

**STUDI DEFORMASI WADUK PENDIDIKAN DIPONEGORO
TAHUN 2019**Wili Setiadi^{*)}, Bandi Sasmito, Fauzi Janu AmarrohmanDepartemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang Telp.(024)76480785, 76480788
Email : wilisetiadi10@gmail.com**ABSTRAK**

Bendungan merupakan sebuah konstruksi multifungsi yang dibangun untuk menahan laju air yang memiliki peranan penting bagi kehidupan manusia. Waduk Pendidikan Diponegoro merupakan salah satu waduk yang berlokasi di kawasan Tembalang, Semarang. Waduk ini mampu menampung genangan air normal sampai 478,240 m³ dengan luas daerah tangkapan air mencapai 7,1338 Ha dengan panjang sungai 7,52 km dan tinggi tubuh bendungan 22 m. Pembangunan waduk ini dimaksudkan untuk menjaga keseimbangan ekosistem dan lingkungan, pengendali banjir di kawasan sekitar kampus Undip Tembalang, meningkatkan kapasitas resapan air tanah sebagai usaha konservasi dan tempat rekreasi. Setiap bangunan yang terus-menerus mendapatkan tekanan maka berpotensi untuk mengalami perubahan, baik posisi, dimensi ataupun bentuk. Maka dari itu, penelitian ini melakukan pengamatan deformasi terhadap Waduk Pendidikan Diponegoro dengan metode pengamatan satelit menggunakan GNSS. Pengamatan dilakukan terhadap 9 titik pantau deformasi yang tersebar di sekitar tubuh bendungan. Pengamatan deformasi dilakukan dari bulan Mei sampai dengan Juli 2019. Data hasil pengamatan tersebut selanjutnya diolah dengan menggunakan *scientific software* GAMIT 10.7 untuk mengetahui koordinat dari masing-masing titik tetap dan pergeseran masing-masing titik pengamatan. Pengamatan jarak, beda tinggi dan koordinat juga akan dilakukan pada titik pengamatan menggunakan *total station* dengan metode repetisi dan *waterpass* dengan pengolahan *least square*. Dari pengamatan deformasi yang telah dilakukan, didapat hasil berupa perubahan koordinat berdasar pada sistem koordinat toposentrik. Nilai perubahan koordinat memiliki nilai antara 0,5 mm sampai dengan 15 mm pada sumbu X, 0,3 mm sampai dengan 20 mm pada sumbu Y dan 1,5 mm sampai dengan 55 mm pada sumbu Z. Berdasarkan hasil uji statistik yang telah dilakukan, tidak terjadi perubahan nilai koordinat, jarak maupun beda tinggi pada pengukuran yang telah dilakukan.

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

Dam is a multifunction construction which is built to resist the waters flow that has many important purpose for human race. The Diponegoro Dam is one of the reservoir that's located in Tembalang, Semarang. This dam can accommodate the water up to 478.240 m³, with the water catchment area reaches 7.1338 Ha, with the river's length up to 7.52 km and the height of dam is 22 m. This dam's project is intended to keep the ecosystem and environment balance. The other function are as the flood control around the Undip, Tembalang, to increase the absorbtion capacity of water and as well as the recreation area. Every building that has pressure continuously on it, will cause changes like position, dimension or shape. Therefore, this research spescifiqally observes deformation on Diponegoro Dam with the GNSS method. This project observes on 9 monitoring points around the dam. The research is done from May until July 2019. The result data of the 9 monitoring points will be processed by GAMIT 10.7 scientific software, to show the coordinate and the movement of the monitoring points. The distance, height and coordinate of the monitoring points are also observed by total station with the repetition method and waterpass with the least square processing. From this research, we can conclude that the movement of the monitoring points is based on the topocentric coordinate system. The values of the movement are around 0.5 mm until 15 mm for the X axis, 0.3 mm until 20 mm for the Y axis and 1.5 mm until 55 mm for the Z axis. According to the statistic accuracy test, the coordinate, distance and height on the monitoring points are not move from the observation that has been done.

Keywords : Dam, Deformation, GAMIT, GNSS

*)Penulis Utama, Penanggung Jawab

I. Pendahuluan

I.1 Latar Belakang

Menurut Peraturan Menteri Nomor 72/PRT/1997, bendungan adalah setiap bangunan penahan air buatan, jenis urugan atau jenis lainnya yang menampung air atau dapat menampung air, termasuk pondasi, bukit/tebing tumpuan, serta bangunan pelengkap dan peralatannya, termasuk juga bendungan limbah galian, tetapi tidak termasuk bendung dan tanggul. Fungsi dari suatu bendungan adalah untuk menyimpan air dalam jumlah besar dan berfungsi untuk keperluan industri, irigasi, air minum, atau yang lainnya.

Waduk Pendidikan Diponegoro berlokasi di kawasan Tembalang, Semarang. Waduk ini mampu menampung genangan air normal sampai 478,240 m³ dengan luas daerah tangkapan air mencapai 7,1338 Ha 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). 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. Waduk Pendidikan Diponegoro dibangun agar memiliki fungsi untuk menjaga keseimbangan ekosistem dan lingkungan, menjaga kawasan sekitar kampus UNDIP Tembalang agar terhindar dari bencana banjir, meningkatkan kapasitas resapan air tanah sebagai usaha konservasi dan tempat rekreasi.

Dalam penelitian tugas akhir ini dilakukan pengamatan fenomena-fenomena deformasi dan geodinamika terhadap Waduk Pendidikan Diponegoro. Metode pengamatan satelit yang dimaksudkan adalah menggunakan *Global Navigation Satellite System* (GNSS) yang dilakukan pengamatan terhadap 9 titik pantau deformasi yang terletak di sekitar bendungan. Hal ini bertujuan agar Waduk Pendidikan Diponegoro dapat terus dilakukan *monitoring* dan diketahui pergerakannya, agar Waduk Pendidikan Diponegoro dapat terus menjadi sarana pengatur air di sekitar wilayah kampus UNDIP Tembalang.

Penelitian ini dilakukan secara periodik pada bulan Mei sampai dengan Juli 2019. Selanjutnya data hasil pengamatan GNSS tersebut dilakukan pengolahan dengan menggunakan *software* GAMIT/GLOBK 10.7 untuk mengetahui koordinat dari masing-masing titik. Penelitian ini juga melakukan pengamatan jarak, koordinat dan beda tinggi yang dilakukan pada titik-titik pengamatan menggunakan *total station* dan *waterpass*. Pengamatan menggunakan *total station* dilakukan dengan metode repetisi dan pengolahan hasil pengamatan beda tinggi dengan *waterpass* menggunakan metode *least square*.

I.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah :

1. Bagaimana nilai perubahan koordinat yang terjadi dalam pengamatan GNSS pada Waduk Pendidikan Diponegoro periode Mei sampai dengan Juli 2019?
2. Berapa perbandingan nilai perubahan yang terjadi antara pengamatan GNSS dan pengukuran *total*

station (TS) pada sumbu horizontal selama periode Mei sampai dengan Juli 2019?

3. Berapa perbandingan nilai perubahan yang terjadi antara pengamatan GNSS dan pengukuran *waterpass* (WP) pada sumbu vertikal selama periode Mei sampai dengan Juli 2019?
4. Bagaimana analisis deformasi yang terjadi selama periode Mei sampai dengan Juli 2019?

I.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui nilai perubahan koordinat yang terjadi dalam pengamatan GNSS pada Waduk Pendidikan Diponegoro periode Mei sampai dengan Juli 2019.
2. Mengetahui perbandingan nilai perubahan yang terjadi antara pengamatan GNSS dan pengukuran *total station* (TS) pada sumbu horizontal selama periode Mei sampai dengan Juli 2019.
3. Mengetahui perbandingan nilai perubahan yang terjadi antara pengamatan GNSS dan pengukuran *waterpass* (WP) pada sumbu vertikal selama periode Mei sampai dengan Juli 2019.
4. Mengetahui analisis deformasi yang terjadi selama periode Mei sampai dengan Juli 2019.

I.4 Batasan Masalah

Untuk mencegah pembahasan yang terlalu melebar maka penelitian ini memiliki batasan-batasan sebagai berikut :

1. Pengamatan deformasi dilakukan pada 9 titik pantau di Waduk Pendidikan Diponegoro pada periode Mei sampai dengan Juli 2019.
2. Metode pengamatan deformasi dilakukan menggunakan metode statik dengan *receiver GNSS dual frequency*.
3. Pengolahan data pengamatan GNSS menggunakan aplikasi GAMIT/GLOBK 10.7.
4. Titik ikat yang digunakan dalam pengolahan adalah CORS BIG di Semarang (CSEM) sebagai referensi lokal dan stasiun IGS global BAKO, COCO, CUSV, DARW, HYDE, PIMO, XMIS dan YARR.
5. Pengamatan jarak, beda tinggi dan koordinat juga dilakukan pada titik pengamatan menggunakan *total station* dengan metode repetisi dan *waterpass* dengan pengolahan *least square*.

II. Tinjauan Pustaka

II.1 Bendungan

Bendungan adalah bangunan yang berupa urukan tanah, urukan batu, beton, dan atau pasangan batu yang dibangun selain untuk menahan dan menampung air (Peraturan Pemerintah Nomor 37 Pasal 1 Tahun 2010). Selain itu, bendungan terbentuk dari tumpukan lumpur maupun tumpukan limbah tambang.

Definisi lain dari bendungan adalah setiap bangunan penahan air buatan, bukit/tebing tumpuan, jenis urugan atau jenis lainnya yang menampung air atau dapat menampung air, termasuk pondasi, serta bangunan pelengkap dan peralatannya, termasuk juga bendungan limbah galian, tetapi tidak termasuk bendung dan tanggul (Peraturan Menteri Nomor 72/PRT/1997).

Bendungan berfungsi sebagai tempat menampung air dan menyimpannya pada musim hujan pada saat air yang mengalir memasuki waduk pada kuantitas yang besar besar dan berlebihan dan juga berfungsi untuk keperluan irigasi, air minum, industri atau yang lainnya. Dengan memiliki kapasitas yang besar, sejumlah besar air 7 sungai yang berlimpah dan bisa menyimpan air dalam waduk dan dialirkan ke berbagai arah sesuai dengan kebutuhan pada saat diperlukan. Bahan bangunan urugan tanah campur batu berukuran kecil sampai besar atau dari beton merupakan komponen dasar pembuatan bendungan.

Air aliran sungai yang mengalir memasuki waduk lebih besar daripada air yang keluar dari waduk dan menyebabkan isi waduk semakin penuh dan melebihi limit tampungannya, akan menyebabkan air dalam waduk akan meluap dan permukaan air dalam waduk tersebut akan naik secara terus menerus. Pemilihan kondisi topografi yang terbaik sangatlah penting untuk mencegah terjadinya buangan air pada sebuah bendungan.

Bagian-bagian bendungan terdiri dari beberapa komponen, yaitu badan bendungan (*body of dams*), pondasi (*foundation*), pintu air (*gates*), bangunan pelimpah (*spill way*), kanal (*canal*), reservoir, *stilling basin*, katup (kelep, *valves*) dan *drainage gallery* (Komar, 2012).

II.2 Global Navigation Satellite System (GNSS)

GNSS (*Global Navigation Satellite System*) memiliki pengertian yaitu suatu sistem satelit yang terdiri dari berbagai macam komponen satelit yang menyediakan informasi waktu dan lokasi, memancarkan berbagai sinyal dalam bermacam-macam frekuensi secara kontinu, dimana data tersebut tersedia pada seluruh lokasi di permukaan bumi. GNSS memiliki peran penting dalam bidang navigasi. Terdapat beberapa GNSS yang ada saat ini seperti *Global Positioning System* (GPS) milik Amerika Serikat, *Global Navigation Satellite System* (GLONASS) milik Rusia, Galileo milik Uni Eropa, dan Compass/Beidou milik China (UNOOSA, 2011)

Menurut Abidin (1995) terdapat tiga segmen dalam sistem GNSS yaitu segmen sistem kontrol, segmen satelit, dan segmen pengguna. Satelit GNSS dapat diasumsikan sebagai stasiun radio angkasa, yang memiliki perlengkapan seperti antena-antena yang berfungsi sebagai pengirim dan penerima sinyal-sinyal gelombang. Sinyal-sinyal tersebut kemudian diterima oleh *receiver* GNSS di permukaan bumi, dan akan berguna untuk penentuan informasi posisi, kecepatan, maupun waktu. Pada umumnya segmen sistem kontrol berfungsi mengontrol dan memantau operasional satelit dan memastikan bahwa satelit berfungsi normal. Pengguna satelit GNSS merupakan segmen pengguna di manapun lokasinya. Alat penerima sinyal GNSS (GPS *receiver*) digunakan dalam penentuan posisi, kecepatan dan waktu dan diperlukan untuk menerima dan memproses sinyal-sinyal dari satelit GNSS. Pada umumnya, bagian-bagian utama dari suatu *receiver* GNSS adalah antena dengan *pre-amplifier*, bagian RF dengan pengidentifikasi sinyal dan pemroses sinyal,

pemroses mikro untuk pengontrolan *receiver*, data sampling dan pemroses data (solusi navigasi), osilator presisi, catu daya, unit perintah dan tampilan, serta memori serta perekam data.

II.3 Deformasi

Deformasi adalah perubahan bentuk, posisi, dan dimensi dari suatu benda (Kuang, 1996). Melalui pengertian tersebut, deformasi mampu didefinisikan sebagai perubahan kedudukan atau pergerakan suatu titik pada suatu benda secara absolut maupun relatif. Pengertian titik tersebut berubah secara absolut jika mengacu pada gerakan titik itu sendiri dan berubah secara relatif jika mengacu pada gerakan dari titik lain. Kedua acuan gerakan ini biasanya berpaku pada suatu sistem kerangka referensi.

Suatu bangunan atau tempat dapat diketahui deformasinya atau perubahannya melalui suatu cara, yaitu survei deformasi dan geodinamika. Survei deformasi dan geodinamika sendiri adalah survei geodetik yang dilakukan untuk mempelajari fenomena-fenomena deformasi dan geodinamika. Fenomena alam dan fenomena manusia merupakan 2 fenomena yang terjadi pada deformasi. Fenomena alam memiliki contoh seperti pergerakan lempeng tektonik, aktivitas gunung api, dan lain-lain. Adapun fenomena manusia seperti bangunan, jembatan, bendungan, permukaan tanah, dan sebagainya.

II.4 International GNSS Service (IGS)

Menurut Edy (2013) 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. IGS menyediakan data GNSS yang berupa orbit, *tracking* data dan produk GNSS berkualitas dalam waktu yang hampir *real time*. Pada saat ini IGS mencakup dua jenis GNSS yaitu GNSS (*Global Positioning System*) dan GLONASS (*Global Navigation Satellite System*). Komponen pembentuk IGS terdiri dari jaringan stasiun GNSS permanen global, pusat data dan analisis, kantor pusat dan pengaturan. Jaringan IGS memiliki jaringan lebih dari 200 stasiun menggunakan *receiver* GNSS dan *dual-frequency* yang beroperasi secara terus menerus.

II.5 Transformasi Koordinat Geosentrik ke Toposentrik

Koordinat kartesian geosentrik (X, Y, Z) didapat dari hasil pengolahan menggunakan *software* GAMIT/GLOBK. Koordinat geosentrik merupakan sistem koordinat yang memiliki pusat sumbu pada pusat bumi. Koordinat toposentrik (n, e, u), yang memiliki pusat sumbu pada permukaan bumi, didapat dengan melakukan transformasi koordinat dari koordinat kartesian geosentrik hasil pengolahan GAMIT/GLOBK. Koordinat periode pengamatan pertama, dalam penelitian ini periode Mei 2019, merupakan pusat sumbu sistem atau *origin* pada koordinat toposentrik yang digunakan pada penelitian ini, dengan terlebih dahulu melakukan transformasi koordinat ke sistem koordinat geodetik (ϕ, λ). Menurut Kosasih dan Wedyanto (2005), persamaan pada proses transformasi koordinat kartesian

geosentrik ke toposentrik adalah (Kosasih dan Wedyanto, 2005):

$$\begin{pmatrix} nA \\ eA \\ uA \end{pmatrix} = R(\varphi_o, \lambda_o) \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} XA - Xo \\ YA - Yo \\ ZA - Zo \end{pmatrix} \dots\dots\dots(1)$$

$$R(\varphi_o, \lambda_o) = \begin{pmatrix} -\sin\varphi_o \cos\lambda_o & -\sin\varphi_o \sin\lambda_o & \cos\varphi_o \\ -\sin\lambda_o & \cos\lambda_o & 0 \\ \cos\varphi_o \cos\lambda_o & \cos\varphi_o \sin\lambda_o & \sin\varphi_o \end{pmatrix} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

- nA, eA, uA = koordinat toposentrik titik A
- φo, λo = 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
- ΔX, ΔY, ΔZ = selisih antara koordinat kartesian geosentrik titik A dan titik O
- R = matrik rotasi

III. Metodologi Penelitian

III.1 Persiapan Penelitian

Pada tahap ini, secara garis besar yang pertama dilakukan adalah studi literatur. Studi literatur dilakukan dengan mencari dan mengumpulkan materi dalam bentuk buku, jurnal ilmiah, skripsi, maupun materi dari internet yang berkaitan dengan penelitian ini. Persiapan selanjutnya yang dilakukan adalah mempersiapkan rencana jadwal pengukuran terhadap titik pantau Waduk Pendidikan Diponegoro menggunakan receiver GNSS *dual frequency*. Kemudian juga melakukan survei pendahuluan terhadap 9 titik pantau deformasi dan terdapat 2 titik bantu TS01 dan WP01 yang berada di sekitar Waduk Pendidikan Diponegoro yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Persebaran Titik Pantau Deformasi Waduk Pendidikan Diponegoro

Pengadaan data-data pendukung lainnya seperti data titik ikat pengolahan CORS BIG Semarang (CSEM), data pengamatan stasiun IGS global BAKO, COCO, CUSV, DARW, HYDE, PIMO, XMIS dan YARR sesuai dengan jadwal pengamatan GNSS juga dibutuhkan dalam penelitian ini. Mempersiapkan sistem operasi LINUX Ubuntu 17 dan *scientific software* GAMIT 10.7 juga sangat diperlukan dalam tahap persiapan ini.

III.2 Alat dan Bahan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

III.2.1 Peralatan Penelitian

Penelitian ini memerlukan beberapa peralatan berupa perangkat keras dan perangkat lunak. Berikut merupakan perangkat keras yang dibutuhkan untuk melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. *Receiver GNSS dual frequency* untuk pengamatan 9 titik pantau deformasi.
2. *Total station* Topcon GTS-1000 series untuk mendapatkan data jarak, sudut dan koordinat dari 9 titik pantau deformasi.
3. *Waterpass* digital Geomax ZDL 700 untuk mendapatkan data tinggi dari 9 titik pantau deformasi.
4. Barometer dan termometer untuk pengukuran tekanan dan suhu udara pada lokasi penelitian untuk pengukuran total station.
5. Laptop untuk mengolah data hasil pengamatan dan membuat laporan penelitian.

Perangkat lunak yang dibutuhkan untuk melakukan penelitian ini adalah:

1. Sistem operasi Windows 10 dan Linux Ubuntu 17.
2. GAMIT/GLOBK versi 10.7, digunakan untuk pengolahan data *multi-epoch* GPS. Terdapat 2 *software* pendukung dalam GAMIT/GLOBK, antara lain:
 - a. NETCDF (*Network Common Data Form*), perangkat lunak ini adalah *dependencies* yang harus dipenuhi bila menginstal perangkat lunak GMT.
 - b. Gfortran, perangkat lunak (*software*) yang digunakan sebagai *compiler* untuk bahasa fortran pada perangkat lunak GAMIT yang diperlukan pada saat melakukan instalasi.
3. TEQC, digunakan untuk *Translating, Editing (metadata extraction, formatting, windowing, splicing)* dan *Quality Checking* data RINEX.
4. Topcon Tools V.8.2.3, untuk pengolahan data GNSS.
5. Microsoft Excel 2016, digunakan untuk proses pengolahan data hitungan.
6. Microsoft Word 2016, digunakan untuk melakukan penulisan hasil penelitian.

III.2.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Data pengamatan GNSS dari titik pantau deformasi yang tersebar di sekitar tubuh bendungan selama periode Mei dan Juli 2019. Titik yang digunakan adalah titik A1, A2, A3, A4, A5, A6, B7, B8 dan B9. Pengamatan GNSS periode Mei dan Juli dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1 Pengamatan GNSS Periode Mei

Nama Titik	Doy	Lama Pengamatan	Tinggi Alat	Tipe Receiver
A1	131	6 Jam	1,904 m	Topcon Hiper II
A2	130	6 Jam	1,410 m	Topcon Hiper II
A3	130	6 Jam	1,373 m	Topcon Hiper II
A4	130	6 Jam	1,015 m	Topcon Hiper GB
A5	129	6 Jam	1,164 m	Topcon Hiper II
A6	129	6 Jam	1,410 m	Topcon Hiper II
B7	131	6 Jam	1,122 m	Topcon Hiper GB
B8	131	6 Jam	1,049 m	Topcon Hiper GB
B9	131	6 Jam	1,451 m	Topcon Hiper II

Tabel 2 Pengamatan GNSS Periode Juli

Nama Titik	Doy	Lama Pengamatan	Tinggi Alat	Tipe Receiver
A1	208	6 Jam	1,904 m	Topcon Hiper GB
A2	208	6 Jam	1,410 m	Topcon Hiper II
A3	208	6 Jam	1,373 m	Topcon Hiper II
A4	207	6 Jam	1,015 m	Topcon Hiper II
A5	207	6 Jam	1,164 m	Topcon Hiper GB
A6	205	6 Jam	1,410 m	Topcon Hiper II
B7	207	6 Jam	1,122 m	Topcon Hiper II
B8	207	6 Jam	1,049 m	Topcon Hiper GB
B9	208	6 Jam	1,451 m	Topcon Hiper GB

2. Data pengamatan stasiun CORS BIG di Semarang (CSEM) selama 24 jam pada masing-masing DOY pengamatan. Data pengamatan didapat dari pengadaan data dari Badan Informasi Geospasial (BIG).
3. Data pengamatan dari stasiun IGS (*International GNSS Service*) BAKO, COCO, CUSV, DARW, HYDE, PIMO, XMIS dan YARR selama 24 jam pada masing-masing DOY pengamatan dengan interval pengamatan 30 detik. Data pengamatan tersebut dapat diunduh melalui *website* <http://garner.ucsd.edu/pub/rinex>.
4. File *broadcast ephemeris* (file navigasi satelit) yang didapat dari *website* <http://cddis.gsfc.nasa.gov/gnss/data/daily> dengan format `brdc<doy>.yyn`. Data tersebut diunduh berdasarkan DOY dan tahun pengamatan. Contoh untuk data DOY 129 tahun 2019 adalah file dengan nama `brdc1290.19n`.
5. File *precise ephemeris* dengan format `sp3` dari situs <http://cddis.gsfc.nasa.gov/gnss/products> dengan format `igs<gpsweek> <dayofweek>.sp3`. Data tersebut diunduh berdasarkan *gps week* yang dapat dilihat pada <https://www.ngs.noaa.gov/CORS/Gpscal.shtml>. Untuk *day of week* menggunakan aturan jika minggu=0, senin=1, selasa=2, rabu=3, kamis=4, jumat=5 dan sabtu=6. Contoh untuk data pengamatan DOY 129 yang memiliki *gps week* 2052 di hari kamis adalah file dengan nama `igs20524.sp3`.
6. *H-files* global dengan format `higs1a.<yy><doy>2a, 3a, 4a, 5a, 6a, dan 7a` diunduh dari situs <ftp://garner.ucsd.edu/pub/hfiles>. Berikut contoh *h-files* global untuk *doy* pengamatan 97 tahun 2017 dengan nama file `higs1a.17097,`

`higs2a.17097, higs3a.17097, higs4a.17097, higs5a.17097, higs6a.17097, higs7a.17097.` *H-files* global digunakan untuk tahapan pengolahan GLOBK.

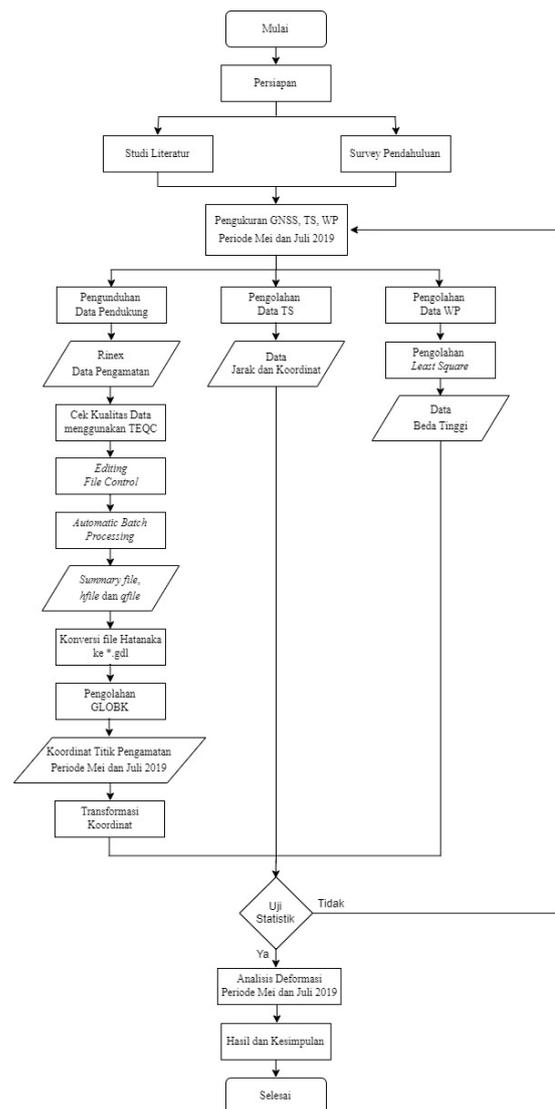
III.3 Tahapan Pengolahan Data

Pengolahan hasil pengamatan GNSS dilakukan dengan metode jaring. Jaring pengamatan GNSS dan titik ikat stasiun IGS dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Jaring Pengamatan GNSS dan Titik Ikat Stasiun IGS

Secara umum tahapan penelitian dapat dijabarkan seperti pada Gambar 3.



Gambar 3 Diagram alir penelitian

III.3.1 Pengecekan Kualitas Data dengan TEQC

Data Pengamatan GNSS yang telah dilakukan berupa file observasi dan file navigasi. TEQC (*Translating, Editing and Quality Checking*) merupakan sebuah *software* yang digunakan untuk melakukan pengecekan kualitas data digunakan untuk mengetahui bagus atau tidak data hasil pengamatan GNSS yang telah dilakukan. Pengecekan dilakukan 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.

III.3.2 Pengolahan GAMIT/GLOBK

Apabila data pengamatan telah dicek kualitasnya dengan TEQC, selanjutnya dapat dilakukan pengolahan dengan menggunakan *scientific software* GAMIT. Tahapan pengolahan menggunakan GAMIT adalah sebagai berikut (Panuntun, 2012):

1. Persiapan Pembuatan Direktori Kerja GAMIT

Sebelum melakukan pengolahan dengan menggunakan GAMIT, pertama membuat folder *project* olahan dan direktori pendukungnya 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 proyek pengolahan sesuai dengan tahun pengamatan dan file *apr* yang akan digunakan. Folder *tables* ini berisi file *control* yang akan di edit.

3. Update File Tables

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*, *svnav.dat*, *svs_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 hasil olahan yang terdapat didalam file *globk.org*.

III.3.3 Pengolahan Data Total Station

Pengukuran yang dilakukan menggunakan *total station* adalah bertujuan untuk mendapatkan data jarak dan koordinat pada 9 titik pantau deformasi. Dalam penelitian ini, titik TS01 digunakan sebagai tempat berdirinya *total station*, titik WP01 sebagai *backsight* dan 9 titik pantau deformasi sebagai *foresight*. Pengukuran dilakukan sebanyak 5 kali pada setiap titik pantau.

Data pengamatan *total station* bulan Mei, selanjutnya dibandingkan dengan data pengamatan *total station* bulan Juli untuk mengetahui apakah terdapat perubahan jarak pada setiap titik pantau. Dalam penelitian ini, pengukuran *total station* memasukkan nilai suhu dan tekanan pada lokasi pengukuran, agar hasil pengukuran yang didapat lebih teliti. Hal ini dikarenakan terdapat koreksi refraksi atmosfer yang cukup tinggi, yang menyebabkan pengaruh suhu dan tekanan pada pengukuran *total station* sangatlah tinggi (Zahroh, 2017).

III.3.4 Pengolahan Data Waterpass

Pengukuran *waterpass* dilakukan untuk mendapatkan data beda tinggi pada 9 titik pantau deformasi. Pengamatan *waterpass* ini menggunakan metode *waterpass* tertutup dan dilakukan searah jarum jam, yang dilakukan sebanyak 2 kali (*double stand*) pada setiap periode pengamatan. Dalam penelitian ini, pengolahan hasil pengamatan beda tinggi dengan *waterpass* menggunakan metode *least square*.

Pengamatan dilakukan dari titik WP01 ke titik bantu CB01 dan selanjutnya ke 9 titik pantau deformasi. Terdapat 6 titik bantu dalam penelitian ini, dikarenakan jarak yang terlalu jauh antar titik pantau. Hasil pengamatan beda tinggi periode Mei dengan menggunakan *waterpass* dijadikan sebagai titik acuan untuk menentukan apakah terjadi perubahan beda tinggi terhadap pengamatan periode Juli.

III.3.5 Transformasi Koordinat

Hasil pengolahan menggunakan *software* GAMIT/GLOBK menghasilkan koordinat geosentrik (X, Y, Z). Dari koordinat kartesian geosentrik ini kemudian dilakukan transformasi koordinat kedalam sistem koordinat toposentrik (n, e, u). Koordinat periode pengamatan pertama, dalam penelitian ini periode Mei 2019, merupakan pusat sumbu sistem atau *origin* pada koordinat toposentrik yang digunakan pada penelitian ini, dengan terlebih dahulu melakukan transformasi koordinat ke sistem koordinat geodetik (ϕ, λ). Koordinat toposentrik yang ditransformasikan merupakan perubahan nilai koordinat selama periode pengamatan. Dengan menggunakan persamaan 1 dapat dilakukan transformasi koordinat, dari koordinat kartesian geosentrik menjadi koordinat toposentrik.

IV. Hasil dan Pembahasan

IV.1 Hasil

IV.1.1 Pengecekan Kualitas Data dengan TEQC

Hasil pengecekan kualitas data dengan TEQC periode Mei dan Juli dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3 Hasil TEQC Periode Mei

Nama Titik	Doy	Lama Pengamatan	Tinggi Alat	MP1 (m)	MP2 (m)	Tipe Receiver
A1	131	6 Jam	1,904 m	0,529277	0,511462	Topcon Hiper II
A2	130	6 Jam	1,410 m	0,327318	0,348686	Topcon Hiper II
A3	130	6 Jam	1,373 m	0,475762	0,510793	Topcon Hiper II
A4	130	6 Jam	1,015 m	0,303798	0,296559	Topcon Hiper GB
A5	129	6 Jam	1,164 m	0,524783	0,558665	Topcon Hiper II
A6	129	6 Jam	1,410 m	0,357765	0,362149	Topcon Hiper II
B7	131	6 Jam	1,122 m	0,382614	0,356513	Topcon Hiper GB
B8	131	6 Jam	1,049 m	0,272561	0,264345	Topcon Hiper GB
B9	131	6 Jam	1,451 m	0,456248	0,459554	Topcon Hiper II

Tabel 4 Hasil TEQC Periode Juli

Nama Titik	Doy	Lama Pengamatan	Tinggi Alat	MP1 (m)	MP2 (m)	Tipe Receiver
A1	208	6 Jam	1,904 m	0,766443	0,701967	Topcon Hiper GB
A2	208	6 Jam	1,410 m	0,635337	0,639163	Topcon Hiper II
A3	208	6 Jam	1,373 m	0,381939	0,392219	Topcon Hiper II
A4	207	6 Jam	1,015 m	0,345518	0,391050	Topcon Hiper II
A5	207	6 Jam	1,164 m	0,360932	0,355035	Topcon Hiper GB
A6	205	6 Jam	1,410 m	0,415187	0,457668	Topcon Hiper II
B7	207	6 Jam	1,122 m	0,600228	0,682546	Topcon Hiper II
B8	207	6 Jam	1,049 m	0,318928	0,310631	Topcon Hiper GB
B9	208	6 Jam	1,451 m	0,331190	0,344976	Topcon Hiper GB

Berdasarkan Tabel 3 dan Tabel 4 dari hasil pengecekan data dengan TEQC dapat dilihat dari nilai *moving average* MP1 dan MP2 titik pantau selama periode pengamatan cukup bagus karena nilai MP1 dan MP2 dibawah 0,5 m dengan rata-rata 0.40335 m dan 0,40764 m periode Mei dan 0,46175 m dan 0,47503 m untuk periode Juli.

IV.1.2 Hasil Pengolahan GAMIT/GLOBK

Hasil pengolahan GAMIT/GLOBK menghasilkan koordinat geosentrik yang dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6.

Tabel 5 Koordinat Geosentrik Periode Mei

Nama Titik	Doy	Koordinat Kartesian Geosentrik (m)			Standar Deviasi (m)		
		X	Y	Z	x	y	z
A1	131	-2211369,89924	5931608,30226	-777830,39572	0,00458	0,01487	0,00698
A2	130	-2211376,17269	5931602,31516	-777861,94641	0,00574	0,01150	0,00368
A3	130	-2211380,56547	5931597,11913	-777887,33759	0,00496	0,00499	0,00495
A4	130	-2211386,80626	5931590,64476	-777922,11165	0,00359	0,00464	0,00314
A5	129	-2211392,11708	5931584,56708	-777952,97165	0,00366	0,00456	0,00293
A6	129	-2211397,95268	5931577,72835	-777985,90187	0,00423	0,00439	0,00375
B7	131	-2211406,84225	5931573,51782	-777958,34488	0,00369	0,00466	0,00316
B8	131	-2211399,98914	5931581,81397	-777914,45783	0,00741	0,01600	0,00426
B9	131	-2211392,91919	5931589,90713	-777868,60245	0,00345	0,00451	0,00290

Tabel 6 Koordinat Geosentrik Periode Juli

Nama Titik	Doy	Koordinat Kartesian Geosentrik (m)			Standar Deviasi (m)		
		X	Y	Z	x	y	z
A1	208	-2211369,89247	5931608,29468	-777830,38243	0,01829	0,04351	0,01017
A2	208	-2211376,18232	5931602,32238	-777861,96830	0,00377	0,00467	0,00338
A3	208	-2211380,55885	5931597,06481	-777887,33482	0,00489	0,00495	0,00493
A4	207	-2211386,80724	5931590,64583	-777922,11294	0,00847	0,00793	0,00367
A5	207	-2211392,11267	5931584,57481	-777952,98008	0,00390	0,00473	0,00334
A6	205	-2211397,96113	5931577,71395	-777985,88972	0,00447	0,00419	0,00366
B7	207	-2211406,85190	5931573,52718	-777958,34181	0,00412	0,01188	0,00488
B8	207	-2211399,99421	5931581,87120	-777914,46433	0,00393	0,00474	0,00341
B9	208	-2211392,92038	5931589,90137	-777868,59732	0,00873	0,01880	0,00506

Kemudian koordinat geosentrik dilakukan transformasi menjadi koordinat geodetik. Hasil transformasi koordinat geodetik dapat dilihat pada Tabel 7 dan Tabel 8.

Tabel 7 Koordinat Geodetik Periode Mei

Nama Titik	Doy	Koordinat Geodetik		
		Lintang	Bujur	Tinggi (m)
A1	131	-7,05166850023	110,44601762893	203,80363
A2	130	-7,05195541936	110,44608976151	204,28439
A3	130	-7,05218697172	110,44614344365	204,09278
A4	130	-7,05250333561	110,44621684000	204,50520
A5	129	-7,05278452417	110,44628109543	204,48371
A6	129	-7,05308487827	110,44635220768	204,19081
B7	131	-7,05283852486	110,44644091006	199,93854
B8	131	-7,05243872661	110,44635656055	199,81923
B9	131	-7,05202156048	110,44627101403	199,36896

Tabel 8 Koordinat Geodetik Periode Juli

Nama Titik	Doy	Koordinat Geodetik		
		Lintang	Bujur	Tinggi (m)
A1	208	-7,05166839148	110,44601759548	203,78342
A2	208	-7,05195560454	110,44608982035	204,29716
A3	208	-7,05218700593	110,44614355925	204,03963
A4	207	-7,05250334569	110,44621684493	204,50467
A5	207	-7,05278459349	110,44628103359	204,49040
A6	205	-7,05308478095	110,44635232488	204,18376
B7	207	-7,05283848383	110,44644096233	199,95209
B8	207	-7,05243872344	110,44635642260	199,97972
B9	208	-7,05202151998	110,44627104233	199,35946

IV.1.3 Hasil Perhitungan Deformasi

Hasil transformasi koordinat yang telah dilakukan, didapat koordinat toposentrik dimana koordinat tersebut dapat digunakan untuk mengetahui nilai deformasi pada Waduk Pendidikan Diponegoro selama periode pengamatan. Koordinat pengamatan periode pertama, dalam penelitian ini periode Mei 2019, digunakan sebagai origin atau pusat sumbu dalam proses transformasi koordinat yang dilakukan. Hasil dari transformasi koordinat tersebut akan menampilkan nilai pergeseran titik pantau deformasi selama periode pengamatan. Hasil transformasi koordinat kartesian geosentrik menjadi koordinat kartesian toposentrik dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9 Koordinat Toposentrik

Nama Titik	Koordinat Kartesian Toposentrik (m)			Standar Deviasi (m)		
	n	e	u	n	e	u
A1	0,012027213	-0,003695621	-0,011027327	0,00673	0,01539	0,00736
A2	-0,020480857	0,006501190	0,012739954	0,00849	0,00864	0,01235
A3	-0,003783778	0,012772484	-0,053147966	0,00523	0,00576	0,00546
A4	-0,001115226	0,000544829	0,001492211	0,00311	0,00339	0,0048
A5	-0,007666044	-0,006832484	0,006694388	0,00578	0,00573	0,00474
A6	0,010763746	0,012948002	-0,011953076	0,00642	0,00692	0,00415
B7	0,004537672	0,005775108	0,011673584	0,00313	0,00348	0,00483
B8	0,000350521	-0,015241583	0,055774538	0,00785	0,00646	0,01016
B9	0,004479621	0,003127165	-0,005573548	0,00286	0,00318	0,00473

IV.1.4 Hasil Pengolahan Data Total Station

Dalam penelitian ini, titik TS01 digunakan sebagai tempat berdirinya *total station*, titik WP01 sebagai *backsight* dan 9 titik pantau deformasi sebagai *foresight*. Tujuan pengukuran *total station* ini adalah untuk memantau jarak dan pergerakan dari 9 titik pantau deformasi. Dalam setiap periode pengamatan, dilakukan 5 kali pengukuran jarak dan kemudian diambil rata-rata per titik. Tabel 10 dan Tabel 11 menunjukkan hasil pengamatan jarak dari titik TS01 ke 9 titik pantau deformasi periode Mei dan Juli.

Tabel 10 Hasil Pengamatan Jarak Periode Mei

Titik	Jarak (m)	Standar Deviasi (m)
A1	181,0024	0,065125264
A2	148,5308	0,013881643
A3	123,0102	0,029760712
A4	88,3746	0,015852445
A5	59,2464	0,003286335
A6	33,8908	0,023381617
B7	44,3988	0,069463660
B8	88,1412	0,027049954
B9	134,6340	0,041940434

Tabel 11 Hasil Pengamatan Jarak Periode Juli

Titik	Jarak (m)	Standar Deviasi (m)
A1	180,9864	0,006580274
A2	148,5778	0,000447214
A3	123,0394	0,000547723
A4	88,3952	0,000447214
A5	59,2824	0,000547723
A6	33,9104	0,000894427
B7	44,4342	0,002489980
B8	88,1682	0,000447214
B9	134,6708	0,000447214

IV.1.5 Hasil Pengolahan Data Waterpass

Pada penelitian ini, pengamatan *waterpass* menggunakan metode *waterpass* tertutup dan dilakukan searah jarum jam, yang dilakukan sebanyak 2 kali (*double stand*) pada setiap periode pengamatan. Pengamatan dilakukan dari titik WP01 ke titik bantu CB01 dan selanjutnya ke 9 titik pantau deformasi. Terdapat 6 titik bantu dalam penelitian ini, dikarenakan jarak yang terlalu jauh antar titik pantau. Dalam penelitian ini, pengukuran *waterpass* pada setiap periode pengamatan diikatkan dengan titik WP01, dimana titik

tersebut menggunakan tinggi lokal terhadap titik kontrol WP01 yaitu 206,422 m.

Hasil pengamatan beda tinggi periode Mei dijadikan sebagai titik acuan untuk menentukan apakah terjadi perubahan beda tinggi terhadap pengamatan periode Juli. Hasil pengolahan data beda tinggi pengukuran *waterpass* menggunakan metode *least square* yang dapat dilihat pada Tabel 12 dan Tabel 13.

Tabel 12 Hasil Pengolahan *Least Square* Periode Mei

Nama Titik	Doy	Tinggi (m)	Standar Deviasi (m)
A1	131	201,6988433	0,000894963
A2	130	201,8510367	0,000867818
A3	130	202,0166363	0,000833284
A4	130	202,0841396	0,000766222
A5	129	202,0647165	0,000681318
A6	129	202,0700298	0,000549240
B7	131	197,4901622	0,000819194
B8	131	197,2366222	0,000875010
B9	131	196,9637219	0,000899775

Tabel 13 Hasil Pengolahan *Least Square* Periode Juli

Nama Titik	Doy	Tinggi (m)	Standar Deviasi (m)
A1	208	201,7058019	0,005002406
A2	208	201,8550284	0,004850682
A3	208	202,0202745	0,004657649
A4	207	202,0928307	0,004282808
A5	207	202,0667582	0,003808234
A6	205	202,0760446	0,003069986
B7	207	197,4857721	0,004578893
B8	207	197,2292977	0,004890881
B9	208	196,9578921	0,005029304

IV.2 Analisis dan Pembahasan

IV.2.1 Analisis Deformasi Hasil Pengukuran GNSS

Dalam penelitian ini, uji statistik diperlukan untuk mengetahui signifikansi perbedaan koordinat titik pantau yaitu uji signifikansi dua parameter dan beda dua sampel. Uji t dilakukan terhadap semua titik pantau deformasi, untuk mengecek apakah secara signifikan terjadi perubahan koordinat pengamatan mengalami pergeseran dan perubahan tinggi. Uji statistik dilakukan dengan membandingkan t-hitung dan t-tabel. Dalam penelitian ini, uji statistik terhadap hasil pengolahan GAMIT menggunakan selang kepercayaan 95% ($\alpha/2 = 2,5\%$) dan derajat kebebasan (df) tak terhingga (∞) untuk pengamatan GNSS, dengan nilai t-tabel sebesar 1,960.

Uji statistik dilakukan untuk mengetahui apakah hipotesa nol (0) diterima atau tidak. Apabila hasil perbandingan nilai t-hitung lebih kecil dari t-tabel (t df, $\alpha/2$) maka hipotesa nol (0) diterima. Akan tetapi, apabila hipotesa nol (0) ditolak ditunjukkan dengan hasil perbandingan t-hitung lebih besar dari nilai t-tabel (t df, $\alpha/2$). Dapat dikatakan parameter yang diuji tidak mengalami perubahan apabila hipotesa nol (0) diterima dan dapat juga dikatakan parameter yang diuji mengalami perubahan apabila hipotesa nol (0) ditolak.

Hasil dari uji statistik dapat dilihat pada Tabel 14 dan Tabel 15.

Tabel 14 Hasil Uji Statistik Pergeseran Hasil Pengolahan GAMIT

Nama Titik	P (m)	std P (m)	T		Ho	Pergeseran
			hitung	tabel		
A1	0,012582	0,01680	0,74907	1,960	Diterima	Tidak
A2	0,021488	0,01211	1,77393	1,960	Diterima	Tidak
A3	0,013321	0,00778	1,71220	1,960	Diterima	Tidak
A4	0,001241	0,00460	0,26980	1,960	Diterima	Tidak
A5	0,010269	0,00814	1,26171	1,960	Diterima	Tidak
A6	0,016838	0,00944	1,78377	1,960	Diterima	Tidak
B7	0,007345	0,00468	1,56917	1,960	Diterima	Tidak
B8	0,015246	0,01017	1,49962	1,960	Diterima	Tidak
B9	0,005463	0,00428	1,27736	1,960	Diterima	Tidak

Tabel 15 Hasil Uji Statistik Perubahan Tinggi Hasil Pengolahan GAMIT

Nama Titik	P (m)	std P (m)	T		Ho	Perubahan Tinggi
			hitung	tabel		
A1	-0,01103	0,00736	-1,49828	1,960	Diterima	Tidak
A2	0,01274	0,01235	1,03158	1,960	Diterima	Tidak
A3	-0,05315	0,00546	-9,73406	1,960	Ditolak	Ya
A4	0,00149	0,00480	0,31088	1,960	Diterima	Tidak
A5	0,00669	0,00474	1,41232	1,960	Diterima	Tidak
A6	-0,01195	0,00415	-2,88026	1,960	Ditolak	Ya
B7	0,01167	0,00483	2,41689	1,960	Ditolak	Ya
B8	0,05577	0,01016	5,48962	1,960	Ditolak	Ya
B9	-0,00557	0,00473	-1,17834	1,960	Diterima	Tidak

Tabel 14 menunjukkan hasil uji statistik pergeseran dimana nilai t-hitung dari semua titik pantau deformasi lebih kecil dari nilai t-tabel ($t_{df, \alpha/2}$). Hasil uji statistik tersebut dapat disimpulkan bahwa hipotesa nol (0) diterima, ditunjukkan dari parameter yang di uji tidak terjadi perubahan. Maka dari itu, dapat diartikan bahwa 9 titik pantau deformasi secara statistik menunjukkan tidak terjadinya pergeseran meskipun secara nilai dari perubahan koordinat terjadi pergeseran terhadap titik pantau deformasi.

Sedangkan hasil uji statistik perubahan tinggi yang dilakukan menunjukkan beberapa titik pantau deformasi memiliki nilai t-hitung yang lebih besar dari nilai t-tabel ($t_{df, \alpha/2}$) Hasil uji statistik tersebut mengartikan bahwa hipotesa nol (0) ditolak, ditunjukkan dari parameter yang di uji mengalami perubahan, sehingga dapat disimpulkan terjadi perubahan tinggi dari pengamatan yang dilakukan. Dari hasil uji signifikansi tersebut, perubahan tinggi titik pantau deformasi terjadi pada titik yang mengalami perubahan tinggi secara signifikan, yaitu titik pantau A3, A6, A7 dan B8.

IV.2.2 Analisis Deformasi Hasil Pengukuran Total Station

Hasil pengukuran *total station* yang telah dilakukan selanjutnya dilakukan uji t untuk mengecek apakah secara signifikan terjadi perubahan jarak. Uji statistik dilakukan dengan membandingkan t-hitung dan t-tabel. Dalam penelitian ini, uji statistik terhadap hasil pengukuran jarak menggunakan *total station*

menggunakan selang kepercayaan 95% ($\alpha/2 = 2,5\%$) dan derajat kebebasan (df) ($n-1$) = 4 untuk pengukuran *total station*, dengan nilai t-tabel sebesar 2,76645. Hasil dari uji statistik dapat dilihat pada Tabel 16.

Tabel 16 Hasil Uji Statistik Pengamatan Jarak Pengukuran Total Station

Nama Titik	Jarak Mei (m)	Jarak Juli (m)	Selisih (m)	std P (m)	T		Ho	Pergeseran
					hitung	tabel		
A1	181,0024	180,9864	-0,0160	0,06546	-0,24444	2,76645	Diterima	Tidak
A2	148,5308	148,5778	0,0470	0,01827	2,57252	2,76645	Diterima	Tidak
A3	123,0102	123,0394	0,0292	0,02977	0,98099	2,76645	Diterima	Tidak
A4	88,3746	88,3952	0,0206	0,01586	1,29897	2,76645	Diterima	Tidak
A5	59,2464	59,2824	0,0360	0,01386	2,59740	2,76645	Diterima	Tidak
A6	33,8908	33,9104	0,0196	0,02340	0,83765	2,76645	Diterima	Tidak
B7	44,3988	44,4342	0,0354	0,06951	0,50929	2,76645	Diterima	Tidak
B8	88,1412	88,1682	0,0270	0,02705	0,99802	2,76645	Diterima	Tidak
B9	134,6340	134,6708	0,0368	0,04194	0,87739	2,76645	Diterima	Tidak

Tabel 16 menunjukkan hasil uji statistik pengamatan jarak menggunakan total station, menunjukkan nilai t-hitung lebih kecil dari nilai t-tabel ($t_{df, \alpha/2}$). Meskipun secara nilai terjadi perubahan jarak dari titik kontrol TS01 terhadap titik pantau deformasi, tetapi secara statistik menunjukkan tidak terjadi perubahan jarak dan menunjukkan titik pantau deformasi dalam keadaan stabil dan tidak bergerak.

IV.2.3 Analisis Deformasi Hasil Pengukuran Waterpass

Hasil pengukuran *waterpass*, yang diolah menggunakan metode *least square*, selanjutnya dilakukan uji t untuk mengecek apakah secara signifikan terjadi perubahan jarak. Uji statistik dilakukan dengan membandingkan t-hitung dan t-tabel. Dalam penelitian ini, uji statistik terhadap hasil pengukuran jarak menggunakan total station menggunakan selang kepercayaan 95% ($\alpha/2 = 2,5\%$) dan derajat kebebasan (df) ($n-1$) = 1 untuk pengukuran *waterpass*, dengan nilai t-tabel sebesar 12,7062. Hasil dari uji statistik dapat dilihat pada Tabel 17.

Tabel 17 Hasil Uji Statistik Pengamatan Beda Tinggi Pengukuran Waterpass

Nama Titik	Tinggi Mei (m)	Tinggi Juli (m)	Selisih (m)	std P (m)	T		Ho	Perubahan Tinggi
					hitung	tabel		
A1	201,69884	201,70580	0,00696	0,00508	1,36932	12,7062	Diterima	Tidak
A2	201,85104	201,85503	0,00399	0,00493	0,81006	12,7062	Diterima	Tidak
A3	202,01664	202,02027	0,00364	0,00473	0,76891	12,7062	Diterima	Tidak
A4	202,08414	202,09283	0,00869	0,00435	1,99758	12,7062	Diterima	Tidak
A5	202,06472	202,06676	0,00204	0,00387	0,52775	12,7062	Diterima	Tidak
A6	202,07003	202,07604	0,00601	0,00312	1,92860	12,7062	Diterima	Tidak
B7	197,49016	197,48577	-0,00439	0,00465	-0,94379	12,7062	Diterima	Tidak
B8	197,23662	197,22930	-0,00732	0,00497	-1,47419	12,7062	Diterima	Tidak
B9	196,96372	196,95789	-0,00583	0,00511	-1,14105	12,7062	Diterima	Tidak

Tabel 17 menunjukkan hasil uji statistik pengamatan beda tinggi menggunakan *waterpass*, menunjukkan nilai t-hitung lebih kecil dari nilai t-tabel ($t_{df, \alpha/2}$). Meskipun secara nilai terjadi perubahan tinggi terhadap titik pantau deformasi, tetapi secara statistik menunjukkan tidak terjadi perubahan tinggi selama

periode pengamatan, dan titik pantau deformasi dapat dikatakan stabil.

V. Penutup

V.1 Kesimpulan

Berdasar hasil analisis penelitian yang telah dilakukan, peneliti mengambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai perubahan koordinat yang terjadi dalam pengamatan GNSS pada Waduk Pendidikan Diponegoro periode Mei sampai dengan Juli 2019 menunjukkan bahwa nilai deformasi yang diamati beragam. Nilai perubahan koordinat memiliki nilai antara 0,5 mm sampai dengan 15 mm pada sumbu X, 0,3 mm sampai dengan 20 mm pada sumbu Y dan 1,5 mm sampai dengan 55 mm pada sumbu Z.
2. Nilai perubahan yang terjadi antara pengamatan GNSS dan pengukuran *total station* pada sumbu horizontal selama periode Mei sampai dengan Juli 2019 adalah tidak terlalu signifikan, berdasarkan uji statistik yang telah dilakukan. Hasil dari analisis pengamatan GNSS dan *total station* menunjukkan adanya korelasi. Analisis pengolahan GAMIT menghasilkan tidak adanya pergeseran terhadap titik pantau dan hasil pengamatan total station menunjukkan tidak adanya perubahan jarak dari titik kontrol TS01 ke 9 titik pantau deformasi. Hal ini dapat disimpulkan bahwa pengamatan jarak pengukuran *total station* dan analisis pergeseran pengamatan GNSS titik pantau deformasi tidak mengalami pergeseran dan dapat dikatakan stabil.
3. Nilai perubahan yang terjadi antara pengamatan GNSS dan pengukuran *waterpass* pada sumbu vertikal selama periode Mei sampai dengan Juli 2019 adalah tidak terlalu signifikan, berdasarkan uji statistik yang telah dilakukan. Setelah melakukan uji statistik, hasil dari analisis pengamatan GNSS menunjukkan beberapa titik mengalami perubahan tinggi yaitu pada titik A3, A6, A7 dan B8 selama periode pengamatan dan untuk titik pantau yang lainnya tidak mengalami perubahan tinggi. Sedangkan hasil dari pengamatan *waterpass* menghasilkan kesimpulan yang berbeda dibandingkan dengan pengamatan GNSS. Hasil pengamatan *waterpass* menunjukkan tidak terjadinya perubahan tinggi terhadap 9 titik pantau deformasi selama periode pengamatan dan dapat dianggap stabil.
4. Dari hasil pengamatan deformasi pada Waduk Pendidikan Diponegoro periode Mei sampai dengan Juli 2019 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

Penelitian ini ditemukan beberapa saran sebagai masukan untuk penelitian selanjutnya. Berikut adalah saran yang dapat disampaikan:

1. Pengamatan deformasi waduk dengan metode pengamatan GNSS seharusnya memerlukan epoch pengamatan yang lebih banyak secara periodik dengan kurun waktu tertentu. Hal ini disebabkan karena penentuan deformasi dengan metode pengamatan GNSS akan menghasilkan ketelitian yang lebih baik dengan mempertimbangkan parameter-parameter yang lebih banyak dan perlu memperhatikan arah dan grafik pergeseran.
2. Penelitian selanjutnya sebaiknya menggunakan parameter pengamatan GNSS yang sama dengan penelitian ini sehingga hasil dari penelitian tersebut dapat dibandingkan satu sama lain.
3. Pembuatan jadwal pengukuran sebaiknya dipersiapkan dengan baik, agar tidak menghambat pengolahan GAMIT/GLOBK dan penulisan tugas akhir yang ingin dilakukan selanjutnya.
4. Pengolahan menggunakan *software* GAMIT/GLOBK sebaiknya dipersiapkan secara matang. Hal ini memiliki arti, yaitu semua file pendukung *software* GAMIT/GLOBK harus diinstal terlebih dahulu agar pengolahan dapat berjalan dengan lancar dan tidak terdapat hambatan yang berarti.

Daftar Pustaka

- Abidin, H. Z. 1995. Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya; Edisi 1. PT. Pradnya Paramita: Jakarta.
- Kuang, S. 1996. *Geodetic Network Analysis and Optimal Design: Concept and Application*. Ann Harbour Press, Inc: Chelsea, Michigan.
- Menteri Pekerjaan Umum. 1997. *Peraturan Menteri Nomor 72/PRT/1997*. Indonesia.
- Panuntun, H. 2012. *Penentuan Posisi Anjungan Minyak Lepas Pantai dengan Titik Ikat GPS Regional dan Global*. Tesis. Universitas Gadjah Mada: Yogyakarta.
- Prijatna, K., W. Kuntjoro. 2005. *Materi Ajar Geodesi Gemoetrik. Teknik Geodesi & Geomatika*. ITB.
- PT. Jasapatria Gunatama 2008. *Studi dan Detail Desain Waduk Diponegoro*. Presentasi Konsep Laporan Akhir.
- UNOOSA. 2011. *10 Years of Achievement of the United Nations on Global Navigation Satellite System*. New York.
- Zahroh, A. 2017. *Analisis Pengaruh Temperatur dan Tekanan Udara Terhadap Hasil Pengukuran Jarak Miring Menggunakan Total Station Leica TM30*. Skripsi. Universitas Gadjah Mada: Yogyakarta.