informasi orbit GNSS, dan data pendukung penelitian geodetik dan geofisik lainnya (Yoga, 2011). IGS terbentuk dari jaringan stasiun GNSS permanen global, pusat data dan analisis, kantor pusat, dan pengaturan. Jaringan IGS terdiri dari sekitar 200 stasiun dengan *receivers* GNSS dan *dual-frequency* yang beroperasi secara kontinu. Jaringan IGS permanen digunakan untuk merealisasikan ITRF, dimana semua pengamatan GNSS dapat dihubungkan. Selain itu, IGS juga menyediakan berbagai macam data diantaranya adalah GNSS dari stasiun IGS. Data semuanya digunakan untuk kepentingan penelitian ilmiah dan kebutuhan penggunaan GNSS secara komersial.

**II.5 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 dengan melakukan transformasi koordinat ke sistem koordinat geodetik ( $\phi, \lambda, H$ ) maka koordinat toposentrik dapat kita hitung. Persamaan yang digunakan dalam proses transformasi koordinat kartesian geosentrik ke toposentrik adalah (Kosasih dan Wedyanto, 2005):

$$\begin{pmatrix} nA \\ eA \\ uA \end{pmatrix} = R(\phi_0, \lambda_0) \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix} \dots\dots\dots(1)$$

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

$$R(\phi_0, \lambda_0) = \begin{pmatrix} -\sin\phi_0 \cos\lambda_0 & -\sin\phi_0 \sin\lambda_0 & \cos\phi_0 \\ -\sin\lambda_0 & \cos\lambda_0 & 0 \\ \cos\phi_0 \cos\lambda_0 & \cos\phi_0 \sin\lambda_0 & \sin\phi_0 \end{pmatrix} \dots\dots\dots(3)$$

- Keterangan:  
 nA, eA, uA = koordinat toposentrik titik A  
 $\phi_0, \lambda_0$  = koordinat geodetik titik O (origin sistem koordinat toposentrik)  
 Xo, Yo, Zo = koordinat geosentrik titik O (origin sistem koordinat toposentrik)  
 XA, YA, ZA = koordinat geosentrik titik A

$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$  = 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).

### III Metodologi Penelitian

#### III.1 Tahapan Persiapan

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 GNSS *Dual Frekuensi*
3. Pengamatan GNSS, 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 17.
6. Melakukan proses instalasi *scientific software* GAMIT 10.6 yang akan digunakan untuk pengolahan data pengamatan GNSS 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* GNSS Topcon HIPER GB 2 unit dan *receiver* GNSS Topcon HIPER II 2 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) i5-6200U CPU @2.30GHz*.

Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Sistem Operasi Linux Ubuntu 17.

2. Perangkat lunak GAMIT dan GLOBK versi 10.6.
3. Topcon Link V.7.5 digunakan untuk pengolahan data *total station*.
4. GMT V.5.3.2 (*Generic Mapping Tools*), digunakan untuk *plotting* data hasil.
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 GNSS dan pengecekan kualitas data.
8. Xcode 4, perangkat lunak ini adalah *compiler* GCC.

##### III.2.2 Bahan Penelitian

Bahan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Data pengamatan GNSS dari titik pantau deformasi yang tersebar di sekitar tubuh bendungan selama periode April dan Juni 2017, titik yang digunakan adalah titik A100, A200, A300, A400, A500, A600, B700, B800 dan B900 yang dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1 Pengamatan GNSS periode April 2017

Nama Titik	Doy	Lama Pengamatan	Tinggi alat	Tipe Receiver
A100	97	4 Jam	1,437 M	Topcon Hiper GB
A200	97	4 Jam	1,301 M	Topcon Hiper II
A300	97	4 Jam	1,279 M	Topcon Hiper II
A400	97	4 Jam	1,484 M	Topcon Hiper II
A500	97	4 Jam	1,333 M	Topcon Hiper II
A600	97	4 Jam	1,187 M	Topcon Hiper GB
B700	98	4 Jam	1,052 M	Topcon Hiper GB
B800	98	4 Jam	1,502 M	Topcon Hiper II
B900	98	4 Jam	1,152 M	Topcon Hiper II

Tabel 2 Pengamatan GNSS periode Juni 2017

Nama Titik	Doy	Lama Pengamatan	Tinggi alat	Tipe Receiver
A100	153	4 Jam	1,335 M	Topcon Hiper GB
A200	153	4 Jam	1,741 M	Topcon Hiper II
A300	153	4 Jam	1,503 M	Topcon Hiper II
A400	153	4 Jam	1,108 M	Topcon Hiper GB

A500	154	4 Jam	1,362 M	Topcon Hiper GB
A600	154	4 Jam	1,809 M	Topcon Hiper II
B700	154	4 Jam	1,539 M	Topcon Hiper II
B800	154	4 Jam	1,324 M	Topcon Hiper II
B900	154	4 Jam	1,305 M	Topcon Hiper GB

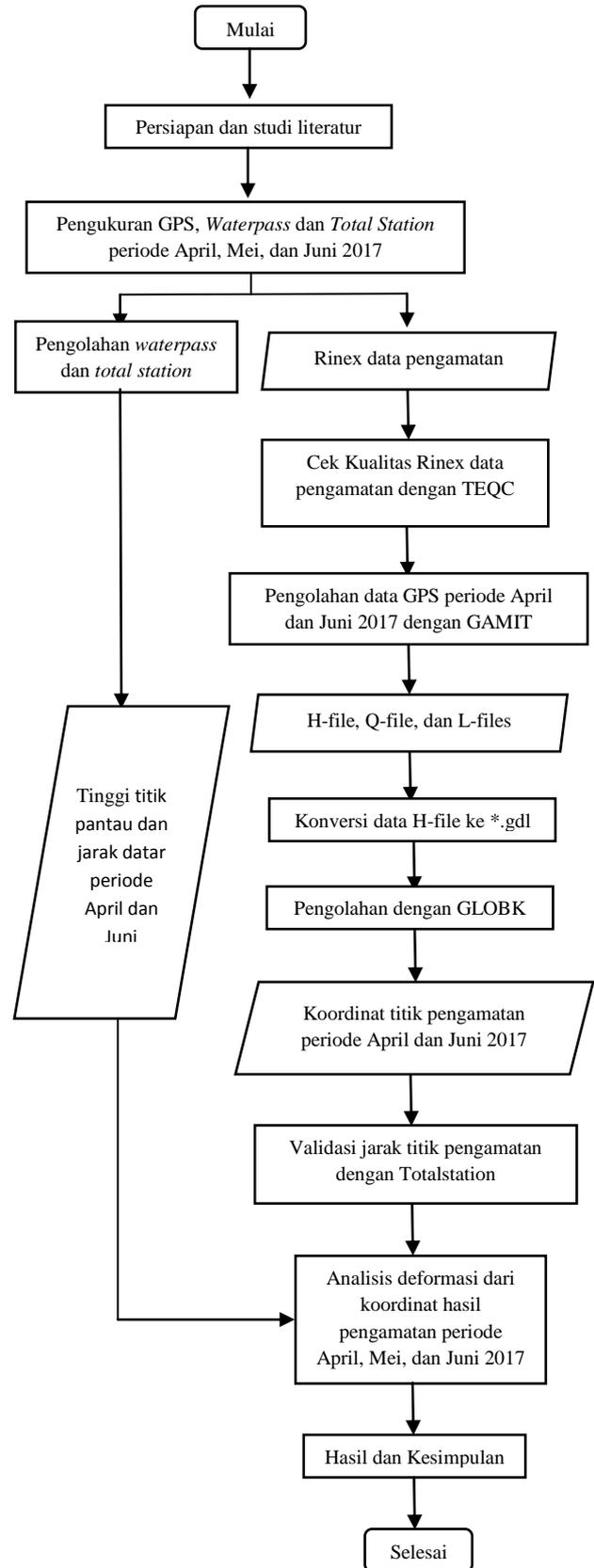
- b. Data pengamatan dari stasiun IGS (*International GNSS Service*) BAKO, COCO, DARW, PIMO dan YARR selama 24 jam pada masing-masing DOY (*Day of Year*) pengamatan dengan interval 30 detik.
- c. Data pengamatan stasiun CORS BIG di Semarang (CSEM) selama 24 jam pada masing-masing DOY pengamatan.
- d. *File Broadcast ephemeris* (*file navigasi satelit*)
- e. *File Precise ephemeris* dengan format sp3.
- f. *H-files* global.

**III.3 Tahapan Pengolahan Data**

Data pengamatan GNSS titik pantau deformasi diolah menggunakan titik ikat stasiun IGS (*International GNSS Service*) BAKO, COCO, DARW, PIMO, YARR dan titik ikat lokal stasiun CORS BIG di Semarang (CSEM) dengan strategi pengolahan metode jaringan yang dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 1 Visualisasi Metode Jaringan  
Sedangkan diagram alir penelitian ini dapat dilihat pada 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 untuk pengolahan metode jaringan. Tahapan pengolahan menggunakan GAMIT adalah sebagai berikut (Panuntun, 2012):

1. **Persiapan Pembuatan Direktori Kerja GAMIT**  
Sebelum melakukan pengolahan dengan menggunakan GAMIT, membuat project olahan dan direktori pendukungnya terlebih dahulu untuk penyimpanan data pengamatan GNSS 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, terlebih dahulu di *link* ke folder projek 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. File yang perlu diupdate diantaranya: pole.usno, ut1.usno, leap.sec, luntab, nutabl, soltab, swnav.dat, svx\_exclude.dat
4. **Automatic batch processing GAMIT**  
Tahapan pengolahan data GNSS 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, dan file-file pendukung yang digunakan untuk pengolahan GLOBK

diantaranya: H-file global, file glorg\_comb.cmd dan globk\_comb.cmd

6. **Pengolahan Menggunakan GLRED dan GLOBK**  
Pengolahan dengan GLOBK menggunakan directory olahan sendiri yang terdapat didalam direktori olahan GAMIT,(.) pengolahan dengan GLOBK terdiri dari dua tahapan yaitu, 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 dari koordinat toposentrik dengan rumus transformasi koordinat Kosasih dan Wedyanto (2005). Koordinat toposentrik merupakan perubahan nilai koordinat selama periode pengamatan.

**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 April 2017

Titik	DOY	MP1 (m)	MP2 (m)	Tipe Receiver
A100	97	0,502	0,458	Topcon Hiper GB
A200	97	0,366	0,381	Topcon Hiper II
A300	97	0,243	0,254	Topcon Hiper II
A400	97	0,235	0,240	Topcon Hiper II
A500	97	0,383	0,398	Topcon Hiper II
A600	97	0,361	0,344	Topcon Hiper GB
B700	98	0,328	0,325	Topcon Hiper GB
B800	98	0,254	0,261	Topcon Hiper II
B900	98	0,384	0,409	Topcon Hiper II

*Tabel 4* Hasil uji kualitas data pengamatan Juni 2017

Titik	DOY	MP1 (m)	MP2 (m)	Tipe Receiver
A100	153	0,414	0,397	Topcon Hiper GB
A200	153	0,266	0,270	Topcon Hiper II
A300	153	0,426	0,427	Topcon Hiper II
A400	153	0,306	0,300	Topcon Hiper GB
A500	154	0,337	0,313	Topcon Hiper GB
A600	154	0,276	0,272	Topcon Hiper II
B700	154	0,466	0,470	Topcon Hiper II

B800	154	0,269	0,262	Topcon Hiper II
B900	154	0,386	0,397	Topcon Hiper GB

Dari hasil pengecekan bias dapat dilihat dari 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 0,3396 m dan 0,3410 m periode April, dan 0,3495 m dan 0,3454 m untuk periode Juni.

**IV.1.2 Hasil Pengolahan GAMIT/GLOBK**

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

Tabel 5 Koordinat kartesian geosentrik April 2017 hasil olahan GAMIT

Titik	Kartesian Geosentrik (m)			Standar Deviasi (mm)		
	X	Y	Z	x	y	z
A100	-2211369,9980	5931608,7543	-777830,3594	10,86	23,98	7,33
A200	-2211376,0828	5931602,4363	-777861,9860	8,70	17,31	5,28
A300	-2211380,6015	5931597,5820	-777887,2908	8,70	18,49	5,64
A400	-2211386,7178	5931590,7516	-777922,1373	6,98	13,41	3,95
A500	-2211392,0047	5931584,6806	-777953,0135	7,70	14,28	3,82
A600	-2211398,0189	5931578,1635	-777985,8792	8,80	18,03	4,86
B700	-2211406,7678	5931573,6121	-777958,2991	8,19	16,60	4,87
B800	-2211399,7888	5931581,7062	-777914,4656	6,90	13,38	4,06
B900	-2211392,8297	5931590,0283	-777868,6293	7,76	14,53	4,04

Tabel 6 Koordinat kartesian geosentrik Juni 2017 hasil olahan GAMIT

Titik	Kartesian Geosentrik (m)			Standar Deviasi (mm)		
	X	Y	Z	x	y	z
A100	-2211370,0196	5931608,7428	-777830,3697	13,45	24,97	8,52
A200	-2211376,0727	5931602,3830	-777861,9740	11,56	21,11	6,59
A300	-2211380,5981	5931597,5299	-777887,2866	11,60	21,30	6,60
A400	-2211386,7600	5931590,7337	-777922,1384	12,83	25,21	7,60
A500	-2211392,0376	5931584,6493	-777953,0168	9,98	20,45	5,71
A600	-2211397,9652	5931578,0899	-777985,8729	9,28	17,72	5,01
B700	-2211406,7067	5931573,5367	-777958,2961	9,16	17,53	4,83
B800	-2211399,8275	5931581,6902	-777914,4626	7,78	17,20	5,05
B900	-2211392,8196	5931589,9881	-777868,6240	6,74	13,48	4,43

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 2017

Titik	Koordinat Geodetik		
	Lintang	Bujur	Tinggi
A100	-7,051668	110,446017	204,2538
A200	-7,051956	110,446089	204,3707
A300	-7,052186	110,446142	204,5299
A400	-7,052503	110,446216	204,5770
A500	-7,052785	110,446280	204,5554
A600	-7,053084	110,446351	204,6156
B700	-7,052838	110,446440	200,0299
B800	-7,052439	110,446355	199,7553
B900	-7,052022	110,446270	199,4539

Tabel 8 Koordinat geodetik Juni 2017

Titik	Koordinat Geodetik		
	Lintang	Bujur	Tinggi
A100	-7,051668	110,446017	204,2518
A200	-7,051956	110,446089	204,3162
A300	-7,052186	110,446142	204,4798
A400	-7,052504	110,446216	204,5751
A500	-7,052785	110,446280	204,5382
A600	-7,053084	110,446351	204,5278
B700	-7,052838	110,446440	199,9383
B800	-7,052439	110,446356	199,7534
B900	-7,052022	110,446270	199,4124

**IV.1.3 Hasil Perhitungan Deformasi Titik Pantau**

Deformasi titik pantau bendungan selama periode pengamatan dapat diketahui dengan mentransformasi koordinat kartesian geosentrik hasil dari olahan GAMIT dan GLOBK ke dalam sistem koordinat kartesian toposentrik (n, e, u) dengan *origin* (pusat sumbu), koordinat periode pengamatan pertama (periode April 2017). 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) maka koordinat toposentrik Juni 2017 dapat ditentukan, dan hasil dari koordinat toposentrik periode Juni 2017 ditunjukkan oleh Tabel 9.

Tabel 9 Pergeseran koordinat April-Juni 2017

Titik	Kartesian Toposentris (m)			Standar Deviasi (mm)		
	dn	de	du	e	n	u
A100	-0,01065	0,02421	-0,00198	13,45	24,97	8,52
A200	0,00539	0,00920	-0,05450	11,56	21,11	6,59
A300	-0,00200	0,01506	-0,05012	11,60	21,30	6,60
A400	-0,00138	0,04577	-0,00192	12,83	25,21	7,60

A500	-0,00544	0,04179	-0,01719	9,98	20,45	5,71
A600	-0,00453	-0,02465	-0,08783	9,28	17,72	5,01
B700	-0,00828	-0,03092	-0,09165	9,16	17,53	4,83
B800	0,00285	0,04184	-0,00189	7,78	17,20	5,05
B900	0,00021	0,00457	-0,04156	6,74	13,48	4,43

**IV.1.4 Hasil Perhitungan Jarak dengan Total station**

Titik pantau deformasi yang digunakan untuk pengamatan GNSS 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, yang nantinya akan mendapatkan hasil jarak per periode pengamatan. Hasil pengamatan jarak datar dengan pengamatan total station ditunjukkan oleh Tabel 10 dan Tabel 11.

Tabel 10 Hasil pengamatan jarak April 2017

Jarak TS01 ke	Jarak (m)	Standar Deviasi (mm)	n
A100	180,883284	1,707765	5
A200	148,492520	0,707104	5
A300	122,924808	2,916358	5
A400	88,334886	0,858945	5
A500	59,181275	2,057411	5
A600	33,758359	0,374400	5
B700	43,846804	2,949606	5
B800	87,801651	1,996614	5
B900	134,470133	0,435274	5

Tabel 11 Hasil pengamatan jarak Juni 2017

Jarak TS01 ke	Jarak (m)	Standar Deviasi (mm)	n
A100	180,881164	0,547381	5
A200	148,493363	0,432778	5
A300	122,923370	0,894305	5
A400	88,333622	0,418601	5
A500	59,182018	0,520889	5
A600	33,765550	0,402864	5
B700	43,844334	0,831925	5
B800	87,800475	0,546781	5
B900	134,459636	0,544008	5

**IV.1.5 Hasil Pengukuran Tinggi dengan Waterpass**

Titik pantau deformasi yang digunakan untuk pengamatan GNSS juga diamati perubahan tingginya dengan menggunakan alat ukur levelling (waterpass). pengukuran akan 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 yaitu WP01 (100 m). Hasil pengukuran tinggi selama periode pengamatan ditunjukkan oleh Tabel 12.

Tabel 12 Hasil pengukuran tinggi dengan waterpass

Titik	April 2017		Juni 2017	
	H (m)	Std (mm)	H (m)	Std (mm)
A100	95,312	0,6	95,3119	0,1
A200	95,437	0,2	95,4358	0,1
A300	95,603	0,8	95,5972	0,6
A400	95,676	2,1	95,6729	0,8
A500	95,65	1,3	95,644	0,6
A600	95,665	1,3	95,6643	0,6
B700	91,083	1,2	91,0764	0,9
B800	90,849	1,3	90,8404	0,8
B900	90,559	1,4	90,5509	1

**IV.2 Analisis dan Pembahasan**

**IV.2.1 Analisis Pergeseran Titik Pantau Deformasi Pengamatan GNSS**

Hasil pengolahan titik pantau deformasi dari pengamatan GNSS, total station dan waterpass menunjukkan terjadinya deformasi berdasarkan nilai perubahan koordinat, jarak dan tinggi terhadap semua titik pantau, serta nilai dan arah pergeseran dari setiap titik bervariasi. Untuk melihat 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. Apabila Hipotesa nol ( $H_0$ ) diterima maka 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 GNSS ditunjukkan oleh Tabel 13 dan Tabel 14.

Tabel 13 Hasil uji statistik pergeseran pengamatan GNSS

Titik	P (m)	std P (m)	T-tabel	T-hitungan	Pergeseran
A100	0,02644	0,02836	1,960	0,933	Tidak
A200	0,01066	0,02406	1,960	0,443	Tidak
A300	0,01519	0,02425	1,960	0,626	Tidak
A400	0,04578	0,02828	1,960	1,619	Tidak
A500	0,04213	0,02275	1,960	1,852	Tidak
A600	0,02506	0,02000	1,960	1,253	Tidak
B700	0,03200	0,01977	1,960	1,618	Tidak
B800	0,04193	0,01887	1,960	1,221	Tidak
B900	0,00457	0,01507	1,960	0,303	Tidak

Tabel 14 Hasil uji statistik perubahan tinggi pengamatan GNSS

Titik	dU (m)	sd dU (m)	T-tabel	T-hitungan	Perubahan tinggi
A100	-0,00198	0,00852	1,960	-0,232	Tidak
A200	-0,0545	0,00659	1,960	-8,269	Ya
A300	-0,05012	0,0066	1,960	-7,594	Ya
A400	-0,00192	0,0076	1,960	-0,252	Tidak
A500	-0,01719	0,00571	1,960	-3,011	Ya
A600	-0,08783	0,00501	1,960	-17,530	Ya
B700	-0,09165	0,00483	1,960	-18,976	Ya
B800	-0,00189	0,00505	1,960	-0,373	Tidak
B900	-0,04156	0,00443	1,960	-9,382	Ya

Dari hasil uji signifikansi perubahan tinggi titik pantau deformasi pengamatan GNSS terdapat 3 titik yang tidak mengalami perubahan tinggi secara signifikan, yaitu titik pantau A100, A400 dan B800 dengan perubahan kenaikan sebesar 0,2 mm. Secara keseluruhan nilai perubahan tinggi dari titik pantau deformasi berkisar antara 0,2 mm sampai dengan 91 mm selama periode pengamatan.

**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 15.

Tabel 15 Hasil uji statistik perubahan jarak dengan total station

Titik	Selisih Jarak (mm)	Std (mm)	n	T Tabel	T Hitungan	Pergeseran
A100	1,213	3,207	5	2,776	0,846	Tidak
A200	0,600	0,548	5	2,776	2,449	Tidak
A300	1,154	2,530	5	2,776	1,019	Tidak
A400	0,594	0,543	5	2,776	2,448	Tidak
A500	0,221	0,931	5	2,776	0,532	Tidak

A600	0,248	1,246	5	2,776	0,444	Tidak
B700	1,016	3,921	5	2,776	0,579	Tidak
B800	1,797	2,383	5	2,776	1,686	Tidak
B900	0,476	0,544	5	2,776	1,956	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 16.

Tabel 16 Hasil uji statistik perubahan tinggi dengan waterpass

Titik	Beda Tinggi (mm)	Std (mm)	T Hitung	T Tabel	Perubahan Tinggi
A100	-0,25	0,1	-2,5385	12,705	Tidak
A200	-0,96	0,1	-9,6154	12,705	Tidak
A300	-5,87	0,4	-12,6731	12,705	Tidak
A400	-3,43	0,8	-4,2837	12,705	Tidak
A500	-6,13	0,6	10,2244	12,705	Tidak
A600	-0,54	0,6	0,9038	12,705	Tidak
B700	-6,17	0,9	-6,8590	12,705	Tidak
B800	-8,78	0,8	-10,9760	12,705	Tidak
B900	-8,29	1	8,2885	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 Kesimpulan dan Saran**

**V.1 Kesimpulan**

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

1. Nilai perubahan koordinat yang terjadi dalam pengamatan GNSS selama periode pengamatan adalah sebagai berikut:

Tabel 17 Pergeseran koordinat periode April-Juni 2017 hasil olahan GAMIT

Titik	Kartesian Toposentris (m)			Standar Deviasi (mm)		
	dn	de	du	e	n	u
A100	-0,01065	0,02421	-0,00198	13,45	24,97	8,52
A200	0,00539	0,00920	-0,05450	11,56	21,11	6,59
A300	-0,00200	0,01506	-0,05012	11,60	21,30	6,60
A400	-0,00138	0,04577	-0,00192	12,83	25,21	7,60
A500	-0,00544	0,04179	-0,01719	9,98	20,45	5,71
A600	-0,00453	-0,02465	-0,08783	9,28	17,72	5,01
B700	-0,00828	-0,03092	-0,09165	9,16	17,53	4,83
B800	0,00285	0,04184	-0,00189	7,78	17,20	5,05
B900	0,00021	0,00457	-0,04156	6,74	13,48	4,43

- Perbandingan nilai perubahan yang terjadi antara pengamatan GNSS dan pengukuran TS pada sumbu horizontal adalah sebagai berikut:

Tabel 18 Perbandingan arah pergeseran pengamatan total station dan GNSS

Titik	GNSS		Total Station	
	n	e	n	e
A100	-0,01065	0,02421	0,003	-0,001
A200	0,00539	0,00920	0,003	-0,001
A300	-0,00200	0,01506	0,004	-0,001
A400	-0,00138	0,04577	0,003	-0,001
A500	-0,00544	0,04179	0,002	-0,001
A600	-0,00453	-0,02465	0,003	-0,001
B700	-0,00828	-0,03092	0,003	-0,001
B800	0,00285	0,04184	0,003	-0,001
B900	0,00021	0,00457	0,002	-0,001

- Perbandingan nilai perubahan yang terjadi antara pengamatan GNSS dan pengukuran WP pada sumbu vertikal adalah sebagai berikut:

Tabel 19 Perubahan tinggi selama periode pengamatan

Titik	GNSS	Waterpass
	delta H (cm)	delta H (cm)
A100	-0,198	-0,031
A200	-5,449	-0,102
A300	-5,013	-0,594
A400	-0,193	-0,340
A500	-1,720	-0,612
A600	-8,783	-0,053
B700	-9,165	-0,620
B800	-0,189	-0,881
B900	-4,156	-0,833

- Dari hasil pengamatan deformasi bendungan dengan metode pengamatan

GNSS dan *total station* pada sumbu horizontal terhadap titik pantau deformasi tidak menunjukkan adanya deformasi, sedangkan untuk metode pengamatan GNSS dan *waterpass* pada sumbu vertikal terhadap titik pantau deformasi menunjukkan adanya deformasi pada beberapa titik pantau.

## V.2 Saran

Beberapa saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah:

- Pengamatan deformasi bendungan dengan metode pengamatan GNSS sebaiknya dilakukan dengan *epoch* pengamatan yang lebih banyak secara periodik dengan kurun waktu tertentu, karena penentuan deformasi dengan metode pengamatan GNSS mempertimbangkan parameter-parameter yang lebih banyak dan perlu memperhatikan *train* dan grafik pergeseran.
- Titik kontrol pengamatan *total station* (TS01) dan *waterpass* (WP01) sebaiknya dilakukan pengamatan GNSS terlebih dahulu dan digunakan sebagai titik ikat pengolahan GNSS, supaya pendefinisian koordinat hasil pengamatan GNSS dan *total station* dari titik ikat yang sama.
- Pengamatan deformasi bendungan disarankan menggunakan pilar titik pantau dengan *mounting* antena untuk mengeliminir kesalahan *centering* dan pengukuran tinggi antena.
- Untuk kualitas hasil pengamatan GNSS yang lebih baik disarankan melakukan pengamatan minimal 24 jam (orde 0) dengan tambahan pengamatan data meteorologis.
- 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 Ueniversitas 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.
- Yuwono, Bambang Darmo, Moehammad Awaluddin, M. A. Yusuf, dan Rizki Fadillah. 2017. "Geodetic Deformation Monitoring at Pendidikan Diponegoro Dam," 040001, 2017. <https://doi.org/10.1063/1.4987065>.
- Yuwono, B. D., M. Awaluddin, F H Kun, dan E R Lutfi. 2017. "Evaluation of Base Station CORS UDIP and CSEM for Monitoring Ground Deformation Sayung Demak Indonesia." *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 98.