

**STUDI DEFORMASI WADUK PENDIDIKAN DIPONEGORO
TAHUN 2018**Wikan Isthika Murti^{*)}, Bambang Darmo Yuwono, L M SabriDepartemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Tembalang, Semarang Telp.(024)76480785, 76480788
Email: wikanim31@gmail.com**ABSTRAK**

Bendungan merupakan konstruksi yang digunakan untuk menahan pergerakan air menjadi danau atau waduk yang dapat digunakan untuk berbagai kegiatan dan fungsi, seperti pembangkit listrik, tempat rekreasi, tempat penyimpanan cadangan air, mencegah banjir dan sebagai sumber irigasi. Konstruksi bendungan yang terdapat di kawasan Universitas Diponegoro membentuk waduk yang biasa dikenal dengan nama Waduk Pendidikan Diponegoro. Waduk ini mampu menampung genangan air normal sampai 478.240 m³ dengan luas daerah tangkapan air mencapai 7,1338 Ha. Bangunan bendungan sangat rentan mengalami perubahan dimensi dan bentuk karena adanya tekanan air. Proses loading air menyebabkan adanya tekanan terus menerus terhadap badan bendungan, apabila tidak dilakukan suatu pemantauan berkala maka tidak akan diketahui perubahan dimensi dan bentuk yang dapat mengakibatkan kerusakan bendungan. Salah satu cara untuk mengetahui adanya perubahan tersebut adalah dengan melakukan pengamatan deformasi pada tubuh bendungan. 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 (bench mark) yang tersebar di sekitar bendungan. Pengamatan deformasi akan dilaksanakan pada periode April sampai dengan Juli. Setelah pengamatan maka dilakukan pengolahan data menggunakan software GAMIT/GLOBK 10.7 untuk mengetahui koordinat dari masing-masing titik tetap setiap akuisisi data. Pengolahan yang dilakukan pada penelitian ini menghasilkan kesimpulan bahwa pengukuran koordinat dan jarak menggunakan GNSS maupun totalstation tidak terjadi pergeseran. Pada hasil pengukuran ketinggian menggunakan GNSS terjadi perubahan nilai pada titik pengamatan, berdasarkan hasil uji statistik yang dilakukan tidak terjadi pergerakan pada titik pengamatan.

Kata Kunci: Bendungan, Deformasi, GAMIT, GNSS

ABSTRACT

Dams are construction used to hold the movement of water into lakes or reservoirs that can be used for various activities and functions, such as power plants, recreation areas, reservoirs of water reserves, preventing flooding and as a source of irrigation. Construction of the dam in the area of Diponegoro University forms a reservoir known as the Diponegoro Educational Reservoir. This reservoir is capable of accommodating normal standing water up to 478,240 m³ with a catchment area reaching 7.1338 Ha. Dam buildings are very vulnerable to changes in dimensions and shapes due to water pressure. The process of loading water causes continuous pressure on the dam body, if no periodic monitoring is carried out it will not be known to change dimensions and shapes that can cause dam damage. One way to find out about these changes is to observe deformations in the body of the dam. This final assignment research will be carried out by observing the deformation and geodynamic phenomena of man-made on Diponegoro Education Reservoir, with the satellite observation method using the Global Navigation Satellite System (GNSS) to be observed on a bench mark spread around the dam. Deformation observations will be carried out from April to Juli. After observation, data processing is performed using GAMIT / GLOBK 10.7 software to find out the coordinates of each fixed point for each data acquisition. Processing carried out in this study resulted in the conclusion that the measurement of coordinates and distance using GNSS and totalstation did not shift. On the results of height measurements using GNSS there was a change in the value at the observation point, based on the results of statistical tests carried out there wasn't a movement at observation point.

Keywords : Dam, Deformation, GAMIT, GNSS

^{*)}Penulis Utama, Penanggung Jawab

I Pendahuluan

I.1 Latar Belakang

Bendungan merupakan konstruksi yang digunakan untuk menahan pergerakan air menjadi danau atau waduk yang dapat digunakan untuk berbagai kegiatan dan fungsi, seperti pembangkit listrik, tempat rekreasi, tempat penyimpanan cadangan air, mencegah banjir dan sebagai sumber irigasi. Kontruksi bendungan yang terdapat di kawasan Universitas Diponegoro membentuk waduk yang biasa dikenal dengan nama Waduk Pendidikan Diponegoro. Waduk ini mampu menampung genangan air normal sampai 478.240 m³ 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 bertujuan untuk pengendali banjir dari sungai Krengseng, sebagai tempat pembelajaran untuk mahasiswa UNDIP dan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro.

Bangunan bendungan sangat rentan mengalami perubahan dimensi dan bentuk karena adanya tekanan air. Proses loading air menyebabkan adanya tekanan terus menerus terhadap badan bendungan, apabila tidak dilakukan suatu pemantauan berkala maka tidak akan diketahui perubahan dimensi dan bentuk yang dapat mengakibatkan kerusakan bendungan. Salah satu cara untuk mengetahui adanya perubahan tersebut adalah dengan melakukan pengamatan deformasi pada tubuh bendungan.

Deformasi adalah perubahan bentuk, posisi, dan dimensi dari suatu benda (Kuang, 1996). Berdasarkan definisi tersebut deformasi dapat diartikan sebagai perubahan kedudukan atau pergerakan suatu titik pada suatu benda secara absolut maupun relatif. Dikatakan titik bergerak absolut apabila dikaji dari perilaku gerakan titik itu sendiri dan dikatakan relatif apabila gerakan itu dikaji dari titik yang lain. Survei deformasi dapat dilakukan dengan berbagai metode seperti penginderaan jauh dan pengukuran terestris. Berdasarkan penelitian milik Raka Angga Prawira yang berjudul Studi Deformasi Waduk Pendidikan Diponegoro Tahun 2017, menyebutkan bahwa hasil 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.

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 (bench mark) yang tersebar di sekitar bendungan. Pengamatan deformasi akan dilaksanakan pada periode April sampai dengan Juli. Setelah pengamatan maka dilakukan pengolahan data menggunakan software GAMIT/GLOBK 10.7 untuk mengetahui koordinat dari masing-masing titik tetap setiap akuisisi data.

I.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana nilai pergeseran koordinat yang terjadi selama pengamatan GNSS pada Waduk Pendidikan Diponegoro periode April sampai dengan Juli 2018?
2. Bagaimana analisis deformasi berdasarkan pengukuran totalstation pada Waduk Pendidikan Diponegoro periode April sampai dengan Juli 2018?
3. Bagaimana analisis deformasi yang terjadi selama periode April sampai dengan Juli 2018 dari hasil pengukuran *waterpass* yang telah dilaksanakan?

I.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui nilai pergerakan pada Waduk Pendidikan Diponegoro tahun 2018 menggunakan GNSS
2. Mengetahui nilai pergerakan pada Waduk Pendidikan Diponegoro periode April dan Juli 2018 menggunakan *totalstation*
3. Mengetahui nilai pergerakan pada Waduk Pendidikan Diponegoro periode April dan Juli 2018 menggunakan *waterpass*

I.4 Ruang Lingkup

Adapun ruang lingkup dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian deformasi dilaksanakan di Waduk Pendidikan Diponegoro pada periode April sampai dengan Juli 2018
2. Pengamatan deformasi dilaksanakan menggunakan metode statik dengan receiver GPS dual frequency
3. Titik ikat yang digunakan dalam pengolahan adalah stasiun IGS BAKO, COCO, DARW, dan PIMO dan CORS BIG di Semarang (CSEM) sebagai referensi lokal
4. Pengolahan data pengamatan menggunakan software GAMIT/GLOBK 10.7
5. Hasil velocity dari titik yang diamati tidak dipengaruhi oleh velocity dari blok sunda

II Tinjauan Pustaka

II.1 Bendungan

Bendungan adalah suatu bangunan yang digunakan untuk menahan dan menyimpan air yang

berlebihan. Dengan adanya daya tampung tersebut, air yang berlebihan dapat disimpan dalam waduk dan dialirkan sesuai kebutuhan. Berdasarkan Pedoman Kriteria Umum Desain Bendungan pada Maret 2003, bendungan dapat dibedakan menjadi beberapa jenis ditinjau dari fungsinya yaitu :

- a. Bendungan Penampung Air
- b. Bendungan pengalih aliran
- c. Bendungan pengendali banjir
- d. Bendungan serbaguna

Waduk Pendidikan Diponegoro merupakan salah satu bendungan yang berfungsi untuk menampung air dan pembangkit listrik tenaga air, waduk ini mampu menampung genangan air normal sampai 478.240 m³ dengan luas daerah tangkapan air mencapai 7,1338 Ha.

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 didesain untuk memberikan posisi dan kecepatan tiga-dimensi serta informasi mengenai waktu, secara kontinyu di seluruh dunia tanpa bergantung waktu dan cuaca, bagi banyak orang secara simultan. 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

Pengertian deformasi adalah perubahan bentuk, posisi, dan dimensi dari suatu benda (Kuang, 1996). Berdasarkan pengertian tersebut deformasi dapat disebut juga perubahan kedudukan maupun bentuk dari suatu titik yang diamati, secara absolut maupun relatif. Suatu titik dikatakan bergerak secara absolut apabila dikaji dari perilaku pergerakan titik itu sendiri dan dapat dikatakan relatif apabila gerakan itu dikaji dari titik yang lain. Pengamatan untuk menentukan deformasi pada suatu wilayah maupun konstruksi dapat dilakukan menggunakan survei yaitu survei deformasi dan geodinamika. Survei deformasi dan geodinamika memiliki berbagai macam metode, salah satunya menggunakan satelit. Pengamatan pada titik menggunakan satelit dapat dilakukan menggunakan Global Navigation Satellite System (GNSS) ataupun dengan menggunakan penginderaan jauh.

II.4 Expansive Soil (Tanah Mengembang)

Tanah mengembang atau disebut juga dengan expansive soil, adalah tanah yang memiliki ciri-ciri kembang susut yang besar, mengembang pada musim hujan dan menyusut pada musim kemarau (Rina Yuliet dkk, 2011). Besarnya pengembangan atau penyusutan tidak merata dari suatu titik ke titik lainnya sehingga

menimbulkan differential movement. Kerugian yang diakibatkan oleh tanah mengembang diantaranya adalah:

1. Pengembangan (heave) dan retak (cracking) pada permukaan jalan raya
2. Kelebihan tegangan lateral pada dinding penahan tanah
3. Heave dan buckling pada slab lantai
4. Heave dan buckling pada dinding penahan
5. Berkurangnya daya dukung dan kuat geser tanah

Proses pengembangan (swelling) dan penyusutan (Shrinking) tanah sebagian besar adalah akibat peristiwa kapiler atau perubahan kadar air pada tanah tersebut. Tanah-tanah yang banyak mengandung lempung mengalami perubahan volume ketika kadar air berubah. Pengurangan kadar air yang diikuti oleh kenaikan tegangan efektif menyebabkan volume tanah menyusut dan sebaliknya penambahan kadar air menyebabkan pengembangan

II.5 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 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 GPS (*Global Positioning System*) dan GLONAS. 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. Persebaran stasiun IGS dapat dilihat pada gambar berikut ini

II.6 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 (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):

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

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

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

Keterangan:

- nA, eA, uA = koordinat toposentrik titik A
- φ_0, λ_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

Tahap awal dari penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Studi literatur mengenai semua informasi yang terkait dengan penyusunan penelitian Tugas Akhir.
2. Persiapan peralatan yang akan digunakan dalam penelitian baik *hardware* maupun *software*.
3. Melakukan proses instalasi sistem operasi LINUX Mint
4. Melakukan proses instalasi *scientific software* GAMIT 10.7 yang akan digunakan untuk pengolahan data pengamatan GPS
5. Pengadaan data dengan melakukan pengukuran deformasi menggunakan *GPS Dual Frekuensi* dan pengamatan validasi perubahan jarak dan tinggi dengan menggunakan *total station* dan *waterpass*
6. Persiapan jadwal rencana pengadaan data dan jadwal pengamatan terhadap titik tetap Waduk Pendidikan Diponegoro menggunakan *GPS Dual Frekuensi*.

III.2 Peralatan dan Bahan Penelitian

III.2.1 Peralatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan beberapa perangkat keras maupun lunak untuk mendapatkan data dan mengolah data tersebut, berikut daftar perangkat keras yang digunakan :

1. *Receiver* GNSS Topcon HIPER GB 2 unit dan *receiver* GNSS Topcon HIPER II 2 unit untuk pengamatan titik pantau deformasi.
2. Topcon *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. Barometer aneroid 1 unit untuk pengukuran tekanan udara pada lokasi penelitian
5. Termometer raksa 1 unit untuk pengukuran suhu udara pada lokasi penelitian
6. Laptop dengan spesifikasi *AMD A8- 6410 with AMD Radeon R5 2.0Ghz*

Perangkat lunak yang digunakan untuk penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Sistem Operasi Linux mint
2. Perangkat lunak GAMIT dan GLOBK versi 10.7.
3. Topcon Link V.7.5 digunakan untuk pengolahan data *total station*.
4. RNXCMP digunakan untuk mengubah format compactRinex menjadi data rinex. Dapat diunduh pada alamat <http://terras.gsi.go.jp/ja/crx2rnx.html>
5. GFortran, perangkat lunak (*software*) yang digunakan sebagai *compiler* untuk bahasa Fortran pada perangkat lunak GAMIT yang diperlukan pada saat melakukan instalasi. Perangkat lunak ini dapat diunduh melalui <http://gcc.gnu.org/wiki/GfortranBinaries>.
6. *Translation, Editing, dan Quality Checking* (TEQC) digunakan untuk pengecekan kualitas data hasil pengukuran GNSS. Software tersebut dapat didownload pada <https://www.unavco.org/software/data-processing/teqc/teqc.html>

III.2.2 Bahan Penelitian

Bahan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Data pengamatan GNSS dari titik pantau deformasi yang tersebar di sekitar tubuh bendungan selama periode April dan Juli 2018, titik pantau yang digunakan adalah A100, A200, A300, A400, A500, A600, B700, B800 dan B900.

Tabel 1 Pengamatan GNSS periode April 2018

Nama Titik	Jenis Alat	DOY	Lama Pengamatan
A100	Topcon Hiper GB Base	116	6 jam
A200	Topcon Hiper II Rover	115	6 jam
A300	Topcon Hiper GB Rover	114	6 jam
A400	Topcon Hiper GB Base	114	6 jam
A500	Topcon Hiper II Rover	115	6 jam
A600	Topcon Hiper II Base	115	6 jam
B700	Topcon Hiper II Base	115	6 jam
B800	Topcon Hiper GB Rover	114	6 jam
B900	Topcon Hiper GB Base	114	6 jam

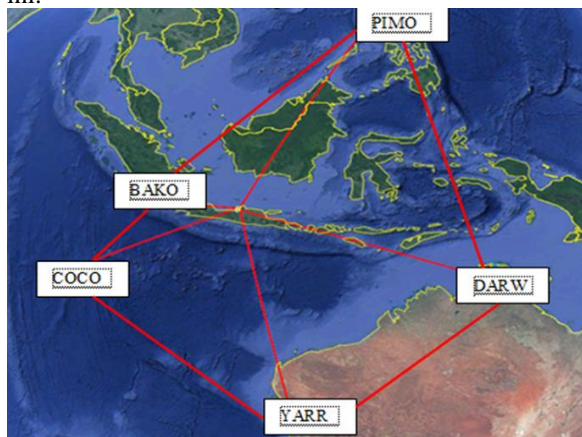
Tabel 2 Pengamatan GNSS periode Juli 2018

Nama Titik	Jenis Alat	DOY	Lama Pengamatan
A100	Topcon Hiper GB Base	186	6 jam
A200	Topcon Hiper GB Base	185	6 jam
A300	Topcon Hiper GB Base	184	6 jam
A400	Topcon Hiper GB Rover	184	6 jam
A500	Topcon Hiper II Base	185	6 jam
A600	Topcon Hiper II Rover	185	6 jam
B700	Topcon Hiper II Base	185	6 jam
B800	Topcon Hiper II Rover	184	6 jam
B900	Topcon Hiper GB Rover	184	6 jam

2. Data pengamatan stasiun IGS pada stasiun BAKO, COCO, DARW, PIMO dan YARR selama 24 jam pada masing-masing DOY (*Day of Year*) pengamatan dengan interval 30 detik.
3. Data pengamatan stasiun CORS BIG di Semarang (CSEM) selama 24 jam pada masing-masing DOY pengamatan.
4. *File Precise ephemeris* dengan format sp3 diunduh dari situs [ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/gnss/products](http://cddis.gsfc.nasa.gov/gnss/products), dengan format nama data igs <gps week> <dayofweek>.sp3
5. *File Broadcast ephemeris* (file navigasi satelit) diunduh dari situs [ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/gnss/data/daily](http://cddis.gsfc.nasa.gov/gnss/data/daily) dengan format brdc<doy>0.yyn, diunduh berdasarkan DOY dan tahun pengamatan.
6. H-files global diunduh dari situs <http://sopac.ucsd.edu/dataBrowser.shtml> dengan format higs1a.<yy><doy> 2a, 3a, 4a, 5a, 6a, dan 7a

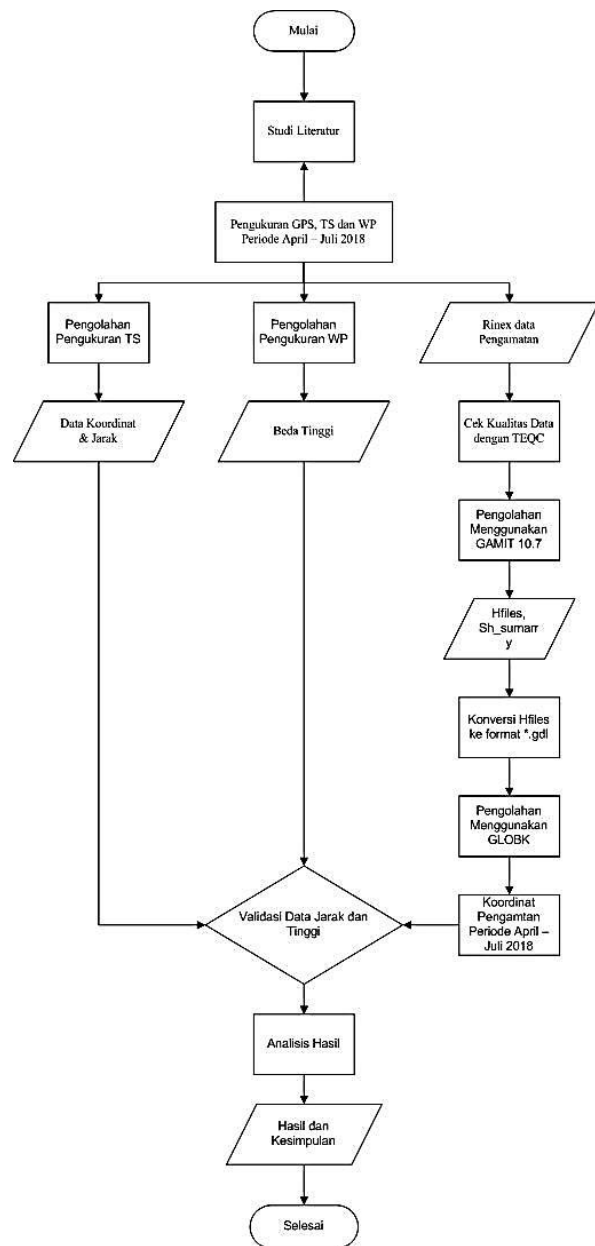
III.3 Tahapan Pengolahan Data

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 1** 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

Pengecekan kualitas data digunakan untuk mengetahui bagus atau tidak data hasil pengamatan GNSS yang telah dilakukan. Pada proses pengecekan dapat diketahui 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. Proses pengecekan dilakukan menggunakan software TEQC (Translating, Editing and Quality Check). Program TEQC yang telah diunduh harus berada pada direktori rinex yang akan dilakukan pengecekan, untuk menjalankan program digunakan terminal windows.

III.3.2 Pengolahan 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 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. File yang perlu diupdate diantaranya: pole.usno, ut1.usno, leap.sec, luntab, nutabl, soltab, svnav.dat, svb_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 pada bulan April dan bulan Juli dengan menggunakan TEQC ditunjukkan oleh **Tabel 3** dan **Tabel 4**.

Tabel 3 Hasil uji kualitas data pengamatan April 2018

Nama Titik	Lama Pengamatan	MP1 (m)	MP2 (m)	Tipe Receiver
A100	6 jam	0,501	0,479	Topcon Hiper GB
A200	6 jam	0,324	0,371	Topcon Hiper II
A300	6 jam	0,309	0,297	Topcon Hiper GB
A400	6 jam	0,288	0,27	Topcon Hiper GB
A500	6 jam	0,383	0,398	Topcon Hiper II
A600	6 jam	0,352	0,352	Topcon Hiper II
B700	6 jam	0,321	0,317	Topcon Hiper II
B800	6 jam	0,284	0,263	Topcon Hiper GB
B900	6 jam	0,384	0,409	Topcon Hiper II

Tabel 4 Hasil uji kualitas data pengamatan Juli 2017

Nama Titik	Lama Pengamatan	MP1 (m)	MP2 (m)	Tipe Receiver
A100	6 jam	0,471	0,442	Topcon Hiper GB
A200	6 jam	0,283	0,261	Topcon Hiper GB
A300	6 jam	0,316	0,292	Topcon Hiper GB
A400	6 jam	0,298	0,29	Topcon Hiper GB
A500	6 jam	0,305	0,311	Topcon Hiper II
A600	6 jam	0,445	0,457	Topcon Hiper II
B700	6 jam	0,27	0,288	Topcon Hiper II
B800	6 jam	0,421	0,445	Topcon Hiper GB
B900	6 jam	0,259	0,257	Topcon Hiper II

Pada hasil cek kualitas data pada bulan April dan Juli dapat disimpulkan bahwa pada bulan April pada titik A100 memiliki nilai moving average yang melebihi 0,5 yaitu 0,501 m (MP1) dan 0,479 m (MP2), sedangkan untuk bulan Juli dapat disimpulkan bahwa keseluruhan nilai moving average lebih kecil dari 0,5 m.

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 2018 hasil olahan GAMIT

TITIK	Apr-18					
	KARTESIAN GEOSENTRIK			Standar Deviasi		
	X	Y	Z	x	y	z
A100	-2211370,0385	5931608,6947	-777830,3163	0,01185	0,0272	0,0078
A200	-2211376,1559	5931602,3403	-777861,9266	0,0073	0,0178	0,0047
A300	-2211380,6808	5931597,5193	-777887,2574	0,0073	0,0178	0,0047
A400	-2211386,7880	5931590,6693	-777922,0853	0,0074	0,0179	0,0047
A500	-2211392,0800	5931584,5973	-777952,9581	0,0064	0,0151	0,0043
A600	-2211398,0621	5931578,0526	-777985,8159	0,0078	0,0191	0,0050
B700	-2211406,8100	5931573,4947	-777958,2467	0,0098	0,0235	0,0063
B800	-2211399,8704	5931581,6168	-777914,4064	0,0096	0,0231	0,0063
B900	-2211392,9210	5931589,9710	-777868,5838	0,0093	0,0224	0,0061

Tabel 6 Koordinat kartesian geosentrik Juli 2018 hasil olahan GAMIT

TITIK	Jul-18					
	KARTESIAN GEOSENTRIK			Standar Deviasi		
	X	Y	Z	x	y	z
A100	-2211370,0558	5931608,6993	-777830,3114	0,0116	0,0246	0,0067
A200	-2211376,1464	5931602,3401	-777861,9199	0,0091	0,0197	0,0052
A300	-2211380,6972	5931597,5344	-777887,2532	0,0089	0,0196	0,0053
A400	-2211386,7902	5931590,6604	-777922,0807	0,0094	0,0202	0,0058
A500	-2211392,0903	5931584,5985	-777952,9455	0,0101	0,0212	0,0059
A600	-2211398,0605	5931578,0501	-777985,8133	0,0106	0,0214	0,0061
B700	-2211406,8075	5931573,4977	-777958,2315	0,0099	0,0209	0,0055
B800	-2211399,8714	5931581,6163	-777914,3974	0,0086	0,0175	0,0046
B900	-2211392,9165	5931589,9721	-777868,5758	0,0097	0,0209	0,0055

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

Tabel 7 Koordinat geodetik April 2018

Titik	Apr-18		
	Koordinat Geodetik		
	Lintang	Bujur	Tinggi (m)
A100	-7,051667325	110,4460176	204,20708
A200	-7,051955222	110,4460895	204,29954
A300	-7,052185792	110,4461432	204,49504
A400	-7,052503081	110,4462166	204,51847
A500	-7,052784385	110,4462807	204,49731
A600	-7,053083727	110,4463521	204,51971
B700	-7,052837681	110,4464407	199,92897
B800	-7,052438517	110,4463562	199,69308
B900	-7,052021326	110,4462708	199,42667

Tabel 8 Koordinat geodetik Juli 2018

Titik	Jul-18		
	Koordinat Geodetik		
	Lintang	Bujur	Tinggi (m)
A100	-7,05166727	110,4460177	204,1952
A200	-7,05195517	110,4460895	204,3038
A300	-7,05218573	110,4461432	204,5143
A400	-7,05250305	110,4462167	204,5104
A500	-7,05278427	110,4462808	204,5004
A600	-7,05308371	110,4463521	204,5165
B700	-7,05283754	110,4464407	199,929
B800	-7,05243844	110,4463562	199,6919
B900	-7,05202126	110,4462708	199,4252

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 2018). 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 Juli 2018 dapat ditentukan, dan hasil dari koordinat toposentrik periode Juli 2018 ditunjukkan oleh **Tabel 9**.

Tabel 9 Pergeseran koordinat April-Juli 2018

Titik	Koordinat Kartesian Toposentris (meter)			Standar Deviasi		
	n	e	u	n	e	u
A100	0,00615	0,01454	0,00965	0,00540	0,00650	0,02667
A200	0,00619	-0,00885	-0,00426	0,00450	0,00599	0,02098
A300	0,00664	0,01013	0,01925	0,00458	0,00564	0,02093
A400	0,00367	0,00509	-0,00812	0,00503	0,00595	0,02169
A500	0,01305	0,00698	0,01099	0,00520	0,00645	0,02269
A600	0,00217	-0,00068	-0,00324	0,00556	0,00649	0,02308
B700	0,01532	-0,00342	-0,00005	0,00481	0,00651	0,02239
B800	0,00895	0,00110	-0,00117	0,00414	0,00554	0,01883
B900	0,00787	-0,00462	-0,00098	0,00477	0,00631	0,02228

IV.1.4 Hasil Pengukuran Tinggi dengan Waterpass

Pengamatan tinggi menggunakan alat WP (*waterpass*) dilakukan pada titik pengamatan yang dilakukan pengukuran GNSS. Pengukuran dilakukan setiap periode pengamatan dengan mengikatkan ke titik kontrol *waterpass* (WP01) yang terdapat diluar tubuh bendungan, pengukuran beda tinggi dengan *waterpass* menggunakan pengukuran *waterpass* tertutup dengan dua kali pengamatan tinggi setiap titik pantau untuk setiap periode pengamatan. Tinggi yang digunakan adalah tinggi lokal terhadap titik kontrol WP01 (100 m). Hasil pengolahan data pengukuran *waterpass* dapat dilihat pada **Tabel 10** dan **Tabel 11**

Tabel 10 Hasil pengukuran tinggi dengan *waterpass* bulan April

Titik	Tinggi Titik (m)	STDEV (m)
A100	95,3027	0,000849
A200	95,4298	0,001980
A300	95,59625	0,002475
A400	95,6682	0,001131
A500	95,64255	0,000495
A600	95,6537	0,000424
B700	91,0804	0,002263
B800	90,8411	0,001839
B900	90,554	0,000566

Tabel 11 Hasil pengukuran tinggi dengan *waterpass* bulan Juli

Titik	Tinggi Titik (m)	STDV (m)
A100	95,29435	0,002475
A200	95,4265	0,003111
A300	95,5929	0,003111
A400	95,668	0,00396
A500	95,6427	0,004101
A600	95,6549	0,003394
B700	91,07465	0,001344
B800	90,8334	0,001556
B900	90,54925	0,002051

IV.1.5 Hasil Pengukuran Jarak Menggunakan Totalstation

Pengukuran total station menghasilkan data jarak dan data koordinat dari titik pengamatan terhadap titik berdiri alat yaitu titik TS01 dengan *backsight* WP01. Setiap periode pengamatan dilakukan 10 kali pengukuran, dari hasil 10 kali pengukuran dihitung jarak rata-rata, maka akan didapat hasil jarak per periode pengamatan. Berikut data jarak dari TS01 menuju ke titik pengamatan deformasi dapat dilihat pada **Tabel 12** dan **Tabel 13**

Tabel 12 Hasil pengukuran jarak April 2018

April		
Titik	Jarak (meter)	Stdv (meter)
A100	180,8824	0,000843
A200	148,5037	0,000675
A300	122,925	0,000707
A400	88,3299	0,000316
A500	59,1881	0,000316
A600	33,7701	0,000316
B700	43,8519	0,000316
B800	87,7969	0,000316
B900	134,4669	0,000568

Tabel 13 Hasil pengukuran jarak Juli 2018

Juli		
Titik	Jarak (meter)	Stdv (meter)
A100	180,8829	0,000333
A200	148,5029	0,000316
A300	122,9258	0,001549
A400	88,3295	0,000527
A500	59,1881	0,000316
A600	33,7708	0,001033
B700	43,8524	0,001265
B800	87,7988	0,004638
B900	134,4682	0,001932

IV.2 Analisis dan Pembahasan

IV.2.1 Analisa Hasil GNSS

Analisa hasil dilakukan dengan cara melakukan uji t pada hasil setiap titik pengamatan yang telah diolah menggunakan software GAMIT 10.7. 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 (∞) untuk pengamatan GNSS maka didapat nilai t-tabel sebesar 1,96. 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, 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 14** dan **Tabel 15**.

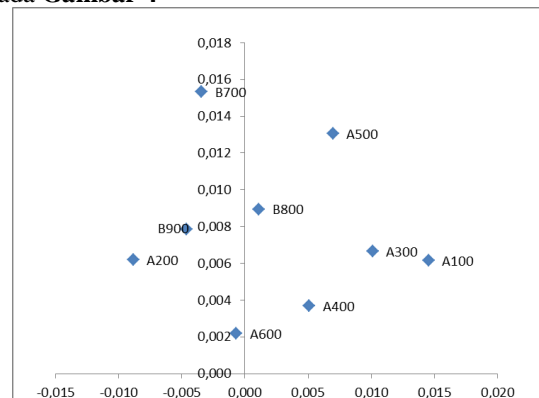
Tabel 14 Hasil uji statistik pergeseran pengamatan GNSS

No	Stasiun	P (meter)	std P (meter)	T-hitungan	Pergeseran
1	A100	0,0157	0,0084	1,8679	Tidak
2	A200	0,0108	0,0074	1,4421	Tidak
3	A300	0,0121	0,0072	1,6678	Tidak
4	A400	0,0062	0,0077	0,8055	Tidak
5	A500	0,0147	0,0082	1,7861	Tidak
6	A600	0,0022	0,0085	0,2666	Tidak
7	B700	0,0156	0,008	1,9394	Tidak
8	B800	0,009	0,0069	1,3033	Tidak
9	B900	0,0091	0,0079	1,1534	Tidak

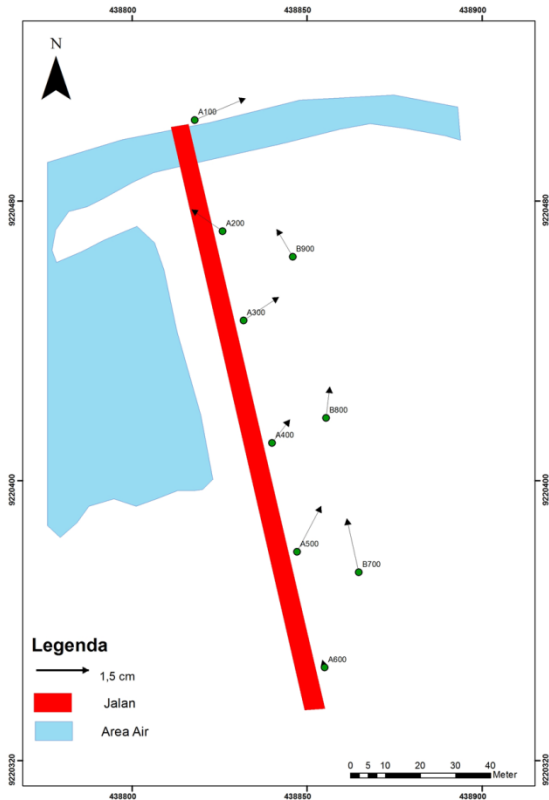
Tabel 15 Hasil uji statistik perubahan tinggi pengamatan GNSS

No	Stasiun	P	std P	T-hitungan	Perubahan tinggi
1	A100	0,0097	0,02667	0,3619	Tidak
2	A200	-0,0043	0,02098	-0,2032	Tidak
3	A300	0,0192	0,02093	0,9195	Tidak
4	A400	-0,0081	0,02169	-0,3742	Tidak
5	A500	0,0110	0,02269	0,4845	Tidak
6	A600	-0,0032	0,02308	-0,1404	Tidak
7	B700	-0,0001	0,02239	-0,0023	Tidak
8	B800	-0,0012	0,01883	-0,0623	Tidak
9	B900	-0,0010	0,02228	-0,0439	Tidak

Berdasarkan hasil uji statistik pada pergerakan titik pengamatan didapatkan seluruh titik tidak mengalami pergerakan, hal tersebut dilihat dari hasil t hitung yang lebih kecil dibandingkan dengan t tabel. Hasil uji statistik tersebut dapat disimpulkan bahwa hipotesa nol (H_0) diterima ditunjukkan dari parameter yang di uji tidak terjadi perubahan. Sedangkan untuk hasil uji t pada perubahan tinggi titik pengamatan tidak terdapat hasil t hitung yang nilainya melebihi t tabel (1,96) sehingga tidak terdapat titik pengamatan yang terjadi perubahan ketinggian berdasarkan hasil uji statistik. Hasil perubahan tersebut dikelompokkan dalam empat kuadran, dilihat dari **Gambar 3** dan dapat digambarkan arah pergerakan dari titik pengamatan pada **Gambar 4**



Gambar 3 Kuadran pergeseran titik pengamatan



Gambar 4 Ilustrasi vektor pergerakan

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*

Titik	Selisih (m)	T hitung	T Tabel	Pergeseran
A100	0,00049	1,3617	2,262	Tidak
A200	0,00080	2,113	2,262	Tidak
A300	0,00085	1,7586	2,262	Tidak
A400	0,00040	1,809	2,262	Tidak
A500	0,00000	0	2,262	Tidak
A600	0,00070	1,909	2,262	Tidak
B700	0,00050	1,4638	2,262	Tidak
B800	0,00190	1,278	2,262	Tidak
B900	0,00130	1,7782	2,262	Tidak

Hasil pengolahan menunjukkan terjadinya perubahan jarak pada titik pengamatan, namun berdasarkan uji t yang telah dilakukan didapatkan nilai t hitung yang lebih kecil dibandingkan dengan t tabel. Berdasarkan uji statistik yang telah dilakukan menunjukkan nilai t-hitungan lebih kecil nilainya dari t-tabel ($t_{df, \alpha/2}$) sehingga titik dianggap tidak terjadi perubahan jarak terhadap TS01 atau tidak terjadi deformasi.

IV.2.3 Analisis Perubahan Tinggi Titik Pantau Deformasi Pengamatan Waterpass

Nilai perubahan tinggi pengamatan *waterpass* dilakukan uji statistik (uji-t) dengan nilai t-tabel 12, 706 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)	Std (mm)	T Hitung	Perubahan Tinggi
A100	-0,25	0,1	-2,5385	Tidak
A200	-0,96	0,1	-9,6154	Tidak
A300	-5,87	0,4	-12,6731	Tidak
A400	-3,43	0,8	-4,2837	Tidak
A500	-6,13	0,6	10,2244	Tidak
A600	-0,54	0,6	0,9038	Tidak
B700	-6,17	0,9	-6,8590	Tidak
B800	-8,78	0,8	-10,9760	Tidak
B900	-8,29	1	8,2885	Tidak

Berdasarkan 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

Pada penelitian ini telah dilakukan pengukuran GNSS, TS dan WP pada periode April dan Juli 2018. Berdasarkan hasil dan analisa terhadap data tersebut didapat kesimpulan sebagai berikut :

1. Perubahan ketinggian dan pergeseran hasil pengukuran GNSS tidak signifikan berdasarkan uji statistik yang telah dilakukan.
2. Perubahan jarak hasil pengukuran total station tidak signifikan berdasarkan hasil uji statistik yang telah dilakukan.
3. Perubahan ketinggian berdasarkan pengukuran *waterpass* tidak signifikan berdasarkan hasil uji statistik yang telah dilakukan.

V.2 Saran

1. Sebelum pengukuran WP dan TS dilakukan sebaiknya ukur terlebih dahulu titik TS01 dan WP01 menggunakan GNSS dengan lama pengamatan sesuai pengamatan titik deformasi sehingga didapatkan koordinat yang sesuai.
2. Pengukuran jarak menggunakan TS seharusnya mempertimbangkan parameter suhu dan tekanan udara sehingga hasil lebih teliti

3. Pengamatan deformasi sebaiknya dilakukan dengan epoch yang lebih banyak sehingga dapat menghasilkan ketelitian yang lebih baik

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, B. D., 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..