

**PENGAMATAN GPS UNTUK MONITORING DEFORMASI
BENDUNGAN UNDIIP**

Muhammad Adnan Yusuf, Bambang Darmo Yuwono, Yudo Prasetyo^{*)}

Program Studi Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto SH, Tembalang Semarang Telp.(024) 76480785, 76480788
E-mail : geodesi@undip.ac.id

ABSTRAK

Bendungan merupakan salah satu sarana multifungsi yang memiliki peranan penting bagi kehidupan manusia. Suatu bangunan jika mendapatkan tekanan maka akan mengalami perubahan dimensi ataupun bentuk. Seperti halnya yang dialami bendungan, jika tubuh bendungan mendapatkan tekanan dari efek *loading* air danau bendungan. Akibat gaya tekanan ini maka tubuh bendungan kemungkinan akan dapat mengalami deformasi. Maka dari itu perlu dilakukan pemeliharaan dan perawatan dengan melakukan pemantauan deformasi secara berkala.

Dalam penelitian ini, metode pengukuran deformasi yang digunakan adalah metode pengukuran relatif dengan alat ukur GPS *dual frequency* pada sembilan titik pengamatan yang terletak di bendungan utama. Karakteristik deformasi yang dikaji besar pergeseran dan kecepatan pergeseran pertahun. Software yang digunakan untuk pengolahan data GPS adalah perangkat lunak GAMIT 10.5. Penelitian dilakukan selama tiga periode : Maret, April dan Mei 2015.

Hasil pergeseran rata-rata yang terjadi pada sumbu $X = 0,726 \pm 0,362$ mm, sumbu $Y = 0,561 \pm 0,364$ mm dan sumbu $Z = 1,471 \pm 0,657$ mm dan rata-rata nilai perkiraan kecepatan pergeseran titik pengamatan pertahun pada sumbu $X = 4,006 \pm 2,133$ mm/tahun, sumbu $Y = 2,971 \pm 1,502$ mm/tahun dan sumbu $Z = 7,961 \pm 3,602$ mm/tahun.

Kata Kunci : Bendungan, Deformasi, GAMIT dan GPS

ABSTRACT

Dam is one multifunctional tools which has an important role in human life. If a building is under pressure, it will change the dimensions of shape. As well as the dam, if the construction of it gets pressure from the dam lake water loading effect, as the result, the dam construction will be throug deformation. Therefore it is necessary for the maintenance and tendance by conducting periodic deformation monitoring.

The research method is using differential positioning method with GPS dual frequency at nine points of monitoring which located at the main dam. The deformation characteristic which are examined are the amount of the displacement value and the displacement speed per year. The technique of analyzing data in this research is using Scientific Software GAMIT 10.5. This research takes on three times period starts from March, April, and finishing May 2015.

The mean result that occurs on the X axis = $0.726 \pm 0,362$ mm, Y axis = $0.561 \pm 0,364$ mm and Z axis = $1,471 \pm 0,657$ mm and the average value of the speed observation point per year on the X axis = $4,006 \pm 2,133$ mm/year, the Y axis = $2,971 \pm 1,502$ mm/year and the Z axis = $7.961 \pm 3,602$ mm/year.

Keywords: Dam, Deformation, GAMIT and GPS

^{*)} Penulis Penanggung Jawab

I. Pendahuluan

I.1. Latar Belakang

Bendungan merupakan salah satu sarana multifungsi yang memiliki peranan penting bagi kehidupan manusia. Bendungan memiliki beberapa manfaat penting antara lain menyimpan cadangan air, mencegah banjir, menyediakan irigasi, menjadi tempat wisata, sebagai PLTA, tempat budidaya ikan perikanan, tempat konservasi hewan dan tumbuhan dan arena olahraga air. Begitu juga manfaat yang diharapkan dari proyek pembangunan bendungan UNDIP sebagai pengendali banjir dari sungai Krenseng. Disamping itu bendungan UNDIP ini berfungsi sebagai penyedia air baku kampus UNDIP, pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH), mengurangi debit banjir pada daerah hilir, meningkatkan kapasitas resapan air tanah sebagai usaha konservasi.

Suatu bangunan jika mendapatkan tekanan maka akan mengalami perubahan dimensi ataupun bentuk. Seperti halnya yang dialami bendungan, jika tubuh bendungan mendapatkan tekanan dari efek *loading* air danau bendungan. Akibat gaya tekanan ini maka tubuh bendungan kemungkinan akan dapat mengalami deformasi. Karena bendungan memiliki peranan yang cukup penting bagi kehidupan masyarakat, maka diperlukan suatu bentuk pemeliharaan dan perawatan yang memadai guna menghindari kerusakan pada bendungan tersebut. Salah satu bentuk pemeliharaan dan perawatan tersebut adalah dengan melakukan pemantauan deformasi pada tubuh bendungan. Pemantauan deformasi pada tubuh bendungan harus dilakukan secara berkala dan terus menerus.

Pemantauan secara berkala, dengan metoda observasi berulang serta pencatatan mengenai perilaku bendungan dapat dilakukan dengan bantuan instrumentasi atau peralatan lain. Data hasil pemantauan tersebut dapat menggambarkan perilaku suatu bendungan, sehingga gejala-gejala yang akan terjadi dapat diketahui secara dini. Pengambilan data secara berulang dan terus menerus sangat rentan terhadap kesalahan manusia (*human error*) hal ini dikarenakan pengambilan data dilakukan dalam jumlah banyak dan terus menerus pada lokasi yang sama.

Oleh karena itu diperlukan survei pengamatan GPS menggunakan GPS dual-frekuensi dengan ketelitian cukup tinggi dengan strategi pengamatan yang baik agar dapat dilakukan penanganan sebelum

terjadi bahaya ataupun sebagai tindakan perawatan bendungan.

I.2. Perumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana besaran dan kecepatan deformasi yang terjadi pada struktur Bendungan UNDIP?
2. Bagaimana arah vektor horisontal dan vertikal bendungan UNDIP ditinjau dari hasil pengukuran deformasi?
3. Bagaimana ketelitian pengolahan data GPS yang menggunakan *Scientific Software GAMIT* untuk monitoring deformasi di Bendungan UNDIP?

I.3. Batasan Masalah

Untuk menjelaskan permasalahan yang akan dibahas dan agar tidak terlalu jauh dari kajian masalah, maka penelitian ini akan dibatasi pada hal-hal berikut:

1. Pengumpulan data sembilan titik pengamatan Bendungan UNDIP menggunakan metode relatif, pengamatan secara statik, menggunakan alat tipe GPS *dual frekuensi*.
2. Penelitian tugas akhir ini tidak membahas tentang *baseline*.
3. Pengolahan data pengamatan GPS menggunakan *Scientific Software GAMIT* sehingga dihasilkan koordinat titik pengamatan.
4. Menggunakan titik ikat global berjumlah 5 stasiun (COCO, PIMO, BAKO, DARW, XMIS) yang kemudian dikombinasikan sesuai keperluan.
5. Penelitian berfokus pada deformasi pada bendung utama (*main dam*) Bendungan UNDIP yang terjadi pada bulan Maret-mei 2015.

I.4. Maksud Penelitian

Manfaat dari penelitian ini dibagi menjadi dua, yaitu manfaat dari segi keilmuan dan manfaat dari segi kerekesayaan.

Manfaat dari segi keilmuan :

1. Metode pengamatan GPS adalah metode yang paling cocok untuk *monitoring* bendungan UNDIP.

Manfaat dari segi kerekesayaan :

1. Penelitian ini bermanfaat untuk mengetahui seberapa besar pergeseran yang terjadi pada bendungan UNDIP sehingga masyarakat dapat memperkirakan umur dari bendungan.

I.5. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan Penelitian yang ingin dicapai dalam penelitian ini, adalah:

1. Mengetahui besaran dan kecepatan deformasi yang terjadi di Bendungan UNDIP.
2. Mengetahui arah vektor horisontal dan vertikal bendungan UNDIP ditinjau dari hasil pengukuran deformasi.
3. Mengetahui ketelitian pengolahan data GPS yang menggunakan *Scientific Software GAMIT* pada monitoring deformasi.

II. Tinjauan Pustaka

II.1. Bendungan

Bendungan atau dam adalah konstruksi yang dibangun untuk menahan laju air menjadi waduk, danau atau tempat rekreasi. Seringkali bendungan juga digunakan untuk mengalirkan air ke sebuah Pembangkit Listrik Tenaga Air. Kebanyakan dam juga memiliki bagian yang disebut pintu air untuk membuang air yang tidak diinginkan secara bertahap atau berkelanjutan. Bendungan memiliki beberapa manfaat penting antara lain irigasi, penyediaan air baku, sebagai PLTA, pengendali banjir, perikanan, pariwisata dan olahraga air. Dalam pembangunan bendungan tentu bertujuan untuk memberikan manfaat dan kesejahteraan bagi masyarakat. Pembangunan ditujukan untuk mencapai kondisi yang lebih baik dari sebelumnya.

II.2. Deformasi

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. Perubahan kedudukan atau pergerakan suatu titik pada umumnya mengacu kepada suatu sistem kerangka referensi (absolut atau relatif).

Untuk mengetahui sifat deformasi yang terjadi dibutuhkan informasi mengenai status geometrik dari

materi berupa posisi, bentuk, dan dimensi yang dapat diperoleh melalui analisis geometrik menggunakan data hasil pengamatan geodetik terhadap gaya respon suatu benda terhadap gaya deformasi.

II.3. GPS (*Global Positioning System*)

GPS (*Global Positioning System*) adalah sistem satelit navigasi dan penentuan posisi menggunakan satelit. Nama formalnya adalah NAVSTAR GPS, kependekan dari "*NAVigation Satellite Timing and Ranging Global Position System*". Sistem yang dapat digunakan oleh banyak orang sekaligus dalam segala cuaca ini, didesain untuk memberikan posisi dan kecepatan tiga dimensi yang teliti, dan juga informasi mengenai waktu, secara kontinyu di seluruh dunia (Abidin, 2007). Di Indonesia sendiri penggunaan GPS sudah dimulai sejak beberapa tahun yang lalu dan terus berkembang sampai saat ini baik dalam volume maupun jenis aplikasinya. Salah satu aplikasinya adalah untuk monitoring deformasi bendungan.

Beberapa kemampuan GPS antara lain dapat memberikan informasi tentang posisi, kecepatan, dan waktu secara cepat, akurat, murah, dimana saja di bumi ini tanpa tergantung cuaca. Hal yang perlu dicatat bahwa GPS adalah satu-satunya sistem navigasi ataupun sistem penentuan posisi dalam beberapa abad ini yang memiliki kemampuan handal seperti itu (Abidin, 2007).

III. Metodologi Penelitian

III.1. Alat Yang Digunakan

Peralatan yang dibutuhkan untuk penelitian dibagi menjadi dua komponen yaitu :

a. *Hardware*

1. Laptop dengan spesifikasi *Processor Intel(R) Core(TM) i5 CPU @ 2.67 GHz, 4GB RAM, Harddisk 500GB*.
2. Alat Tulis,
3. GPS Topcon Hiper GB pada periode Maret 2015,
4. GPS Topcon Hiper II dan Ashtech ProMark 500 dan 800 periode April dan Mei 2015
5. *Statif*,
6. Meteran.

b. *Software*

1. Sistem Operasi Ubuntu 14.10 LTS.
2. Perangkat lunak GAMIT versi 10.5.

3. TEQC untuk cek kualitas data obsevasi GPS dan menggabungkan data observasi.
4. *Software Topcon Link*
5. *Software Microsoft Word 2007.*
6. *Software Microsoft Excel 2007*
7. *Software Microsoft Visio 2007*

III.2. Data Penelitian

Data pengamatan yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah data penegamatan GPS yang dilakukan di Bendungan UNDIP pada tahun 2015 bulan Maret, April dan Mei. Waktu pelaksanaan pengamatan dapat dilihat pada *Tabel 3.1.*

Tabel 3.1. Waktu Pelaksanaan Pengamatan

| Periode | Tanggal | DOY | Titik Pengamatan | Durasi Pengamatan | Alat |
|----------|---------------|-----|------------------|-------------------|-------------------|
| Maret | 24 Maret 2015 | 083 | A1; A2 | 5 jam | Hiper Gb |
| | 25 Maret 2015 | 084 | A3; A4 | 5 jam | Hiper Gb |
| | 26 Maret 2015 | 085 | A5; A6 | 5 jam | Hiper Gb |
| | 27 Maret 2015 | 086 | B7; B8 | 5 jam | Hiper Gb |
| | 28 Maret 2015 | 087 | B9 | 5 jam | Hiper Gb |
| April | 27 April 2015 | 117 | A1 | 5 jam | Hiper II |
| | | 117 | A3 | 5 jam | ProMark 800 & 500 |
| | 28 April 2015 | 118 | A2 | 5 jam | ProMark 800 & 500 |
| | | 118 | A4 | 5 jam | ProMark 800 & 500 |
| | | 118 | A5 | 5 jam | Hiper II |
| | | 118 | A6 | 5 jam | Hiper II |
| | 29 April 2015 | 119 | B7 | 5 jam | Hiper II |
| | | 119 | B8 | 5 jam | Hiper II |
| 119 | | B9 | 5 jam | ProMark 800 & 500 | |
| Mei-Juni | 29 Mei 2015 | 149 | A1; A2 | 5 jam | ProMark 800 & 500 |
| | 30 Mei 2015 | 150 | A3; A4 | 5 jam | ProMark 800 & 500 |
| | 31 Mei 2015 | 151 | A5; A6 | 5 jam | ProMark 800 & 500 |
| | 01 Juni 2015 | 152 | B7; B8; B9 | 5 jam | ProMark 800 & 500 |

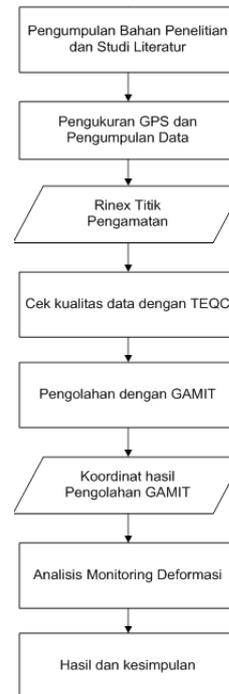
Data yang akan digunakan dalam penelitian ini terdiri dari :

- a. **Data Pengamatan**
Data Pengamatan GPS dalam satu kali pengukuran diperoleh dengan pengambilan data langsung di lokasi titik-titik pengamatan di Bendungan UNDIP, Semarang. Titik yang digunakan adalah titik A1, A2, A3, A4, A5, A6, B7, B8 dan B9 yang terpasang di lokasi Bendungan UNDIP.
- b. **Data Pendukung**
Data pendukung adalah data-data sekunder yang dilakukan saat pengolahan data. *Software* GAMIT menyediakan fasilitas dimana *user* secara otomatis dapat melakukan *download* data-data sekunder yang dibutuhkan apabila tersambung dengan internet. Adapun jika melakukan *download* secara manual adalah sebagai berikut :

- 1) *File IGS ephemeris final orbit.* File ini dalam bentuk *.sp3 dan dapat diunduh dari <http://garner.ucsd.edu/pub/products/>
- 2) *File navigasi.* File navigasi ini yang digunakan adalah yang bertipe *brdcDDD0.YYn* (DDD: DOY, YY: tahun) dan dapat diunduh dari <ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/gnss/data/daily>.
- 3) Ada 3 *file* tambahan yaitu : *file* gelombang pasang surut (*otl_FES2004.grd*), *file* atmosfer (*atmdisp_YYYY*), *file* pemodelan cuaca (*vmflgrdYYYY*), yang dapat diunduh dari <ftp://everest.mit.edu/pub/GRIDS>.
- 4) *H-file* global diunduh pada <ftp://garner.ucsd.edu/pub/hfiles> dengan DOY yang sama dengan DOY pada saat pengamatan.

III.3. Metodologi

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan metode GPS secara statik dengan pengikatan ke 5 titik IGS yaitu BAKO, COCO, DARW, PIMO dan XMIS Diagram alir penelitian dapat dilihat pada *Gambar 3.1.* :



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

III.4. Pengolahan Data

Proses yang dilakukan untuk melakukan pengolahan data adalah :

a. Pengecekan Dengan TEQC

Data pengamatan terlebih dahulu dilakukan cek kualitas sebelum diolah dengan *software* GAMIT. Pengecekan data dilakukan untuk mengetahui waktu mulai dan berakhirnya sebuah pengamatan, nilai *multipath* yang terjadi, interval perekaman, total satelit, dan informasi lainnya yang mana dapat menggunakan *software* TEQC.

b. Pengolahan Data Dengan GAMIT

GAMIT/GLOBK adalah sebuah paket *software* komprehensif untuk analisis data GPS yang dikembangkan oleh MIT, *Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics (CfA)* dan *Scripps Institution of Oceanography (SIO)* untuk mengestimasi koordinat dan kecepatan stasiun, representasi fungsional dan stokastik dari pasca kejadian deformasi, *delay* atmosfer, orbit satelit dan parameter orientasi bumi.

Pengolahan data pengamatan GPS dengan GAMIT dilaksanakan melalui 4 tahapan pengolahan, yaitu *makexp*, *makex*, *fixdrv* dan *batch processing*. Hasil akhir dari pengolahan data pengamatan GPS dengan GAMIT berupa *file Q*, *file H* dan *file L*. *File H* digunakan untuk proses selanjutnya yaitu pengolahan dengan perangkat lunak GLOBK. *File H* hasil pengolahan dengan GAMIT dan *file H* global hasil *download* dari internet (*IGS H-files*) selanjutnya diolah dengan GLOBK. Hasil akhir pengolahan dengan GLOBK berupa *file *.prt* yang merupakan perhitungan akhir terhadap koordinat dan ketelitian tiap stasiun, panjang *baseline*, ketelitian dan matrik *baseline*-nya.

IV. Hasil dan Pembahasan

IV.1. Hasil Pengecekan Data dengan TEQC

Hasil cek kualitas data pengamatan GPS Sesar Kaligarang dapat dilihat pada *Tabel 4.1*, *Tabel 4.2* dan *Tabel 4.3* :

Tabel 4.1. Hasil uji kualitas pada periode Maret 2015

| titik DOY | Bulan Maret | |
|-----------|----------------|--------------|
| | Moving Average | |
| | MP 1 (meter) | MP 2 (meter) |
| A1 | 0,462213 | 0,437755 |
| A2 | 0,320906 | 0,37095 |
| A3 | 0,374422 | 0,320437 |
| A4 | 0,317359 | 0,298551 |
| A5 | 0,354526 | 0,310182 |
| A6 | 0,370777 | 0,348227 |
| B7 | 0,356459 | 0,349318 |
| B8 | 0,305034 | 0,283275 |
| B9 | 0,294532 | 0,287113 |
| Rata-rata | 0,350692 | 0,333979 |

Tabel 4.2. Hasil uji kualitas pada periode April 2015

| titik DOY | Bulan April | |
|-----------|----------------|--------------|
| | Moving Average | |
| | MP 1 (meter) | MP 2 (meter) |
| A1 | 0,285716 | 0,268584 |
| A2 | 0,048556 | 0,108965 |
| A3 | 0,065413 | 0,132286 |
| A4 | 0,066542 | 0,162489 |
| A5 | 0,363811 | 0,363482 |
| A6 | 0,248757 | 0,253457 |
| B7 | 0,23259 | 0,237278 |
| B8 | 0,332037 | 0,336341 |
| B9 | 0,061116 | 0,165788 |
| Rata-rata | 0,189393 | 0,225408 |

Tabel 4.3. Hasil uji kualitas pada periode Mei 2015

| titik DOY | Bulan Mei | |
|-----------|----------------|--------------|
| | Moving Average | |
| | MP 1 (meter) | MP 2 (meter) |
| A1 | 0,067248 | 0,193408 |
| A2 | 0,072891 | 0,134787 |
| A3 | 0,058496 | 0,112385 |
| A4 | 0,074316 | 0,122197 |
| A5 | 0,096063 | 0,168451 |
| A6 | 0,070416 | 0,165454 |
| B7 | 0,080908 | 0,127317 |
| B8 | 0,064353 | 0,105209 |
| B9 | 0,050538 | 0,086653 |
| Rata-rata | 0,070581 | 0,135096 |

Pada *Tabel 4.1*, *Tabel 4.2* dan *Tabel 4.3* menunjukkan efek *multipath* terjadi pada 9 titik pengamatan. Dimana nilai *multipath* atau *moving average* pada MP1 yang paling besar adalah pada titik A1 yaitu 0,462213 m di periode Maret, pada titik A5 0,363811 m di periode April dan pada titik A5 0,096063 m, sedangkan *multipath* terkecil ada pada titik B9 yaitu sebesar 0,294532 m di periode Maret, pada titik A2 0,048556 m di periode April dan pada titik B9 0,050538 m pada periode Mei. Nilai MP2

yang paling besar adalah pada titik A1 yaitu 0,437755 m di periode Maret, pada titik A5 0,363482 m di periode April dan pada titik A1 0,193408 m, sedangkan nilai MP2 terkecil ada pada titik B8 yaitu sebesar 0,283275 m di periode Maret, pada titik A2 0,108965 m di periode April dan pada titik B9 0,086653 m pada periode Mei. Secara keseluruhan nilai MP1 dan MP2 pada data pengamatan periode Maret, April dan Mei kurang dari 0,5 m yang artinya terjadi efek *multipath* yang kecil pada titik-titik pengamatan.

IV.2. Hasil Pengolahan dengan GAMIT/GLOBK

Hasil dari pengolahan GAMIT dan GLOBK adalah nilai koordinat beserta simpangan bakunya. Nilai koordinat dari masing-masing titik setiap periode pengukuran ditampilkan dalam *Tabel 4.4*, *Tabel 4.5* dan *Tabel 4.6* :

Tabel 4.4. Koordinat kartesian titik pengamatan periode Maret

| Nama Titik dan DOY | Koordinat Kartesian Periode Maret 2015 | | | | | |
|--------------------|--|---------------|---------------|---------------------|------|------|
| | Koordinat (m) | | | Simpangan Baku (mm) | | |
| | X | Y | Z | X | Y | Z |
| A1 (083) | -2211369,95424 | 5931608,77221 | -777830,31643 | 3,4 | 3,8 | 3,3 |
| A2 (083) | -2211376,05613 | 5931602,42001 | -777861,95208 | 3,3 | 2,2 | 2,6 |
| A3 (084) | -2211380,58829 | 5931597,56170 | -777887,26713 | 4 | 3,1 | 1,8 |
| A4 (084) | -2211386,71729 | 5931590,76258 | -777922,10928 | 2,66 | 2,11 | 2,54 |
| A5 (085) | -2211392,00251 | 5931584,67142 | -777952,96865 | 4,09 | 3,95 | 1,93 |
| A6 (085) | -2211397,99081 | 5931578,15901 | -777985,83887 | 2,67 | 2,12 | 3,25 |
| B7 (086) | -2211406,71354 | 5931573,56315 | -777958,27833 | 2,9 | 3,8 | 1,91 |
| B8 (086) | -2211399,82244 | 5931581,75809 | -777914,44202 | 2,06 | 2,87 | 3,2 |
| B9 (087) | -2211392,85916 | 5931590,04345 | -777868,60079 | 2,98 | 3,83 | 2,73 |

Tabel 4.5. Koordinat kartesian titik pengamatan periode April

| Nama Titik dan DOY | Koordinat Kartesian Periode April 2015 | | | | | |
|--------------------|--|---------------|---------------|---------------------|------|------|
| | Koordinat (m) | | | Simpangan Baku (mm) | | |
| | X | Y | Z | X | Y | Z |
| A1 (117) | -2211369,95334 | 5931608,76854 | -777830,31520 | 2,11 | 2,87 | 1,05 |
| A2 (118) | -2211376,05545 | 5931602,41705 | -777861,95140 | 2,78 | 3,77 | 1,83 |
| A3 (117) | -2211380,58687 | 5931597,56024 | -777887,26515 | 3,87 | 4,78 | 2 |
| A4 (118) | -2211386,71692 | 5931590,75952 | -777922,10865 | 3,01 | 3,81 | 1,89 |
| A5 (118) | -2211392,00184 | 5931584,66804 | -777952,96615 | 2,03 | 2,84 | 1,03 |
| A6 (118) | -2211397,99046 | 5931578,15580 | -777985,83771 | 3,06 | 2,18 | 2,37 |
| B7 (119) | -2211406,71285 | 5931573,56066 | -777958,27709 | 3,24 | 3,82 | 2,9 |
| B8 (119) | -2211399,82185 | 5931581,75555 | -777914,44131 | 2,55 | 2,89 | 2,33 |
| B9 (119) | -2211392,85968 | 5931590,04777 | -777868,59959 | 1,84 | 1,96 | 1,75 |

Tabel 4.6. Koordinat kartesian titik pengamatan periode Mei

| Nama Titik dan DOY | Koordinat Kartesian Periode Mei 2015 | | | | | |
|--------------------|--------------------------------------|---------------|---------------|---------------------|------|------|
| | Koordinat (m) | | | Simpangan Baku (mm) | | |
| | X | Y | Z | X | Y | Z |
| A1 (149) | -2211369,95358 | 5931608,76950 | -777830,31529 | 3,2 | 1,52 | 1,81 |
| A2 (149) | -2211376,05563 | 5931602,41783 | -777861,95149 | 1,16 | 1,9 | 2,42 |
| A3 (150) | -2211380,58715 | 5931597,55982 | -777887,26595 | 2,65 | 2,9 | 1,02 |
| A4 (150) | -2211386,71652 | 5931590,75773 | -777922,10876 | 1,87 | 1,96 | 1,21 |
| A5 (151) | -2211392,00153 | 5931584,66789 | -777952,96608 | 1,88 | 1,97 | 1,76 |
| A6 (151) | -2211397,99033 | 5931578,15614 | -777985,83774 | 2,63 | 2,89 | 1,01 |
| B7 (152) | -2211406,71300 | 5931573,55907 | -777958,27713 | 2,69 | 2,91 | 2,38 |
| B8 (152) | -2211399,82198 | 5931581,75599 | -777914,44137 | 3,39 | 3,8 | 2,35 |
| B9 (152) | -2211392,85956 | 5931590,04656 | -777868,59945 | 1,91 | 1,97 | 1 |

Tabel 4.7. Koordinat geodetik titik pengamatan periode Maret

| NAMA TITIK | Koordinat Geodetis Periode Maret 2015 | | |
|------------|---------------------------------------|----------------------|----------------|
| | Koordinat | | |
| | Lintang | Bujur | Tinggi (meter) |
| A1 | 7°03'06.0022026" S | 110°26'45.6597943" E | 204,249973 |
| A2 | 7°03'07.0394626" S | 110°26'45.9183893" E | 204,342205 |
| A3 | 7°03'07.8691325" S | 110°26'46.1120565" E | 204,503589 |
| A4 | 7°03'09.0116143" S | 110°26'46.3765667" E | 204,583618 |
| A5 | 7°03'10.0239590" S | 110°26'46.6072580" E | 204,540644 |
| A6 | 7°03'11.1018602" S | 110°26'46.8642099" E | 204,596764 |
| B7 | 7°03'10.2165492" S | 110°26'47.1828307" E | 199,963024 |
| B8 | 7°03'08.7793467" S | 110°26'46.8791646" E | 199,812246 |
| B9 | 7°03'07.2771372" S | 110°26'46.5722661" E | 199,474703 |

Tabel 4.8. Koordinat geodetik titik pengamatan periode April

| NAMA TITIK | Koordinat Geodetis Periode April 2015 | | |
|------------|---------------------------------------|----------------------|----------------|
| | Koordinat | | |
| | Lintang | Bujur | Tinggi (meter) |
| A1 | 7°03'06.0021779" S | 110°26'45.6598086" E | 204,246097 |
| A2 | 7°03'07.0394527" S | 110°26'45.9184023" E | 204,339133 |
| A3 | 7°03'07.8690761" S | 110°26'46.1120297" E | 204,501496 |
| A4 | 7°03'09.0116060" S | 110°26'46.3765902" E | 204,580567 |
| A5 | 7°03'10.0238919" S | 110°26'46.6072761" E | 204,536962 |
| A6 | 7°03'11.1018352" S | 110°26'46.8642357" E | 204,593515 |
| B7 | 7°03'10.2165195" S | 110°26'47.1828379" E | 199,960317 |
| B8 | 7°03'08.7793341" S | 110°26'46.8791754" E | 199,809592 |
| B9 | 7°03'07.2770815" S | 110°26'46.5722328" E | 199,478753 |

Tabel 4.9. Koordinat geodetik titik pengamatan periode Mei

| NAMA TITIK | Koordinat Geodetis Periode Mei 2015 | | |
|------------|-------------------------------------|----------------------|----------------|
| | Koordinat | | |
| | Lintang | Bujur | Tinggi (meter) |
| A1 | 7°03'06.0021769" S | 110°26'45.6598050" E | 204,247084 |
| A2 | 7°03'07.0394525" S | 110°26'45.9183989" E | 204,339932 |
| A3 | 7°03'07.8691030" S | 110°26'46.1120430" E | 204,501300 |
| A4 | 7°03'09.0116168" S | 110°26'46.3765983" E | 204,578778 |
| A5 | 7°03'10.0238906" S | 110°26'46.6072683" E | 204,536706 |
| A6 | 7°03'11.1018351" S | 110°26'46.8642279" E | 204,593790 |
| B7 | 7°03'10.2165265" S | 110°26'47.1828314" E | 199,958895 |
| B8 | 7°03'08.7793342" S | 110°26'46.8791744" E | 199,810054 |
| B9 | 7°03'07.2770825" S | 110°26'46.5722430" E | 199,477569 |

Tabel 4.7-Tabel 4.9 adalah hasil transformasi koordinat dari koordinat hasil pengolahan GAMIT yaitu geosentrik ke koordinat geodetis.

IV.3. Deformasi Titik Pengamatan

Untuk mengetahui besarnya nilai pergeseran titik pengamatan maka dilakukan transformasi koordinat geodetis menjadi koordinat toposentrik.

Menggunakan rumus perhitungan transformasi, dengan mengasumsikan pengamatan pada periode Maret 2015 sebagai koordinat origin/titik nol toposentrik maka didapatkan hasil transformasi koordinat toposentrik pada periode April 2015 dan periode Mei 2015 pada tabel di

bawah ini. Nilai koordinat toposentrik tersebut merupakan nilai perubahan koordinat yang meliputi ΔX , ΔY dan ΔZ . Dapat dilihat pada *Tabel 4.10* dan *Tabel 4.11*.

Tabel 4.10 Koordinat Toposentrik periode April 2015 dengan koordinat origin Maret 2015

| Koordinat Toposentrik Titik Bendungan Periode April 2015 | | | | |
|--|---------------|----------|----------|-----------|
| Nama Titik | Koordinat (m) | | | Jarak (m) |
| | X | Y | Z | |
| A1 | 0,000809 | 0,000439 | 0,001682 | 0,00092 |
| A2 | 0,000707 | 0,000397 | 0,001045 | 0,00081 |
| A3 | 0,000229 | 0,000821 | 0,002194 | 0,00085 |
| A4 | 0,000855 | 0,000722 | 0,000993 | 0,00112 |
| A5 | 0,000633 | 0,000553 | 0,002899 | 0,00084 |
| A6 | 0,000849 | 0,000793 | 0,001536 | 0,00116 |
| B7 | 0,000472 | 0,000223 | 0,001547 | 0,00052 |
| B8 | 0,000589 | 0,000334 | 0,001022 | 0,00068 |
| B9 | 0,001465 | 0,001022 | 0,000672 | 0,00179 |

Tabel 4.11 Koordinat Toposentrik periode Mei 2015 dengan koordinat origin Maret 2015

| Koordinat Toposentrik Titik Bendungan Periode Mei 2015 | | | | |
|--|---------------|----------|----------|-----------|
| Nama Titik | Koordinat (m) | | | Jarak (m) |
| | X | Y | Z | |
| A1 | 0,000571 | 0,000328 | 0,001471 | 0,00066 |
| A2 | 0,000510 | 0,000293 | 0,000858 | 0,00059 |
| A3 | 0,000112 | 0,000411 | 0,001436 | 0,00043 |
| A4 | 0,001351 | 0,000973 | 0,001107 | 0,00166 |
| A5 | 0,000568 | 0,000315 | 0,002999 | 0,00065 |
| A6 | 0,000690 | 0,000553 | 0,001472 | 0,00088 |
| B7 | 0,001080 | 0,000919 | 0,001684 | 0,00142 |
| B8 | 0,000489 | 0,000303 | 0,000906 | 0,00057 |
| B9 | 0,001104 | 0,000712 | 0,000955 | 0,00131 |

IV.4. Analisis Pergeseran

Dalam penelitian ini, perlu dilakukan pengecekan signifikansi secara statistik dari vektor pergeseran hasil estimasi GPS tersebut. Uji-t dikenal dengan uji parsial, yaitu untuk menguji bagaimana pengaruh masing-masing variabel bebasnya secara sendiri-sendiri terhadap variabel terikatnya. Uji ini dapat dilakukan dengan membandingkan t-hitungan dengan t-tabel atau dengan melihat kolom signifikansi pada masing-masing t-hitungan. Tujuan dari uji-t adalah untuk menguji koefisien regresi secara individual.

Dengan menggunakan tingkat kepercayaan 95% ($\alpha = 5\%$) dan $df \infty$ maka nilai t adalah 1,960. Apabila t-hitungan lebih besar dari nilai t-tabel (nilai $t_{df,\alpha/2}$) menunjukkan bahwa parameter mempunyai perbedaan yang signifikan. Akan tetapi apabila nilai t-hitungan lebih kecil dari t-tabel (nilai $t_{df,\alpha/2}$) berarti parameter yang diuji tidak mempunyai perbedaan yang signifikan. Tabel berikut merupakan hasil

hitungan nilai t-hitungan. Hasil uji statistik pergeseran dapat dilihat pada *Tabel 4.12* dan *Tabel 4.13*

Tabel 4.12 Hasil Uji Statistik Pergeseran Titik Periode April

| Hasil Uji Statistik pergeseran titik Periode April 2015 | | | | | | |
|---|---------|---------|------------|---------|----------|------------|
| Nama Titik | Pij | std Pij | T Hitungan | T Tabel | HO | Pergeseran |
| A1 | 0,00092 | 0,00356 | 0,25843 | 1,960 | Diterima | Tidak |
| A2 | 0,00081 | 0,00468 | 0,17308 | 1,960 | Diterima | Tidak |
| A3 | 0,00085 | 0,00615 | 0,13852 | 1,960 | Diterima | Tidak |
| A4 | 0,00112 | 0,00486 | 0,23054 | 1,960 | Diterima | Tidak |
| A5 | 0,00084 | 0,00349 | 0,24067 | 1,960 | Diterima | Tidak |
| A6 | 0,00116 | 0,00376 | 0,30930 | 1,960 | Diterima | Tidak |
| B7 | 0,00052 | 0,00501 | 0,10421 | 1,960 | Diterima | Tidak |
| B8 | 0,00068 | 0,00385 | 0,17571 | 1,960 | Diterima | Tidak |
| B9 | 0,00179 | 0,00269 | 0,66433 | 1,960 | Diterima | Tidak |

Tabel 4.13 Hasil Uji Statistik Pergeseran Titik Periode Mei

| Hasil Uji Statistik pergeseran titik Periode Mei 2015 | | | | | | |
|---|---------|-------------|------------|---------|----------|------------|
| Nama Titik | Pij | std Pij | T Hitungan | T Tabel | HO | Pergeseran |
| A1 | 0,00066 | 0,003542654 | 0,18585 | 1,960 | Diterima | Tidak |
| A2 | 0,00059 | 0,002226118 | 0,26422 | 1,960 | Diterima | Tidak |
| A3 | 0,00043 | 0,003928422 | 0,10853 | 1,960 | Diterima | Tidak |
| A4 | 0,00166 | 0,002708967 | 0,61443 | 1,960 | Diterima | Tidak |
| A5 | 0,00065 | 0,002723105 | 0,23865 | 1,960 | Diterima | Tidak |
| A6 | 0,00088 | 0,003907557 | 0,22623 | 1,960 | Diterima | Tidak |
| B7 | 0,00142 | 0,003962853 | 0,35788 | 1,960 | Diterima | Tidak |
| B8 | 0,00057 | 0,005092357 | 0,11288 | 1,960 | Diterima | Tidak |
| B9 | 0,00131 | 0,002743902 | 0,47870 | 1,960 | Diterima | Tidak |

Berdasarkan hasil perhitungan pada *Tabel 4.12* dan *Tabel 4.13* menunjukkan semua nilai t-hitungan kurang dari t_{α} (t-tabel) yang ditentukan. Nilai tersebut menunjukkan bahwa koordinat toposentrik hasil hitungan pada setiap titik tidak mengalami pergeseran secara statistik, tetapi titik mengalami pergeseran secara numeris. Pergeseran pada titik-titik pantau tersebut bukanlah suatu pergeseran yang signifikan. Jadi, secara statistik titik-titik pantau tidak mengalami pergeseran.

IV.5. Perhitungan Kecepatan Pergeseran

Kecepatan pergeseran (*velocity rate*) adalah besaran yang menyatakan perubahan titik pantau dalam selang waktu tertentu sehingga bisa menjadi indikator terjadinya deformasi di daerah pengamatan. Salah satu cara untuk menghitung besarnya kecepatan vektor pergeseran masing-masing titik adalah dengan metode *linier fit*, yaitu memanfaatkan pendekatan fungsi linier. Sistem koordinat toposentrik lokal dipilih sebagai format data yang dipakai dalam proses hitungan *linier fit* untuk menghitung pola dan kecepatan pergeseran. Titik acuannya adalah sesi pertama pengamatan masing-masing stasiun, sehingga pergeseran titik yang sama pada sesi selanjutnya mengacu pada pengamatan sesi pertama. Beberapa tahapan yang dilakukan sampai didapatkan *velocity rate* adalah membuang data *outlier*, kemudian *plotting velocity rate* menggunakan *software MATLAB*. Tahapan pertama membuang data *outlier*, yaitu membuang data pengamatan yang tidak

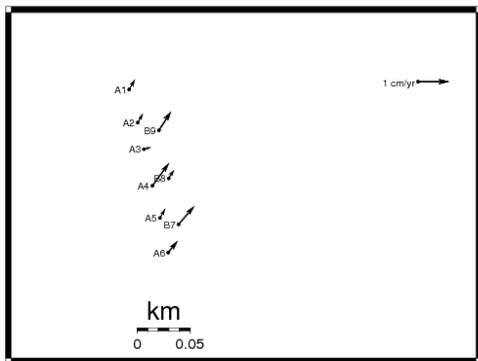
dianggap sebagai anggota sampel dari suatu distribusi sehingga tidak diikutsertakan dalam proses pengolahan data selanjutnya. Tugas akhir ini menggunakan selang kepercayaan 95%, artinya data pengamatan yang berada diluar \pm tiga kali standar deviasi untuk selng kepercayaan 95% dianggap sebagai data *outlier* dan dibuang. Kecepatan pergeseran pada titik-titik pengamatan dapat dilihat pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14 Kecepatan Pergeseran pertahun pada Titik Pengamatan

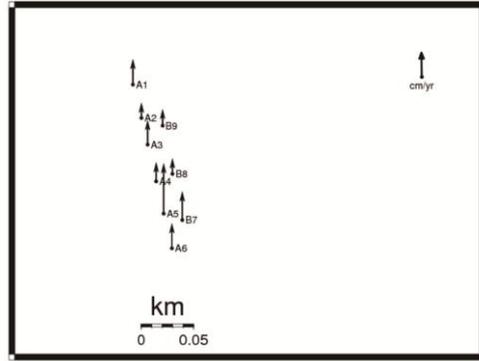
| Nama Titik | Pergeseran Titik/Tahun | | |
|------------|------------------------|---------------|---------------|
| | Vn (cm/Tahun) | Ve (cm/Tahun) | Vu (cm/Tahun) |
| A1 | 0.32277 | 0.18504 | 0.82578 |
| A2 | 0.29153 | 0.16728 | 0.48722 |
| A3 | 0.06233 | 0.22832 | 0.79637 |
| A4 | 0.74804 | 0.53983 | 0.61592 |
| A5 | 0.31310 | 0.17323 | 1.65400 |
| A6 | 0.38019 | 0.30447 | 0.81162 |
| B7 | 0.60000 | 0.51056 | 0.93556 |
| B8 | 0.27167 | 0.16833 | 0.50333 |
| B9 | 0.61636 | 0.39718 | 0.53568 |

IV.6. Arah vektor horisontal dan vertikal

Hasil dari penelitian tugas akhir ini menunjukkan bahwa arah vektor horisontal mengarah ke timur laut dan hasil arah vektor vertikal mengalami kenaikan. Hasil arah vektor ini dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Arah vektor Horisontal



Gambar 4.2 Arah vektor Vertikal

Gambar 2 merupakan hasil plotting kecepatan pergeseran (velocity) horisontal titik pengamatan, sedangkan Gambar 3 merupakan hasil plotting kecepatan pergeseran (velocity) vertikal titik pengamatan, yang berdasarkan pada pengamatan bulan maret-mei 2015 pada perangkat lunak GMT (Generic Mapping Tools). Garis panah disertai nama stasiun adalah garis yang menunjukkan besar kecepatan pergeseran yang terjadi dengan skala 1cm/tahun, sementara arah yang ditunjukkan merupakan arah dari pergeseran tiap stasiun

V. Penutup

V.1. Kesimpulan

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

1. Hasil pengolahan GAMIT dan GLOBK menghasilkan simpangan baku, dimana simpangan baku terkecil dari hasil pengolahan adalah 1 mm dan simpangan baku terbesar dari hasil pengolahan adalah 4,78 mm.
2. Dari hasil pengukuran GPS pada bulan Maret 2015, April 2015 dan Mei 2015 teramati bahwa titik-titik pengamatan mengalami perubahan koordinat setiap bulannya. Rata-rata nilai perubahan koordinat pada sumbu X = $0,726 \pm 0,362$ mm, sumbu Y = $0,561 \pm 0,364$ mm dan sumbu Z = $1,471 \pm 0,657$ mm dan rata-rata nilai perkiraan kecepatan pergeseran titik pengamatan pertahun pada sumbu X = $4,006 \pm 2,133$ mm/tahun, sumbu Y = $2,971 \pm 1,502$ mm/tahun dan sumbu Z = $7,961 \pm 3,602$ mm/tahun.

3. Dari hasil kecepatan pergeseran horisontal menunjukkan arah vektor menuju ke arah timur laut, sedangkan hasil kecepatan pergeseran vertikal menunjukkan arah vektor mengalami kenaikan.

V.2. Saran

Beberapa saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Sebaiknya membuat titik pengamatan atau BM sendiri dan di buat seperti dudukan CORS sehingga data yang dihasilkan akan lebih bagus.
2. Agar memperoleh hasil data yang signifikan disarankan interval antar pengamatan yang lebih lama secara periodik.
3. Dalam penentuan titik kontrol, sebaiknya menggunakan titik referensi yang lebih dekat, seperti CORS UDIP, CORS BPN, dll.
4. Pengamatan dan penelitian deformasi bendungan UNDIP sebaiknya dilakukan secara kontinyu dan menggunakan kombinasi teknologi geodesi seperti *InSAR*, *DinSAR* dll.

Daftar Pustaka

Abidin, H.Z. 2006. *Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya*. PT Pradnya Paramita. Jakarta.

Abidin, H.Z., 2007, *Modul-1 : Introduction to GPS*. Bahan Ajar Kuliah. Jurusan Teknik Geodesi, Institut Teknologi Bandung. Bandung.

Abidin, H.Z., 2007, *Modul-5 : Kesalahan dan Bias GPS*. Bahan Ajar Kuliah. Jurusan Teknik Geodesi, Institut Teknologi Bandung. Bandung.

Abidin, H.Z., 2007, *Modul-3 : GPS Positioning*. Bahan Ajar Kuliah. Jurusan Teknik Geodesi, Institut Teknologi Bandung. Bandung.

Abidin, H.Z. 2007. *GPS Positioning*. Bandung : Modul Perkuliahan Survey Satelit.

Andriyani, G. 2012. *Kajian Regangan Selat Bali Berdasarkan Data GNSS Kontinu Tahun 2009-2011*. Skripsi. Program Studi Teknik Geodesi Universitas Diponegoro, Semarang.

Ahmad, A.A. *Pengamatan GPS Untuk Monitoring Deformasi Bendungan Jatibarang Menggunakan Software GAMIT 10.4*.

Skripsi. Program Studi Teknik Geodesi Universitas Diponegoro, Semarang.

Bahlefi, A.R. 2013., *Analisis Deformasi Gunung Merapi Tahun 2012 Dari Data Pengamatan Gps*. Skripsi. Program Studi Teknik Geodesi Universitas Diponegoro, Semarang.

Laksana, I. 2014. *Penentuan Posisi Stasiun GNSS CORS Undip Pada Tahun 2013 dan 2014 Menggunakan Software Gamit*. Skripsi. Program Studi Teknik Geodesi Universitas Diponegoro, Semarang.

Panuntun, H. 2012. *Penentuan Posisi Anjungan Minyak Lepas Pantai Dengan Titik Ikta GPS Regional dan Global*. Tesis. Teknik Geomatika Kelompok Bidang Geodesi Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

Purba, E.S. 2013. *Penentuan Koordinat Definitif Epoch 2013 Stasiun CORS Geodesi UNDIP dengan Menggunakan Perangkat Lunak GAMIT 10.4*. Skripsi. Program Studi Teknik Geodesi, Universitas Diponegoro, Semarang.

Syafi'i, A.N. 2014. *Analisis Ketelitian Titik Kontrol Horisontal Pada Pengukuran Deformasi Jembatan Penggaron Menggunakan Software GAMIT 10.4*. Skripsi. Program Studi Teknik Geodesi, Universitas Diponegoro, Semarang.

Pustaka hasil unduhan

Komite Nasional Indonesia untuk Bendungan Besar (KNI-BB), 2015. Tipe-tipe Bendungan <http://www.knibb-inacold.com/> Diunduh pada tanggal 10 Agustus 2015.

PT. Jasapatria Gunatama, 2015. Kondisi geologi Bendungan UNDIP http://issuu.com/dimitrijos/docs/bendungan_diponegoro Diunduh pada tanggal 10 Agustus 2015.

The International Commission on Large Dams (ICOLD), 2015. <http://www.icold-cigb.org/GB/ICOLD/history.asp> Diunduh pada tanggal 10 Agustus 2015.

Wibowo, E Y. 2015. Tipe-tipe alat GPS <http://ekowibowo78.blogspot.co.id/2014/04/mengenal-teknologi-gps.html> Diunduh pada tanggal 10 Agustus 2015.