

PEMANTAUAN DEFORMASI BENDUNGAN JATIBARANG MENGUNAKAN SURVEI GNSS TAHUN 2017-2020

Dery Rizki Purwanto^{*)}, Laode M. Sabri, Moehammad Awaluddin

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

ABSTRAK

Bendungan Jatibarang mengalau air pada Waduk Jatibarang yang memiliki daerah tangkapan seluas 54 km² dan luas genangan yang mencapai 189 Ha. Latar belakang didirikannya Bendungan Jatibarang adalah adanya banjir di Semarang yang sempat memakan korban jiwa (BBWS Pemali Juana, 2015). Bendungan rentan mengalami perubahan dimensi karena adanya tekanan oleh air yang terus menerus. Hal tersebut membuat bendungan perlu dilakukan pemantauan yang berkala sehingga dapat dilakukan penanganan yang tepat apabila terdapat kerusakan pada bendungan. Pemantauan deformasi menggunakan GNSS menjadi salah satu cara untuk melakukan pemantauan perubahan dimensi yang terjadi pada tubuh bendungan. Pemantauan deformasi bendungan dapat dilakukan dengan menggunakan metode survei GNSS. Data yang digunakan dalam penelitian ini memiliki rentang waktu tahun 2017-2020 dan pengolahan data dilakukan dengan perangkat lunak ilmiah GAMIT/GLOBK. Nilai deformasi pada Bendungan Jatibarang didapatkan dari pergerakan koordinat 12 titik pantau yang tersebar di badan bendungan. Hasil uji statistik menunjukkan bahwa terjadi pergeseran di tiga titik pantau yaitu CP01, BM10, dan BM11. Pergeseran horizontal terbesar terjadi pada titik CP01 dengan nilai 0,0301 m ke arah barat laut, sedangkan pergeseran vertikal terbesar terjadi penurunan pada titik BM11 dengan nilai 0,103 m. Nilai pergeseran horizontal terkecil terjadi pada titik BM09 dengan nilai 0,0009 m ke arah barat laut, sedangkan nilai pergeseran vertikal terkecil terjadi kenaikan pada titik BM12 sebesar 0,006 m.

Kata Kunci: Bendungan Jatibarang, Deformasi, GAMIT, GNSS

ABSTRACT

The Jatibarang Dam dispels water on the Jatibarang Reservoir which has a catchment area of 54 km² and inundation area 189 Ha. The Jatibarang Dam was established to be a solution to the flood that had claimed lives (BBWS Pemali Juana, 2015). Dams are prone to dimensional changes due to continuous water pressure. The dam need to carry out periodic monitoring so that can be handled properly if there is damage to the dam. Deformation monitoring using GNSS is one of several ways to monitor dimensional changes that occur in the dam body. Dam deformation monitoring can be carried out using GNSS survey method. The data used in this study have time span of 2017-2020 and data processing by GAMIT / GLOBK scientific software. The deformation value at the Jatibarang Dam is obtained from the movement of the 12 monitoring points coordinates spread over the dam body. The results show that there is a shift in the points CP01, BM10, and BM11. The largest horizontal shift occurred at point CP01 with a value of 0,0301 m to the northwest, while the largest vertical shift occurred at point BM11 with a value of 0,103 m. The smallest horizontal shift value occurs at point BM09 with a value of 0,0009 m to the northwest, while the smallest vertical shift value occurs at point BM12 of 0,006 m.

Keywords: Deformation, GAMIT, GNSS, Jatibarang Dam

^{*)} Penulis Penanggung Jawab

I. Pendahuluan

I.1 Latar Belakang

Bendungan merupakan konstruksi bangunan yang berfungsi sebagai penangkap air dan menyimpannya di musim hujan waktu air sungai mengalir dalam jumlah besar dan yang melebihi kebutuhan baik untuk keperluan irigasi, air minum, industri atau yang lainnya (Sidharta, 1997). Kota Semarang memiliki bendungan yang cukup besar, yaitu Bendungan Jatibarang. Bendungan Jatibarang menghalau Waduk Jatibarang yang memiliki daerah tangkapan seluas 54 km² dan luas genangan yang mencapai 189 Ha. Latar belakang didirikannya Bendungan Jatibarang adalah adanya banjir di Semarang yang sempat memakan korban jiwa (BBWS Pemali Juana, 2015). Bendungan rentan mengalami perubahan dimensi karena adanya tekanan oleh air yang terus menerus. Hal tersebut membuat bendungan perlu untuk dilakukan pemantauan yang berkala sehingga dapat dilakukan penanganan yang tepat apabila terdapat kerusakan pada bendungan. Pemantauan deformasi menggunakan GNSS menjadi salah satu cara untuk melakukan pemantauan perubahan dimensi yang terjadi pada tubuh bendungan.

Berdasarkan penelitian Awaluddin (2018), menyebutkan bahwa hasil pengamatan GNSS terhadap sembilan titik pantau di Bendungan Jatibarang tidak terjadi deformasi secara uji statistik, namun mengalami pergeseran secara numerik. Pengamatan dilakukan dengan dua metode, metode pertama menggunakan titik ikat *International GNSS Service* (IGS) didapatkan laju kecepatan horizontal berkisar 2,9 mm/tahun hingga 13,2 mm/tahun. Metode yang kedua menggunakan titik ikat *Continuously Operating Reference Frame* (CORS) milik BIG didapatkan laju kecepatan horizontal berkisar 1,7 mm/tahun hingga 9,0 mm/tahun. Penelitian ini mengamati titik yang berada di badan bendungan bagian atas.

Penelitian tugas akhir ini akan melakukan pemantauan deformasi dengan mengamati 10 titik tetap (*bench mark*) yang terdapat di tubuh bendungan bagian atas dan 2 titik baru di badan bendungan bagian samping yang menghadap ke waduk. Pengamatan titik baru bertujuan untuk mengamati bagian bendungan yang memiliki potensi mengalami deformasi secara signifikan. Pengamatan deformasi dengan pengukuran GNSS dilaksanakan pada bulan Juni sebanyak satu kali pengukuran. Data hasil pengamatan akan dilakukan pengolahan menggunakan perangkat lunak GAMIT/GLOBK. Titik pantau akan diikatkan ke lima stasiun CORS milik BIG. Penelitian pemantauan deformasi bertujuan untuk melihat apakah ada pergeseran signifikan pada bendungan pada interval waktu tiga tahun.

I.2 Rumusan Masalah

Penelitian kali ini membahas beberapa rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana hasil pengamatan GNSS pada pengukuran deformasi Bendungan Jatibarang tahun 2020?
2. Bagaimana kondisi deformasi Bendungan Jatibarang dalam kurun waktu 2017 – 2020?

I.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki tujuan akhir sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui besar nilai pergeseran Bendungan Jatibarang tahun 2017-2020.
2. Untuk mengetahui kondisi deformasi Bendungan Jatibarang dalam kurun waktu 2017 – 2020.

I.4 Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini memiliki batasan penelitian supaya dalam pelaksanaannya tidak melenceng dari permasalahan yang dikaji, batasan penelitian tersebut sebagai berikut :

1. Penelitian deformasi dilaksanakan di Bendungan Jatibarang pada bulan Juni 2020.
2. Pengamatan deformasi dilakukan menggunakan metode statik dengan *receiver GNSS dual frequency*.
3. Data primer yang digunakan pada penelitian ini adalah hasil pengukuran GNSS 12 titik tetap Bendungan Jatibarang tahun 2020.
4. Data sekunder yang digunakan yaitu data hasil koordinat hasil pengamatan Bendungan Jatibarang pada tahun 2017.
5. Titik ikat yang digunakan dalam pengolahan adalah CORS BIG yaitu stasiun CJPR (Jepara), CMGL (Magelang), CPKL (Pekalongan), CSEM (Semarang), dan CPWD (Purwodadi).
6. Pengolahan data pengamatan menggunakan perangkat lunak GAMIT/GLOBK 10.71.
7. Uji statistik yang digunakan adalah uji-t dengan kepercayaan 95% untuk mengetahui signifikansi deformasi bendungan tahun 2020 terhadap tahun 2017.

II. Tinjauan Pustaka

II.1 Kajian Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu terutama yang menyangkut dengan deformasi bendungan perlu dikaji sebagai referensi penelitian. Penelitian terakhir mengenai deformasi Bendungan Jatibarang yaitu penelitian Awaluddin (2018), metode penelitian yang digunakan yaitu dengan membandingkan hasil pengikatan dengan stasiun CORS BIG dengan stasiun IGS. Hasil yang menggunakan titik ikat IGS didapatkan laju kecepatan horizontal berkisar 2,9 mm/tahun hingga 13,2 mm/tahun. Metode yang kedua menggunakan titik ikat CORS BIG didapatkan laju kecepatan horizontal berkisar 1,7 mm/tahun hingga 9,0 mm/tahun. Hasil menunjukkan tidak ada deformasi secara uji statistik, baik menggunakan titik ikat IGS ataupun CORS BIG.

Penelitian sebelum Awaluddin (2018) dilakukan oleh Purwoko (2017) dengan metode mengikatkan ke stasiun IGS dan CORS Semarang. Hasil penelitian

tersebut menunjukkan bahwa nilai pergeseran terbesar terjadi pada titik BM10 pada sumbu n sebesar 0,04870 m, sumbu e pada titik CP01 sebesar 0,04381 m.

II.2 Bendungan Jatibarang

Bendungan Jatibarang berlokasi di Kota Semarang, Jawa Tengah. Bendungan ini menahan air pada Waduk Jatibarang yang memiliki daerah tangkapan seluas 54 km² dan luas genangan seluas 189 Ha dengan tampungan total 20,4 juta m³. Tipe bendungan urugan batu berzona inti ditengah dengan tinggi di atas pondasi 77 m, tinggi elevasi puncak +157 m, panjang puncak 200 m, dan lebar puncak 10 m (BBWS Pemali Juanda, 2015). Bendungan Jatibarang pada dasarnya dibangun untuk mengendalikan banjir Kota Semarang khususnya bagian tengah. Manfaat lain dari pembangunan Bendungan Jatibarang yaitu untuk mengembangkan potensi sumber air untuk memenuhi kebutuhan air baku, meningkatkan kelestarian fungsi di DAS Garang, potensi pariwisata Kota Semarang, dan potensi PLTMH 1,5 Megawatt.

II.3 Deformasi

Deformasi adalah perubahan bentuk, posisi, dan dimensi dari suatu benda (Kuang, 1996). Survei pemantauan deformasi dilakukan dengan survei presisi. Survei presisi bukan bidang khusus disiplin ilmu seperti geodesi, fotogrametri dan penginderaan jauh. Survei presisi yaitu penentuan bidang survei yang tepat untuk proyek mencapai akurasi dan presisi yang diinginkan. Pengukuran biasa hingga beberapa milimeter termasuk pengukuran yang tepat dalam beberapa proyek seperti konstruksi bangunan dan jembatan, tapi lebih besar nilai presisi mungkin diperlukan untuk pemantauan deformasi. Diperlukan untuk toleransi hingga 0,1 mm atau lebih baik dari itu. Survei pemantauan dan deformasi memiliki persyaratan ketat dalam pengamatan dan metode penanganan data yang diberlakukan untuk mencapai akurasi yang diinginkan. Survei presisi dilakukan oleh orang yang berpendidikan spesialis yang dapat menentukan instrumentasi yang sesuai, mengevaluasi sumber kesalahan dan prosedur mitigasi kesalahan yang sesuai, untuk proyek yang diberikan (Ogundare, 2016).

II.4 Global Navigation Satellite System (GNSS)

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 berada (secara global) di permukaan bumi yang berbasis satelit (Herring, 2015). 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 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.5 GAMIT/GLOBK

GAMIT/GLOBK merupakan paket perangkat lunak analisis GPS komprehensif yang dikembangkan di *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), *Smithsonian Center for Astrophysics* (CfA), *Scripps Institution of Oceanography* (SIO) dari Harvard University, dan Australian National University untuk memperkirakan koordinat dan kecepatan stasiun, representasi stokastik atau fungsional dari pos deformasi seismik, keterlambatan atmosfer, orbit satelit, dan parameter orientasi Bumi. Meskipun perangkat lunak saat ini dikelola oleh tiga penulis dokumen ini di MIT, banyak orang telah memberikan kontribusi besar.

II.6 Continuously Operating Reference Frame (CORS)

Continuously Operating Reference Frame (CORS) merupakan teknologi berbasis GNSS yang berupa suatu jaring kerangka geodetik yang pada setiap titiknya dilengkapi dengan penangkap sinyal dari satelit-satelit GNSS yang beroperasi secara penuh dan berkelanjutan selama 24 jam perhari, 7 hari per minggu dengan mengumpulkan, merekam, mengirim data, dan memungkinkan para pengguna (*users*) memanfaatkan data tersebut dalam penentuan posisi, baik secara *post processing* maupun secara langsung (ATRBP, 2019). Indonesia memiliki stasiun CORS yang dinamakan dengan InaCORS. InaCORS adalah CORS yang dikelola oleh Badan Informasi Geospasial sebagai stasiun pengamatan geodetik tetap/kontinu. Berkembangnya CORS di Indonesia tidak lepas dari usaha Badan Informasi Geospasial (dahulu bernama Badan Koordinasi Survei dan Pemetaan Nasional atau BAKOSURTANAL) untuk mendefinisikan dan memelihara referensi geospasial yang menjadi acuan dalam kegiatan survei, pemetaan, serta penyelenggaraan lainnya. Stasiun InaCORS dimulai pada tahun 1996 dengan dibangunnya tiga CORS di Cibinong (BAKO), Sampali (SAMP), dan Parepare (PARE). Selain membantu pemeliharaan referensi pemetaan di Indonesia, CORS juga membantu berbagai kegiatan ilmiah maupun praktis di lapangan seperti survei geodinamika dan deformasi, studi ionosfer dan meteorologi, dan juga survey dan pemetaan berbasis *real time* (BIG, 2018).

II.7 Transformasi Koordinat Geosentrik ke Toposentrik

Hasil dari pengolahan menggunakan GAMIT dan GLOBK merupakan koordinat dalam sistem koordinat kartesian geosentrik (X, Y, Z), sistem koordinat tersebut memiliki pusat sumbu pada pusat bumi. 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 atau dalam penelitian ini berarti penelitian sebelumnya bulan September tahun 2017,

dengan melakukan transformasi koordinat ke sistem koordinat geodetik (ϕ, λ, h) maka koordinat toposentrik dapat dihitung. Koordinat pengamatan pertama digunakan sebagai pusat dalam perhitungan kecepatan dan arah pergeseran (n, e, u) dan sumbu pusat toposentrik. Persamaan yang digunakan dalam proses transformasi koordinat kartesian geosentrik ke toposentrik dapat dilihat pada persamaan I, II, dan III (Kosasih, 2005 dalam Yusfania, 2014) :

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

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

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

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

III. Metodologi Penelitian

III.1 Tahap Persiapan

Persiapan pengumpulan data yang dibutuhkan dalam penelitian adalah data hasil pengukuran tahun 2017 dan data hasil pengukuran terbaru di tahun 2020. Data hasil pengukuran sebelumnya harus dimiliki untuk melakukan analisis deformasi, sedangkan data pengukuran tahun 2020 didapatkan dengan pengukuran GNSS menggunakan *receiver GNSS dual frequency*. Data hasil pengukuran selanjutnya memasuki proses pengolahan data sehingga dibutuhkan perangkat lunak GAMIT/GLOBK untuk melakukan pengolahan tersebut. Persiapan yang harus dilakukan yaitu instalasi sistem operasi Linux dan perangkat lunak GAMIT 10.71. Survei pendahuluan dilakukan untuk memastikan bahwa 12 titik pantau deformasi yang dilakukan pengamatan masih layak. Persebaran 12 titik yang dimaksud dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Persebaran Titik BM

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 perangkat keras yang digunakan :

1. 2 set receiver GNSS Topcon HIPER SR dan 2 set receiver GNSS Topcon HIPER II untuk pengamatan titik pantau deformasi.
2. Laptop ASUS A442U dengan spesifikasi prosesor Intel(R) Core (TM) i5-8250U CPU @1.6GHz.

Adapun perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sistem operasi Windows 10.
2. Sistem operasi Ubuntu 16.04.
3. Perangkat lunak GAMIT 10.71.
4. Matlab R2014b, digunakan untuk menghitung *velocity* dari titik pengamatan.
5. *Translation, Editing, dan Quality Checking (TEQC)* digunakan untuk pengecekan kualitas data hasil pengukuran GNSS.
6. Microsoft Office digunakan untuk pembuatan laporan dan pengolahan data.

III.2.2 Bahan Penelitian

Penelitian ini menggunakan data primer dan sekunder, berikut data yang digunakan dalam penelitian ini :

1. Data pengamatan GNSS dari 12 titik pantau deformasi yang tersebar di sekitar tubuh bendungan bulan Juni 2020, titik pantau yang digunakan adalah CP01, CP02, CP03, BM07, BM08, BM09, BM10, BM11, BM12 dan dua titik pengamatan baru yaitu CP04, BM7B, dan BM9B. Pengamatan GNSS Juni 2020 dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Pengamatan GNSS Juni 2020

Nama Titik	DOY	Tinggi Alat	Lama Pengamatan	Tipe Receiver
CP01	162	1,540 m	6 Jam	Hiper II Base
CP02	160	1,129 m	6 Jam	Hiper II Base
CP03	162	1,275 m	6 Jam	Hiper SR Base
BM07	160	1,372 m	6 Jam	Hiper SR Rover
BM08	161	1,597 m	6 Jam	Hiper II Rover
BM09	161	1,110 m	6 Jam	Hiper SR Rover
BM10	160	1,018 m	6 Jam	Hiper SR Base
BM11	162	1,551 m	6 Jam	Hiper II Rover
BM12	161	1,030 m	6 Jam	Hiper SR Base
CP04	162	1,174 m	6 Jam	Hiper SR Rover
BM7B	160	1,091 m	6 Jam	Hiper II Rover
BM9B	161	1,253 m	6 Jam	Hiper II Base

2. Data pengamatan GNSS dari 9 titik pantau deformasi yang tersebar di sekitar tubuh bendungan bulan September 2017, titik pantau yang digunakan adalah CP01, CP02, CP03, BM07, BM08, BM09, BM10, BM11, dan BM12.
3. Data pengamatan stasiun CORS BIG yaitu stasiun CJPR, CMGL, CPKL, CSEM, dan

CPWD selama 24 jam pada masing-masing Days of Year (DOY) pengamatan.

4. File *Prechise ephemeris* dengan format sp3 diunduh dari situs :
<ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/gnss/products>
 dengan format nama data igs <GNSS week> <dayofweek>.sp3
5. File *Broadcast ephemeris* (file navigasi satelit) diunduh dari situs :
<ftp://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, 7a, dan 8a.

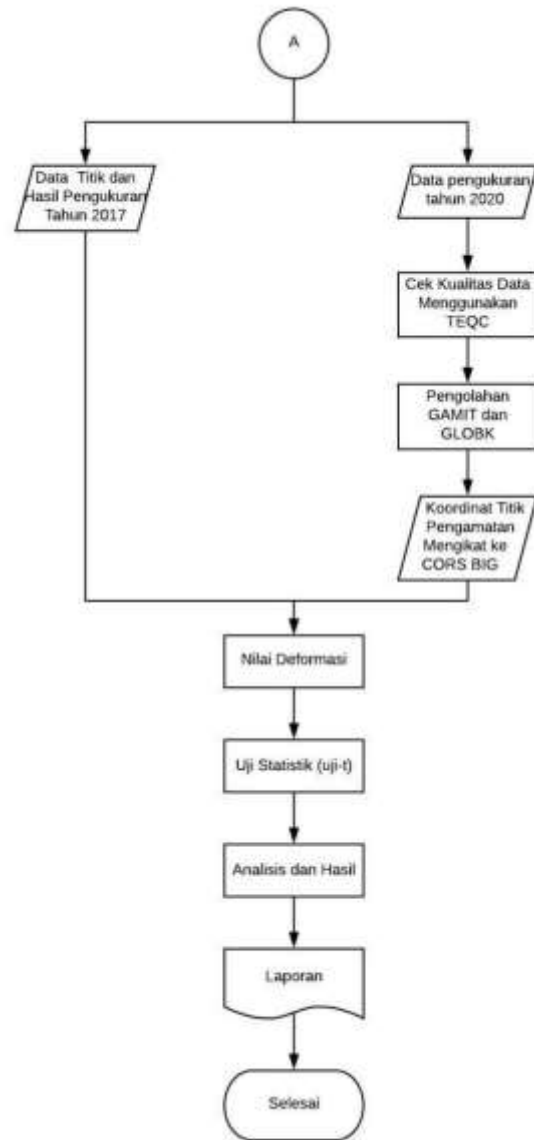
III.3 Tahapan Pengolahan

Pengolahan dilakukan dengan mengikatkan masing – masing titik pantau deformasi yang ada pada sekitar Bendungan Jatibarang ke CORS BIG (CMGL, CPKL, CSEM, CJPR dan CPWD) dengan strategi pengolahan metode jaringan. Visualisasi metode jaringan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Visualisasi Jaringan Titik Ikat CORS BIG.

Tahapan proses penelitian dan pengolahan data penelitian diuraikan dalam diagram alir pada Gambar 3.



Gambar 3 Diagram Alir Penelitian

IV. Hasil dan Analisis

IV.1 Hasil Cek Kualitas Data dengan TEQC

TEQC merupakan perangkat lunak yang salah satunya berfungsi untuk cek kualitas data pengamatan GNSS yang menampilkan hasil berupa informasi nilai multipath, rentang perekaman data, waktu mulai dan berakhir pengukuran, pengaruh ion terhadap perambatan sinyal, dan informasi lainnya. Data pengamatan yang bagus salah satu cirinya yaitu memiliki nilai *multipath* yang kecil. Hasil dari cek kualitas data *multipath* dari data pengamatan dapat dilihat pada Tabel 2.

Kualitas data pengukuran GNSS dapat dinilai baik apabila sesuai parameter berikut :

1. *Moving Average MP1* dan *Moving Average MP2* memiliki nilai kurang dari 0,5 m,
2. Nilai *IOD Slips* kurang dari 100,
3. Nilai *IOD or MP Slips* kurang dari 100,
4. Data yang dibuang relative lebih kecil.

Tabel 2 Hasil Cek *Multipath*

Nama Titik	DOY	MP12 (m)	MP21 (m)
CP01	162	0,315	0,325
CP02	160	0,345	0,364
CP03	162	0,510	0,498
BM07	160	0,529	0,555
BM08	161	0,459	0,473
BM09	161	0,410	0,435
BM10	160	0,426	0,446
BM11	162	0,501	0,517
BM12	161	0,377	0,394
CP04	162	0,574	0,605
BM7B	160	0,362	0,381
BM9B	161	0,295	0,351

Menurut Lestari (2006) dalam Purnamasari (2012) Kualitas data pengukuran GNSS dapat dinilai baik apabila sesuai parameter berikut :

1. *Moving Average MP12* dan *Moving Average MP21* memiliki nilai kurang dari 0,5 m,
2. Nilai *IOD Slips* kurang dari 100,
3. Nilai *IOD or MP Slips* kurang dari 100,
4. Data yang dibuang relatif lebih kecil.

Moving Average MP12 adalah efek *multipath* pada frekuensi L1 dan *Moving Average MP21* adalah efek *multipath* pada frekuensi L2. *IOD Slips* adalah *ionospheric delay slips*, dan *IOD or MP Slips* adalah *ionospheric or multipath delay slips*.

Tabel IV-1 menunjukkan hasil dari cek kualitas data bulan Juni 2020. Nilai *Moving Average MP12* terbesar ada di titik BM04 dengan nilai 0.573992 m dan nilai *Moving Average MP12* terkecil ada di titik BM9B dengan nilai 0,295 m. Nilai *Moving Average MP21* terbesar terdapat di titik CP04 dengan nilai 0,605 m dan nilai *Moving Average MP21* terkecil terdapat di titik CP01 dengan nilai 0,325 m. Secara keseluruhan, data pengamatan dapat dikatakan baik karena hanya 4 data yang memiliki nilai *Moving Average MP12* melebihi 0,5 dan hanya 3 data yang memiliki nilai *Moving Average MP21* melebihi 0,5. Lebihnya dari 0,5 nilai data keduanya juga tidak begitu tinggi.

IV.2 Hasil Pengolahan GAMIT

Hasil dari pengolahan GAMIT dapat dilihat pada beberapa file yang berada di folder DOY. File-file tersebut adalah sebagai berikut :

1. *sh_gamit.summary* merupakan file yang berisi mengenai hasil dari pengolahan GAMIT. Hasil tersebut seperti nilai *postfit* dan *phase ambiguities*.
2. *Hfiles* merupakan file yang berisi perataan dan matriks varian kovarian. *Hfiles* digunakan pada tahap selanjutnya di GLOBK.
3. *Qfiles* merupakan file hasil pengolahan yang berisi hasil analisis *solve* dan hasil evaluasi data. *Qfiles* juga berisi nilai *fract* dimana nilai *fract* yang lebih dari 10 menandakan bahwa masih ada kesalahan kasar dan sistematis pada pengolahan tersebut(Herring, 2015).

Hasil evaluasi dari pengolahan GAMIT pada titik pengamatan dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3 Nilai *Postfit*

TAHUN	DOY	Postfit nrms	
		Fixed Solution	Free Solution
2020	160	0,22324	0,21922
	161	0,20710	0,20294
	162	0,23140	0,22832

Tabel 4 Nilai *Phase Ambiguities*

TAHUN	DOY	WL	NL
2020	160	94,40%	84,50%
	161	97,10%	66,10%
	162	84,30%	62,10%

Hasil dari *postfit* dapat dikatakan baik apabila memiliki nilai kurang dari 0,25. Nilai *postfit* yang lebih dari 0,5 menandakan bahwa masih ada data yang mengandung *cycle clips* yang belum dihilangkan atau ada kaitannya dengan parameter bias ekstra atau bisa karena masih terdapat kesalahan dalam melakukan pemodelan seperti koordinat titik tetap dari titik kontrol yang belum *update* atau pemodelan dari satelit (Herring, 2015).

Ambiguitas fase yang dapat dipecahkan dan dilihat dari pengolahan ini jenisnya *Wide Lane* (WL) dan *Narrow Line* (NL). Nilai WL yang baik berada pada nilai 90% , apabila nilai WL kurang dari 90% berarti masih ada *noise* pada *pseudorange*. Nilai NL yang baik lebih dari 80%, jika kurang dari 80% kemungkinan adanya kesalahan pada ukuran, konfigurasi jaringan, kualitas orbit, koordinat apriori, atau kondisi atmosfer (Panuntun, 2013).

Nilai *postfit nrms* pada Tabel IV-2 menunjukkan bahwa nilai *postfit nrms* secara keseluruhan terkecil ada pada DOY 161 dengan nilai 0,207 dan untuk nilai terbesar ada pada DOY 162 dengan nilai 0,231. Nilai tersebut menunjukkan bahwa nilai *postfit nrms* masih termasuk pada nilai yang baik dimana nilainya masih kurang dari 0,25.

Nilai ambiguitas fase pada Tabel IV-3 menunjukkan nilai *wide line* (WL) berkisar antara 84,3% sampai 97,1% dengan rata-rata 91,93%. Hal itu menunjukkan bahwa tidak terdapat *noise* pada data *pseudorange*. Sedangkan untuk nilai *narrow line* (NL) yang dihasilkan berkisar antara 62,1% sampai 84,5% dengan rata-rata 70,9%. Hal itu menunjukkan bahwa masih terdapat kesalahan pada ukuran, konfigurasi jaringan, kualitas orbit, koordinat apriori, atau kondisi atmosfer.

Nilai *fract* menjadi salah satu penilaian kualitas data yang telah diolah. Nilai *fract* yang lebih dari 10 menandakan bahwa masih ada kesalahan kasar dan sistematis pada pengolahan tersebut (Herring, 2015).

Tabel 5 Nilai *Fract*

Nama Titik	DOY	Fract Fixed Solution		Fract Free Solution	
		Lat	Long	Lat	Long
CP01	162	-0,5	1,1	-0,5	0,9
CP02	160	-0,7	1,2	-0,7	1,5
CP03	162	-0,7	0,2	-0,5	0,6
CP04	162	-0,3	0,8	-0,4	0,8
BM07	160	-0,4	1,7	-0,5	1,5
BM7B	160	-0,6	1,2	-0,7	1,3
BM08	161	0,1	1,6	0,1	1,2
BM09	161	0,1	1,2	0,2	1,2
BM9B	161	0,2	1,1	0,2	1,5
BM10	160	-0,5	1,4	-0,5	1,6
BM11	162	-0,5	0,8	-0,6	0,8
BM12	161	0,2	1,2	0,2	1,2

Nilai *fract* yang lebih dari 10 menandakan bahwa masih ada kesalahan kasar dan sistematik pada pengolahan tersebut (Herring, 2015).

Berdasarkan Tabel 5 dapat dilihat bahwa nilai *fract* secara keseluruhan yang mana nilai *fract* terbesar dari pengolahan GAMIT yaitu pada titik BM10 dengan nilai 1,6, sedangkan nilai terkecil terdapat pada beberapa titik dengan nilai -0,7. Nilai *fract* hasil pengolahan tidak ada yang lebih dari 10, sehingga tidak terdapat kesalahan kasar dan sistematik pada pengolahan tersebut (Laksana, 2014 dalam Yusron, 2017).

IV.3 Hasil Pengolahan GLOBK

GLOBK menghasilkan koordinat dan standar deviasi dari pengolahan yang dapat dilihat dari file dengan ekstensi *.org. Koordinat yang dihasilkan merupakan koordinat kartesian dan toposentrik. Hasil koordinat dan standar deviasinya dapat dilihat pada Tabel 6 dan Tabel 7 untuk pengamatan tahun 2017, dan Tabel 8 dan Tabel 9 untuk pengamatan tahun 2020.

Tabel 6 Koordinat Kartesian Geodetik 2017

Nama Titik	Koordinat Kartesian (m)			Standar Deviasi(m)		
	x	y	z	x	y	z
CP01	-2.201.469,2480	5.935.506,5475	-776.051,8951	0,010	0,022	0,005
CP02	-2.201.460,6342	5.935.507,2487	-776.071,0587	0,009	0,020	0,005
CP03	-2.201.644,9672	5.935.427,3382	-776.157,1190	0,009	0,022	0,005
BM07	-2.201.527,2760	5.935.479,0382	-776.095,1848	0,011	0,022	0,006
BM08	-2.201.565,4027	5.935.463,1953	-776.112,9474	0,010	0,023	0,006
BM09	-2.201.603,1319	5.935.446,3804	-776.130,8290	0,009	0,021	0,005
BM10	-2.201.531,0709	5.935.478,8189	-776.086,8846	0,008	0,019	0,005
BM11	-2.201.569,1608	5.935.462,8387	-776.104,8211	0,011	0,023	0,006
BM12	-2.201.606,8070	5.935.446,0705	-776.122,6502	0,008	0,020	0,005

Tabel 7 Koordinat Toposentrik

Nama Titik	Koordinat Toposentrik (m)			Standar deviasi(m)		
	n	e	u	n	e	u
CP01	-783.186,4553	12.191.565,8247	187,0575	0,005	0,005	0,023
CP02	-783.205,8645	12.191.557,4359	187,2704	0,004	0,005	0,021
CP03	-783.293,1708	12.191.758,0372	187,0753	0,005	0,005	0,023
BM07	-783.230,3698	12.191.629,7228	186,9754	0,005	0,006	0,024
BM08	-783.248,3109	12.191.670,9760	187,5683	0,005	0,005	0,025
BM09	-783.266,5002	12.191.712,1945	187,1343	0,005	0,005	0,023
BM10	-783.221,9407	12.191.633,3568	187,0645	0,004	0,005	0,020
BM11	-783.240,0730	12.191.674,6233	187,5381	0,005	0,005	0,025
BM12	-783.258,2081	12.191.715,7477	187,1124	0,004	0,005	0,021

Tabel 8 Koordinat Kartesian Geodetik Tahun 2020

Nama Titik	Koordinat Kartesian (m)			Standar Deviasi (m)		
	x	y	z	x	y	z
CP01	-2.201.469,1905	5.935.506,2791	-776.051,88221	0,014	0,028	0,006
CP02	-2.201.460,6257	5.935.507,1908	-776.071,06157	0,015	0,032	0,009
CP03	-2.201.644,9370	5.935.427,2993	-776.157,12157	0,010	0,024	0,005
CP04	-2.201.653,1318	5.935.426,3035	-776.141,2150	0,010	0,025	0,006
BM07	-2.201.527,2930	5.935.479,0523	-776.095,1891	0,008	0,018	0,005
BM7B	-2.201.517,2115	5.935.473,0588	-776.111,3641	0,012	0,028	0,007
BM08	-2.201.565,3840	5.935.463,1569	-776.112,9254	0,012	0,026	0,006
BM09	-2.201.603,1377	5.935.446,3951	-776.130,8319	0,009	0,019	0,005
BM9B	-2.201.592,9255	5.935.440,2245	-776.146,7471	0,013	0,029	0,007
BM10	-2.201.531,0745	5.935.478,7596	-776.086,8847	0,008	0,018	0,005
BM11	-2.201.569,1029	5.935.462,7517	-776.104,8033	0,011	0,026	0,006
BM12	-2.201.606,8006	5.935.446,0802	-776.122,6473	0,010	0,020	0,005

Tabel 9 Koordinat Toposentrik 2020

Nama Titik	Koordinat Toposentrik (m)			Standar deviasi		
	n	e	u	n	e	u
CP01	-783.186,4528	12.191.565,7946	186,9724	0,006	0,010	0,030
CP02	-783.205,8744	12.191.557,4480	187,2139	0,007	0,009	0,035
CP03	-783.293,1791	12.191.758,0224	187,0289	0,005	0,007	0,025
CP04	-783.277,0525	12.191.766,0513	186,9823	0,005	0,008	0,026
BM07	-783.230,3716	12.191.629,7338	186,9949	0,004	0,005	0,019
BM7B	-783.247,6553	12.191.622,3664	179,9196	0,006	0,007	0,030
BM08	-783.248,2941	12.191.670,9718	187,5233	0,005	0,008	0,028
BM09	-783.266,5011	12.191.712,1948	187,1502	0,004	0,007	0,020
BM9B	-783.283,5513	12.191.704,7667	179,8331	0,006	0,008	0,031
BM10	-783.221,9474	12.191.633,3807	187,0105	0,004	0,005	0,019
BM11	-783.240,0677	12.191.674,5991	187,4349	0,005	0,007	0,027
BM12	-783.258,2043	12.191.715,7383	187,1189	0,004	0,007	0,021

IV.4 Hasil Perhitungan Deformasi

Hasil perhitungan deformasi pada pengamatan GNSS di Bendungan Jatibarang didapatkan dengan membandingkan hasil koordinat toposentrik. Perhitungan deformasi dilakukan dengan membuat koordinat pengamatan awal sebagai titik *origin*, dalam hal ini adalah titik koordinat pada bulan September tahun 2017. Hasilnya dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10 Deformasi 2017-2020

Nama Titik	Δ hor	Δ ver	Std. Hor	Std. Ver
CP01	0,030	-0,085	0,012	0,030
CP02	0,016	-0,056	0,011	0,035
CP03	0,017	-0,046	0,009	0,025
BM07	0,011	0,020	0,007	0,019
BM08	0,017	-0,045	0,009	0,028
BM09	0,001	0,016	0,008	0,020
BM10	0,025	-0,054	0,007	0,019
BM11	0,025	-0,103	0,009	0,027
BM12	0,010	0,006	0,008	0,021

Tabel 10 Menunjukkan hasil dari pergeseran tiap titik pada masing-masing sumbu. Pergeseran pada sumbu horizontal terbesar ada pada titik CP01 dengan pergeseran sebesar 30 mm, dan pada sumbu vertikal ada pada BM11 dengan pergeseran 103 mm. Disamping itu, pergeseran terkecil pada sumbu horizontal ada pada titik BM09 dengan pergeseran senilai 1 mm, dan pada sumbu vertikal ada pada titik BM12 dengan pergeseran senilai 6 mm.

IV.5 Hasil Perhitungan Velocity

Hasil perhitungan *velocity* dari pengamatan GNSS sejak tahun 2017 – 2020 yang telah dihitung dengan perangkat Matlab dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11 Velocity

Nama Titik	Vhor (meter/tahun)	Vu (meter/tahun)	Std. Hor	Std. Ver
CP01	0,011	-0,031	0,010	0,027
CP02	0,006	-0,020	0,009	0,028
CP03	0,006	-0,017	0,008	0,024
BM07	0,004	0,007	0,007	0,021
BM08	0,006	-0,016	0,008	0,026
BM09	0,000	0,006	0,007	0,021
BM10	0,009	-0,020	0,007	0,020
BM11	0,009	-0,037	0,008	0,026
BM12	0,004	0,002	0,007	0,021

Velocity terbesar terjadi pada titik BM10 ke arah barat laut, sedangkan velocity terkecil terjadi pada titik BM09 juga ke arah barat laut.

IV.6 Analisis Deformasi

Analisis deformasi dilakukan dengan melihat seberapa signifikan pergeseran titik dari setiap sumbunya. Signifikan atau tidaknya pergeseran titik pengamatan ditentukan dengan uji statistik. Uji statistik yang digunakan adalah uji t yang mana membandingkan nilai t-hitung dan t-tabel. Penelitian ini menggunakan uji t dengan selang kepercayaan 95% ($\alpha/2 = 2,5\%$) dan untuk derajat keabsahan (df) tak hingga untuk pengamatan GNSS, dengan nilai t-tabel sebesar 1,960. Hasil uji statistik analisis deformasi dapat dilihat pada Tabel 12 dan Tabel 13.

Tabel 12 Uji Statistik Komponen Horizontal

Nama Titik	Δ hor	Std. Hor	t-hitung	t-tabel	Pergeseran
CP01	0,030	0,012	2,506	1,960	Ya
CP02	0,016	0,011	1,441	1,960	Tidak
CP03	0,017	0,009	1,936	1,960	Tidak
BM07	0,011	0,007	1,704	1,960	Tidak
BM08	0,017	0,009	1,880	1,960	Tidak
BM09	0,001	0,008	0,125	1,960	Tidak
BM10	0,025	0,007	3,690	1,960	Ya
BM11	0,025	0,009	2,722	1,960	Ya
BM12	0,010	0,008	1,231	1,960	Tidak

Tabel 13 Uji Statistik Komponen Vertikal

Nama Titik	Δ ver	Std. Ver	t-hitung	t-tabel	Pergeseran
CP01	-0,085	0,030	2,853	1,960	Ya
CP02	-0,056	0,035	1,621	1,960	Tidak
CP03	-0,046	0,025	1,861	1,960	Tidak
BM07	0,020	0,019	1,043	1,960	Tidak
BM08	-0,045	0,028	1,600	1,960	Tidak
BM09	0,016	0,020	0,808	1,960	Tidak
BM10	-0,054	0,019	2,803	1,960	Ya
BM11	-0,103	0,027	3,782	1,960	Ya
BM12	0,006	0,021	0,308	1,960	Tidak

Uji statistik dilakukan untuk melihat hipotesa nol (H_0) ditolak atau diterima. Jika perbandingan nilai t-tabel lebih besar daripada t-hitung, maka H_0 diterima dan berarti dapat dikatakan tidak terjadi pergeseran. Sedangkan, bila t-tabel lebih kecil daripada t-hitung,

maka H_0 ditolak dan dapat dikatakan bahwa terjadi pergeseran. Tabel 12 dan Tabel 13 menunjukkan hasil dari uji statistik komponen horizontal dan vertikal. Hasil tersebut menunjukkan dimana terjadi pergeseran secara horizontal maupun vertikal pada tiga titik yaitu titik CP01, BM10, dan BM11. Adapun enam titik lainnya tidak dapat dikatakan bergeser kecuali hanya secara numerik. Nilai standar deviasi pada hasil vertikal menunjukkan bahwa hasil pengamatan vertikal masih kurang teliti karena sulitnya mendapatkan hasil vertikal yang bagus menggunakan GNSS dalam durasi pengukuran yang relatif sebentar.

Analisis deformasi selanjutnya yaitu dengan analisis velocity titik pertahun. Hasil uji statistik dari velocity tiap titik pertahun dapat dilihat pada tabel 14 dan tabel 15.

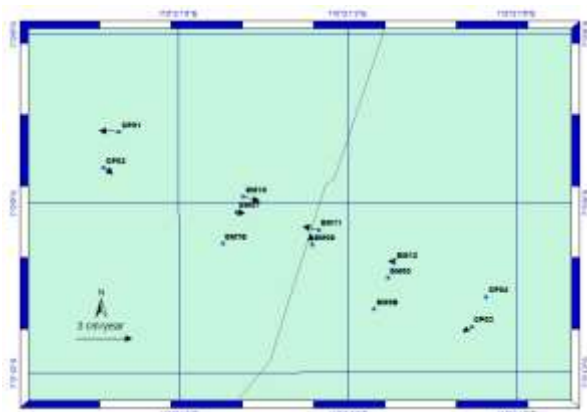
Tabel 14 Uji Statistik Velocity Horizontal

Nama Titik	Vhor (meter/tahun)	t-hitung Horizontal	t-tabel	Pergeseran
CP01	0,01094	1,14775	1,960	Tidak
CP02	0,00568	0,65029	1,960	Tidak
CP03	0,00614	0,77529	1,960	Tidak
BM07	0,00404	0,55911	1,960	Tidak
BM08	0,00630	0,76201	1,960	Tidak
BM09	0,00036	0,04856	1,960	Tidak
BM10	0,00901	1,37348	1,960	Tidak
BM11	0,00895	1,08185	1,960	Tidak
BM12	0,00367	0,50452	1,960	Tidak

Tabel 15 Uji Statistik Velocity Vertikal

Nama Titik	Vver (meter/tahun)	t-hitung Vertikal	t-tabel	Pergeseran
CP01	-0,03084	1,15803	1,960	Tidak
CP02	-0,02049	0,73134	1,960	Tidak
CP03	-0,01682	0,70615	1,960	Tidak
BM07	0,00708	0,33070	1,960	Tidak
BM08	-0,01632	0,61794	1,960	Tidak
BM09	0,00578	0,27275	1,960	Tidak
BM10	-0,01960	0,99372	1,960	Tidak
BM11	-0,03740	1,42364	1,960	Tidak
BM12	0,00234	0,11211	1,960	Tidak

Hasil tersebut menunjukkan dimana secara horizontal maupun vertikal tidak terjadi pergeseran, adanya pergeseran hanya sebatas pergeseran numerik. Kecepatan pergeseran pertahun hanya sebesar hasil yang ditampilkan pada tabel dimana seluruh nilai t-hitung lebih kecil dari t-tabel. Gambar arah pergerakan titik dapat dilihat lebih lanjut pada Gambar 4.



Gambar 4 Velocity Titik Pantau

V. Kesimpulan dan Saran

V.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil pengamatan GPS yang terjadi pada Bendungan Jatibarang menunjukkan bahwa pergeseran koordinat tiap titik pengamatan memiliki nilai yang beragam. Nilai pergeseran horizontal terbesar terjadi pada titik CP01 dengan pergeseran sebesar 0,0301 m ke arah barat laut dan pergeseran vertikal pada titik BM11 yang mengalami penurunan sebesar 0,103 m. Sedangkan pergeseran horizontal terkecil terjadi pada titik BM09 dengan pergeseran sebesar 0,0009 m ke arah barat laut dan pergeseran vertikal pada titik BM12 yang mengalami kenaikan sebesar 0,006 m.
2. Deformasi yang terjadi pada titik pengamatan di Bendungan Jatibarang rentang waktu 2017 – 2020 menunjukkan adanya pergeseran signifikan pada tiga titik yaitu titik CP01, BM10, dan BM11 secara horizontal dan vertikal, sedangkan untuk enam titik lainnya yang diamati hanya bergeser secara numerik dan uji statistik menunjukkan bahwa tidak adanya pergeseran.

V.2 Saran

Beberapa saran yang dapat dipertimbangkan untuk penelitian selanjutnya adalah :

1. Pengamatan deformasi bendungan dengan metode GNSS sebaiknya dilakukan dengan melakukan akuisisi data satu hari penuh, sehingga banyak data yang ditangkap oleh receiver yang membuat hasil dari pengolahan lebih akurat.
2. Sebelum melakukan pengolahan sebaiknya mempersiapkan data yang dibutuhkan selengkap mungkin dan perangkat lunak versi terbaru, dalam hal ini GAMIT/GLOBK, sehingga pengolahan data dapat berjalan dengan baik.
3. Pengamatan harus dilakukan secara detail seperti tinggi antenna yang harus disamakan dengan pengamatan sebelumnya untuk mereduksi kesalahan yang bisa terjadi.

DAFTAR PUSTAKA

- Sidharta. (1997). *Irigasi dan Bendungan Air* (1st ed.). Jakarta: Universitas Gunadharma.
- Awaluddin, M., Sudarsono, B., Amarrahman, F. J., Purwoko, F. R., Hudayawan, M., Nur, L., dan Amarrahman, F. J. (2018). *The monitoring of 2017 Jatibarang Dam deformation using GNSS technology The Monitoring of 2017 Jatibarang Dam Deformation Using GNSS Technology*. 020014. <https://doi.org/10.1063/1.5047299>
- Purwoko, F. R., Sudarsono, B., dan Amarrahman, F. J. (2017). *Pengolahan Data GPS Menggunakan Software GAMIT 10.6 dan Topcon Tools V.8 Pada Pengukuran Deformasi Bendungan Jatibarang Tahun 2015*. 6(October 2016), 37–45.
- Kuang, S. (1996). *Geodetic network analysis and optimal design: concepts and applications*. Michigan: Ann Arbor Press.
- Ogundare, J. O. (2016). *Precision Surveying The Principles and Geomatics Practice*. New Jersey: Wiley and Sons, Inc.
- Wooden, W. H. (1985). *Navstar Global Positioning System*. Rockville: Proceedings of the first International Symposium on Precise Positioning with Global Positioning System.
- Herring, T. A., King, R. W., Floyd, M. A., dan McClusky, S. C. (2015). *Introduction to GAMIT/GLOBK*. Massachusetts: Departement of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences MIT.
- BIG. (2018). *InaCORS BIG : Satu Referensi Pemetaan Indonesia*. Bogor: Sekretariat Pusat Jaring Kontrol Geodesi dan Geodinamika BIG.
- Yusfania, M. (2014). *The Utilization of Spatial Filtering for Tectonic Strain Study Based on SUGAR Data 2006-2008 (Study Case : The September 2007 Bengkulu Earthquake)*. *FIG Congress Kuala Lumpur, Malaysia*.
- Purnamasari, H. D. (2012). *Penentuan Koordinat Base Station BEKO, ITBO, ITSS, dan GMUI pada Layanan Check Point di Indonesia*. Yogyakarta: Skripsi. Universitas Gadjah Mada.
- Herring, T. A., King, R. W., Floyd, M. A., McClusky, S. C., dan Sciences, P. (2015). *GAMIT Reference Manual; GPS Analysis at MIT*. Cambridge: Departement of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences MIT.
- Panuntun, H. (2012). *Penentuan Posisi Anjungan Minyak Lepas Pantai dengan Titik Ikat GPS Regional dan Global*. Yogyakarta: Tesis. Universitas Gadjah Mada.
- Yusron, H., Yuwono, B. D., & Awaluddin, M. (2017). *Perhitungan Velocity Rate CORS GNSS di Pulau Sulawesi*. *Ellipsoida*.