

ANALISIS KETELITIAN TITIK KONTROL HORIZONTAL PADA PENGUKURAN DEFORMASI JEMBATAN PENGGARON MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK GAMIT 10.6

Sanches Budhi Waluyo, Bambang Sudarsono, Bambang Darmo Yuwono^{*)}

Program Studi Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto SH, Tembalang Semarang Telp.(024) 76480785, 76480788
email : sanchesbw@gmail.com^{*)}

ABSTRAK

Jembatan merupakan bangunan yang membentang diatas sungai, jalan, saluran air, jurang dan lainnya untuk menghubungkan kedua tepi yang dibentanginya agar dapat difungsikan sebagai sarana penyebrangan. Seperti bangunan sipil lainnya, jembatan juga mengalami deformasi, sehingga memerlukan pemeliharaan secara berkala agar jembatan tersebut dapat berfungsi secara normal, bermanfaat yang sesuai dengan rencana teknis dan efektif sepanjang umur jembatan tersebut.

Metode penelitian yang digunakan adalah menggunakan GPS dual-frekuensi pada delapan titik pengamatan yang terletak di sekitar jembatan. Pengolahan data pengamatan GPS menggunakan perangkat lunak GAMIT 10.6. Penelitian dilakukan selama tiga periode: Juli, Agustus, dan September 2015. Maksud dari penelitian ini adalah untuk mengetahui deformasi atau pergerakan titik kontrol horizontal yang terjadi di Jembatan Penggaron.

Setelah dilakukan pengolahan data menggunakan GAMIT dan GLOBK didapatkan nilai perubahan koordinat dalam sistem koordinat kartesian tiga dimensi dengan rata-rata nilai perubahan koordinat pada sumbu $n = 3,854$ mm, sumbu $e = 5,745$ mm, dan sumbu $u = 7,344$ mm. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kedelapan titik pengamatan pada penelitian deformasi jembatan Penggaron mengalami perubahan koordinat secara numeris. Namun, berdasarkan hasil uji statistik dengan selang kepercayaan 95%, disimpulkan bahwa kedelapan titik pengamatan deformasi jembatan tidak mengalami perubahan posisi titik secara signifikan.

Kata Kunci : Jembatan, Deformasi, GPS, GAMIT

ABSTRACT

A bridge is a kind of construction which lies over rivers, roads, waterways, canyons and others in order to connect those two sides, so it can be functioned as a crossing facility. Like other civil constructions, bridges also have a deformation, so that every bridges need periodic maintenance to make it has its normal functions, give positive values due to the construction technical plan and can be effectively used in a long period of time of the bridge age.

The methodology in this research used the GPS dual frequency data in eight points of observation which are located around the bridge. Data processing of GPS observation used GAMIT 10.6 software. This research conducted in three periods: July, August, and September 2015. The goal of this research was to determine the deformation or the movement of the horizontal control points on the Penggaron's bridge.

After data processing using GAMIT 10.6 and GLOBK, it was found that the changes of the coordinate in three dimension cartesian coordinate system with average changes on the n axis = 3,854 mm, the e axis = 5,745 mm and the u axis = 7,344 mm. Following the data processing result, it can be concluded that the coordinates of the eight observation points in this Penggaron's bridge deformation research has changed numerically. In the other hand, based on the result of statistical test with 95% confidence interval. It was concluded that the position of the eighth observation points of the bridge has not changed significantly.

Keywords: Bridge, Deformation, GPS, GAMIT

^{*)} Penulis Penanggung Jawab

I. Pendahuluan**I.1 Latar Belakang**

Jembatan merupakan bangunan yang membentangi sungai, jalan, saluran air, jurang dan lain sebagainya untuk menghubungkan kedua tepi yang dibentangi itu agar orang dan kendaraan dapat menyeberang. Secara umum, jembatan mempunyai struktur atas, bangunan bawah dan pondasi. Seperti bangunan sipil lainnya, jembatan juga memerlukan pemeliharaan secara berkala agar bangunan tersebut dapat berfungsi secara normal, sehingga memberi manfaat yang sesuai dengan rencana teknis dan efektif sepanjang umur bangunan tersebut, bukan malah membahayakan masyarakat umum.

Suatu bangunan jika mendapatkan tekanan maka akan mengalami perubahan dimensi ataupun bentuk. Seperti halnya yang dialami jembatan, jika tubuh jembatan mendapatkan tekanan dari efek lalu lintas kendaraan atau pergerakan tanah di bawah jembatan. Akibat gaya tekanan ini maka tubuh jembatan kemungkinan akan dapat mengalami 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).

Jembatan Penggaron merupakan salah satu jembatan yang terdapat pada ruas jalan tol Semarang-Solo seksi 1. Dengan panjang kurang lebih 400 m, jembatan ini menjadi jembatan kedua terpanjang setelah jembatan Susukan. Struktur tanah yang labil di sekitar jembatan Penggaron menyebabkan jembatan ini telah mengalami banyak deformasi sejak beroperasi pada bulan November 2011. Karena jembatan Penggaron memiliki peranan yang cukup penting bagi kehidupan masyarakat, maka diperlukan suatu bentuk pemeliharaan dan perawatan yang memadai guna menghindari kerusakan pada jembatan tersebut. Salah satu bentuk pemeliharaan dan perawatan tersebut adalah dengan melakukan pemantauan deformasi pada jembatan. Pemantauan deformasi pada jembatan harus dilakukan secara berkala dan terus menerus.

Pemantauan secara berkala, dengan metode observasi berulang serta pencatatan mengenai perilaku jembatan dapat dilakukan dengan bantuan instrumentasi atau peralatan lain. Data hasil pemantauan tersebut dapat menggambarkan perilaku suatu jembatan, sehingga gejala-gejala yang akan terjadi dapat diketahui secara dini.

I.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana hasil pengamatan GPS pada pengukuran deformasi jembatan Penggaron di Jalan Tol Semarang – Ungaran Km 20 ?
2. Bagaimana kondisi deformasi atau pergerakan titik kontrol horizontal yang terjadi pada jembatan Penggaron di Jalan Tol Semarang-Ungaran Km 20 ?

I.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

Adapun maksud dan tujuan penelitian ini adalah :

1. Mengetahui kondisi deformasi atau pergerakan titik kontrol horizontal yang terjadi pada jembatan Penggaron di Jalan Tol Semarang-Ungaran Km 20.
2. Hasil dari penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi dalam memantau kondisi deformasi yang terjadi pada jembatan Penggaron di Jalan Tol Semarang-Ungaran Km 20 .

I.4 Ruang Lingkup Penelitian

Adapun ruang lingkup dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Daerah penelitian adalah jembatan Penggaron di Jalan Tol Semarang-Ungaran Km 20.
2. Pengumpulan data titik kontrol horizontal deformasi jembatan Penggaron dengan melakukan pengukuran *GPS dual frequency* secara statik.
3. Pengolahan data pengamatan GPS menggunakan perangkat lunak GAMIT sehingga dihasilkan koordinat titik pengamatan dan simpangan bakunya.
4. Penelitian berfokus pada pergeseran titik kontrol horizontal yang diakibatkan deformasi pada bulan Juli - September 2015.

I.5 Metodologi Penelitian

1. Pengadaan data dengan melakukan pengukuran menggunakan alat *GPS dual frequency* yang dilakukan selama tiga bulan dari bulan Juli sampai September 2015.
2. Melakukan pengolahan data menggunakan perangkat lunak GAMIT 10.6 sehingga dihasilkan koordinat definitif titik kontrol

horizontal pada pengamatan deformasi jembatan Penggaron.

3. Analisis ketelitian dari titik kontrol horizontal hasil pengolahan data GPS yang menggunakan perangkat lunak GAMIT.

II. Tinjauan Pustaka

II.1 Jembatan

Jembatan adalah suatu konstruksi yang gunanya untuk meneruskan jalan melalui rintangan yang berada lebih rendah. Rintangan ini biasanya jalan air atau jalan lalu lintas biasa. (Struyk, J.H dan Van Der Veen, W.C.H.K., 1984).

Jembatan adalah suatu bangunan yang memungkinkan suatu jalan menyilang sungai/saluran air, lembah atau menyilang jalan lain yang tidak sama tinggi permukaannya. Secara umum suatu jembatan berfungsi untuk melayani arus lalu lintas dengan baik, dalam perencanaan dan perancangan jembatan sebaiknya mempertimbangkan fungsi kebutuhan transportasi, persyaratan teknis dan estetika-arsitektural yang meliputi : aspek lalu lintas, aspek teknis, aspek estetika. (Supriyadi, B dan Muntohar A.S., 2007).

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 terjadinya deformasi pada suatu tempat diperlukan suatu survei, yaitu survei deformasi dan geodinamika. Survei deformasi dan geodinamika sendiri adalah survei geodetik yang dilakukan untuk mempelajari fenomena-fenomena deformasi dan geodinamika. Fenomena-fenomena tersebut terbagi atas dua, yaitu fenomena alam seperti pergerakan lempeng tektonik, aktivitas gunung api, dan lain-lain. Fenomena yang lain adalah fenomena manusia seperti bangunan, jembatan, bendungan, permukaan tanah, dan sebagainya.

Survei deformasi dan geodinamika itu sendiri bisa bermacam-macam metodenya. Dengan metode konvensional bisa dilakukan juga, contohnya dengan menggunakan theodolite ataupun sipat datar. Dengan kemajuan teknologi muncul metode baru dalam survei deformasi dan geodinamika, yaitu metode satelit. Dengan metode satelit dapat dilakukan dengan

menggunakan *Global Positioning Sistem* (GPS) ataupun dengan menggunakan penginderaan jauh.

II.3 Penentuan Posisi Dengan GPS (*Global Positioning Sistem*)

GPS (*Global Positioning Sistem*) adalah sistem satelit navigasi dan penentuan posisi yang dimiliki dan dikelola oleh Amerika Serikat. Sistem ini didesain untuk memberikan posisi dan kecepatan tiga-dimensi serta informasi mengenai waktu, secara kontinyu di seluruh dunia tanpa bergantung waktu dan cuaca, dan bagi banyak orang secara simultan. Saat ini GPS sudah banyak digunakan orang di seluruh dunia dalam berbagai bidang aplikasi yang menuntut informasi tentang posisi, kecepatan, percepatan ataupun waktu yang teliti. GPS dapat memberikan informasi posisi dengan ketelitian bervariasi dari beberapa millimeter (orde nol) sampai dengan puluhan meter.

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).

Ketelitian dari GPS dapat mencapai beberapa mm untuk ketelitian posisinya, beberapa cm/s untuk ketelitian kecepatannya dan beberapa nanodetik untuk ketelitian waktunya. Ketelitian posisi yang diperoleh akan tergantung pada beberapa faktor yaitu metode penentuan posisi, geometri satelit, tingkat ketelitian data, dan metode pengolahan datanya.

III. Metodologi Penelitian

III.1 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- a. Laptop yang memiliki spesifikasi yaitu Processor Intel Core i5 CPU @ 3.60 Ghz, RAM 4.00 GB dan Sistem Operasi 64-bit.
- b. Printer Canon Pixma iP2770
- c. Sistem Operasi Ubuntu 14.04
- d. Perangkat Lunak GAMIT/GLOBK versi 10.6
- e. Microsoft Office 2007
- f. TEQC (*Translation, Editing and Quality Check*)
- g. Alat tulis
- h. GPS *Dual Frequency*
- i. Tripod
- j. Meteran

III.2 Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari :

a. Data Pengamatan

Data pengamatan yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah data pengamatan GPS yang dilakukan di Jembatan Penggaron di Jalan Tol Ungaran-Semarang km 20 pada bulan Juli, Agustus, dan September tahun 2015. Pengamatan GPS dilakukan pada delapan titik yang terpasang di sekitar Jembatan Penggaron. Terdiri dari empat titik kontrol Trans Marga Jalan (TMJ), dan empat titik baru. Empat titik dari penelitian sebelumnya adalah CPSA, CPDU, BMSA, dan BMDU serta empat titik baru adalah TPSA, TPDU, TPTI, dan TPEM.

b. Data Pendukung

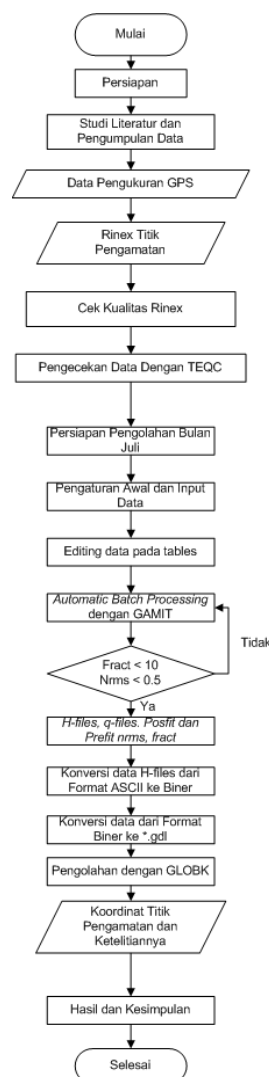
Data pendukung adalah data-data sekunder yang dilakukan saat pengolahan data. *Software* GAMIT menyediakan fasilitas dimana pengguna secara otomatis dapat melakukan mengunduh data-data sekunder yang dibutuhkan apabila tersambung dengan internet. Adapun jika melakukan mengunduh secara manual adalah sebagai berikut :

- 1) *File IGS ephemeris final orbit*. *File* ini dalam bentuk *.sp3 dan dapat diunduh dari <http://garner.ucsd.edu/pub/products/>. *file* tersebut diletakkan ke dalam folder *igs*.
- 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>. *File* tersebut diletakkan ke dalam folder *brdc*.
- 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. Terdapat tujuh jenis untuk setiap DOY yaitu *igs*, *igsb*,

igs1, *igs2*, *igs3*, *igs4*, *igs5*, *igs6*, dan *igs7*. *File* tersebut diletakkan ke dalam folder *hfiles*, *file* ini diperlukan saat pengolahan GLOBK.

III.3 Metodologi

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan metode GPS secara statik selama 6-7 jam dengan pengikatan ke 8 titik IGS yaitu BAKO, COCO, DARW, DGAR, GUAM, IISC, KARR, dan PIMO. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada *Gambar III.1* :



Gambar III.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 perangkat lunak 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 *makeexp*, *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

Pada pengecekan kualitas data dengan TEQC beberapa parameter hasil pengecekan data pengamatan memenuhi kriteria apabila efek *multipath* MP1 dan MP2 kurang dari 0,5 m. Hasil pengecekan data pengukuran Jembatan Penggaron dapat dilihat pada Tabel IV.1, Tabel IV.2, dan Tabel IV.3.

Tabel IV.1. Pengecekan TEQC Bulan Juli 2015

Titik	Moving Average	
	MP1 (m)	MP2 (m)
BMSA	0,427864	0,432058
BMDU	0,381637	0,358515
CPSA	0,682299	0,680086
CPDU	0,298161	0,292683
TPSA	0,485169	0,495436
TPDU	0,809234	0,934016
TPTI	0,391132	0,393681
TPEM	0,641057	0,727026

Pada Tabel IV.1. terlihat bahwa nilai *moving average* MP1 memiliki nilai rata-rata sebesar 0,51457 m dan *moving average* MP2 memiliki nilai rata-rata sebesar 0,53919 m.

Tabel IV.2. Pengecekan TEQC Bulan Agustus 2015

Titik	Moving Average	
	MP1 (m)	MP2 (m)
BMSA	0,429875	0,389876
BMDU	0,414201	0,363653
CPSA	0,955692	1,032591
CPDU	0,451749	0,508364
TPSA	0,568527	0,633573
TPDU	0,732231	0,760476
TPTI	0,566619	0,591186
TPEM	0,611207	0,644656

Kemudian, pada Tabel IV.2. di atas terlihat bahwa nilai *moving average* MP1 memiliki nilai rata-rata sebesar 0,59126 m dan *moving average* MP2 memiliki nilai rata-rata sebesar 0,61555 m.

Tabel IV.3. Pengecekan TEQC Bulan September 2015

Titik	Moving Average	
	MP1 (m)	MP2 (m)
BMSA	0,474729	0,472798
BMDU	0,324479	0,320168
CPSA	0,901314	0,973792
CPDU	0,685302	0,777618
TPSA	0,589792	0,616585
TPDU	0,744542	0,768395
TPTI	0,539321	0,616992
TPEM	0,701318	0,697485

Pada Tabel IV.3. di atas terlihat bahwa nilai *moving average* MP1 memiliki nilai rata-rata sebesar 0,620099 m dan *moving average* MP2 memiliki nilai rata-rata sebesar 0,655479 m.

Nilai dari MP1 dan MP2 dapat dilihat bahwa ada beberapa titik pengamatan yang berada diluar standar yaitu lebih besar dari 0,5 m, karena hasil perekaman juga tergantung dari obstruksi di sekitar daerah titik pengamatan, namun dalam pengolahan selanjutnya masih dapat digunakan karena dalam perangkat lunak GAMIT terdapat parameter estimasi orbit satelit yang dapat digunakan untuk mengkoreksi data RINEX titik pengamatan.

IV.2 Hasil Pengolahan GAMIT/GLOBK

Pada pengolahan GAMIT akan menghasilkan beberapa file baru dari hasil pengolahan data. Data yang digunakan untuk mengetahui informasi penting dan proses pengolahan selanjutnya adalah berupa file *h-files*, *q-files* dan *sh_gamit.summary*. Semua file tersebut berada dalam folder DOY. Proses pengolahan dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *project* perDOY.

Dimana *h-files* merupakan file yang memuat nilai *adjustment* dan matriks varian-kovarian yang digunakan sebagai input dalam pengolahan GLOBK. *H-files* hasil pengolahan GAMIT dihasilkan dalam masing-masing DOY dengan format file *h<nama_project>a.<do>*, misalnya *ha182a.182*.

Dalam *q-files* memuat hasil analisis program *solve* yang berisi hasil evaluasi dari pengolahan data. *Q-files* memiliki format *q<nama_project>a.<do>*, misalnya *qa182a.182*. File ini untuk mengetahui nilai *fract*. *Fract* adalah nilai dari *adjust* per nilai formal. *Adjust* adalah koreksi koordinat pada saat hitungan perataan. Nilai *fract* dapat digunakan untuk mengindikasikan apakah terdapat nilai *adjust* yang janggal dan perlu tidaknya diberikan iterasi untuk mendapatkan nilai *adjust* yang bebas dari efek *non-linier*. Nilai *formal* menunjukkan ketidakpastian pada pemberian data bobot untuk perhitungan kuadrat terkecil. Untuk dapat diterima dan dilakukan proses perhitungan menggunakan GLOBK, nilai *fract* harus kurang dari 10. Jika nilai *fract* lebih dari 10, hal tersebut mengindikasikan bahwa terdapat kesalahan kasar dan sistematis pada pengolahan tersebut.

Untuk mengetahui informasi pengolahan GAMIT dapat diketahui dari *summary file*. *Summary file* ini terdapat dalam folder DOY pengamatan dengan format file *sh_gamit_<do>.summary*, misalnya *sh_gamit_182.summary*. Informasi yang diperoleh dari *summary file* diantaranya adalah *number of station used* yang berisi banyaknya stasiun GPS yang dilakukan pengolahan. Pengecekan dilakukan dengan memastikan jumlah stasiun GPS hasil pengolahan sama dengan jumlah stasiun pada awal *input data*. Bila jumlah stasiunnya lebih sedikit

dari data yang diolah berarti terdapat kesalahan pada RINEX yang digunakan dalam pengolahan. Informasi lain yang diperoleh adalah nilai *postfit nrms*. *Postfit nrms* adalah nilai perbandingan antara nilai akar kuadrat *chi-square* dan nilai *degree of freedom*. Standar kualitas nilai *postfit nrms* adalah berkisar $\pm 0,5$. Apabila nilai *postfit nrms* yang lebih dari 0,5 menandakan bahwa masih ada data yang mengandung *cycle slips* yang belum dihilangkan atau berkaitan dengan parameter bias ekstra ataupun bisa juga karena terdapat kesalahan dalam melakukan pemodelan. Nilai *postfit* tidak memiliki satuan.

Hasil dari pengolahan GAMIT dan GLOBK adalah nilai koordinat beserta simpangan bakunya. Nilai koordinat dari masing-masing titik setiap periode pengukuran ditampilkan dalam. Tabel IV. 4, Tabel IV. 5 dan Tabel IV. 6 :

Tabel IV.4. Koordinat Karteisan 3D Juli 2015

Titik	Koordinat Kartesian 3D (m)			Simpangan Baku (m)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
BMSA	-2208344,13467	5931973,82566	-784786,35474	0,0101	0,0067	0,0016
BMDU	-2208442,74569	5931804,49427	-785681,10871	0,0061	0,0189	0,0099
CPSA	-2208501,47277	5931785,65979	-785682,25386	0,0034	0,0158	0,0093
CPDU	-2208427,50437	5931937,82625	-784814,63839	0,0042	0,0051	0,0005
TPSA	-2208372,43577	5931871,96052	-785198,64782	0,0014	0,0188	0,0127
TPDU	-2208430,26557	5931836,06784	-785177,03057	0,0096	0,0151	0,0157
TPTI	-2208375,31272	5931864,09176	-785252,54375	0,0345	0,0137	0,0074
TPEM	-2208450,01323	5931789,31286	-785309,89911	0,0811	0,0104	0,0073

Tabel IV.5. Koordinat Karteisan 3D Agustus 2015

Titik	Koordinat Kartesian 3D (m)			Simpangan Baku (m)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
BMSA	-2208344,17748	5931973,96323	-784786,37856	0,0153	0,0014	0,0054
BMDU	-2208442,72245	5931804,45538	-785681,11552	0,0202	0,0664	0,0030
CPSA	-2208501,48432	5931785,66147	-785682,25634	0,0051	0,0293	0,0086
CPDU	-2208427,52639	5931937,87696	-784814,64760	0,0197	0,0017	0,0066
TPSA	-2208372,38662	5931871,87335	-785198,65410	0,0566	0,0843	0,0067
TPDU	-2208430,21131	5931835,97911	-785177,02533	0,0424	0,0836	0,0003
TPTI	-2208375,29461	5931864,07339	-785252,55227	0,0507	0,0717	0,0072
TPEM	-2208449,88350	5931788,97794	-785309,86472	0,0362	0,0642	0,0007

Tabel IV.6. Koordinat Karteisan 3D September 2015

Titik	Koordinat Kartesian (m)			Simpangan Baku (m)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
BMSA	-2208344,19319	5931973,99782	-784786,38023	0,0032	0,0168	0,0028
BMDU	-2208442,67364	5931804,30734	-785681,07581	0,0239	0,0124	0,0072
CPSA	-2208501,55227	5931785,88973	-785682,28398	0,0263	0,0367	0,0004
CPDU	-2208427,47085	5931937,76151	-784814,64017	0,0214	0,0033	0,0126
TPSA	-2208372,31715	5931871,63109	-785198,61713	0,0121	0,0129	0,0076
TPDU	-2208430,21152	5931835,95936	-785177,00606	0,0433	0,0078	0,0187
TPTI	-2208375,38516	5931864,26272	-785252,57411	0,0199	0,0068	0,0009
TPEM	-2208449,99219	5931789,21318	-785309,89251	0,0780	0,0269	0,0119

Hasil koordinat kartesian yang sudah didapat selanjutnya ditransformasikan dalam sistem koordinat geodetis seperti yang disajikan dalam Tabel IV.7, Tabel IV.8, dan Tabel IV.9.

Tabel IV.7. Koordinat Geodetis Juli 2015

Titik	Koordinat		Tinggi Ellipsoid (m)
	Lintang	Bujur	
BMSA	7° 06' 53,56634" S	110° 25' 09,11414" E	353,218
BMDU	7° 07' 22,96787" S	110° 25' 14,05089" E	340,777
CPSA	7° 07' 22,99339" S	110° 25' 16,05854" E	343,737
CPDU	7° 06' 54,49864" S	110° 25' 12,06947" E	352,107
TPSA	7° 07' 07,22848" S	110° 25' 11,13658" E	319,367
TPDU	7° 07' 06,58454" S	110° 25' 13,31076" E	303,332
TPTI	7° 07' 08,99500" S	110° 25' 11,31390" E	319,725
TPEM	7° 07' 11,02514" S	110° 25' 14,44545" E	283,156

Tabel IV.8. Koordinat Geodetis Agustus 2015

Titik	Koordinat		Tinggi Ellipsoid (m)
	Lintang	Bujur	
BMSA	7° 06' 53,56653" S	110° 25' 09,11389" E	353,364
BMDU	7° 07' 22,96827" S	110° 25' 14,05062" E	340,734
CPSA	7° 07' 22,99345" S	110° 25' 16,05887" E	343,743
CPDU	7° 06' 54,49872" S	110° 25' 12,06957" E	352,163
TPSA	7° 07' 07,22908" S	110° 25' 11,13607" E	319,273
TPDU	7° 07' 06,58478" S	110° 25' 13,31011" E	303,234
TPTI	7° 07' 08,99537" S	110° 25' 11,31356" E	319,703
TPEM	7° 07' 11,02548" S	110° 25' 14,44530" E	282,796

Tabel IV.9. Koordinat Geodetis September 2015

Titik	Koordinat		Tinggi Ellipsoid (m)
	Lintang	Bujur	
BMSA	7° 06' 53,56320" S	110° 25' 09,11397" E	353,389
BMDU	7° 07' 22,96761" S	110° 25' 14,05081" E	340,574
CPSA	7° 07' 22,99339" S	110° 25' 16,05835" E	343,982
CPDU	7° 06' 54,49899" S	110° 25' 12,06919" E	352,035
TPSA	7° 07' 07,22890" S	110° 25' 11,13670" E	319,016
TPDU	7° 07' 06,58424" S	110° 25' 13,31035" E	303,209
TPTI	7° 07' 08,99523" S	110° 25' 11,31417" E	319,913
TPEM	7° 07' 11,02533" S	110° 25' 14,44594" E	283,055

IV.3 Deformasi Titik Pengamatan

Pada penelitian kali ini lokasi titik origin yang dijadikan sebagai acuan pada penentuan koordinat toposentrik adalah koordinat pada pengukuran bulan Juli 2015. Hasil konversi koordinat toposentrik dari geodetik dapat dilihat pada Tabel IV.10. dan Tabel IV.11.

Tabel IV.10. Koordinat Toposentrik Juli-Agustus 2015

Titik	Koordinat Toposentrik (m)		
	e	n	u
BMSA	-0,0058	-0,0078	-0,0357
BMDU	-0,0122	-0,0082	0,0045
CPSA	-0,0017	0,0102	0,0031
CPDU	-0,0023	0,0029	-0,0110
TPSA	-0,0184	-0,0156	0,0123
TPDU	-0,0074	-0,0198	0,0125
TPTI	-0,0113	-0,0105	-0,0009
TPEM	-0,0103	-0,0047	0,0753

Tabel IV.11. Koordinat Toposentrik Juli-September 2015

Titik	Koordinat Toposentrik (m)		
	e	n	u
BMSA	-0,0027	-0,0052	-0,0301
BMDU	0,0078	-0,0023	0,0438
CPSA	0,0002	-0,0057	-0,0558
CPDU	-0,0107	-0,0088	0,0105
TPSA	-0,0129	0,0037	0,0767
TPDU	0,0093	-0,0128	0,0218
TPTI	-0,0071	0,0082	-0,0378
TPEM	-0,0059	0,0150	0,0280

IV.4 Analisis Pergeseran

Dengan menggunakan tingkat kepercayaan 95% ($\alpha = 5\%$) dan $df \infty$ maka nilai t adalah 1,960 (Abidin, 2006). 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.

Hasil hitungan nilai t disajikan pada Tabel IV.12. dan Tabel IV.13.

Tabel IV.12. Hasil Uji Statistik Pergeseran Titik Agustus 2015

Titik	Pij	Std Pij	t hitungan	t tabel	Ho	Pergeseran
BMSA	0,0097	0,0066	1,4749	1,96	Diterima	Tidak
BMDU	0,0147	0,0149	0,9883	1,96	Diterima	Tidak
CPSA	0,0103	0,0136	0,7655	1,96	Diterima	Tidak
CPDU	0,0037	0,0064	0,5863	1,96	Diterima	Tidak
TPSA	0,0242	0,0145	1,6755	1,96	Diterima	Tidak
TPDU	0,0212	0,0159	1,3356	1,96	Diterima	Tidak
TPTI	0,0155	0,0143	1,0856	1,96	Diterima	Tidak
TPEM	0,0114	0,0155	0,7380	1,96	Diterima	Tidak

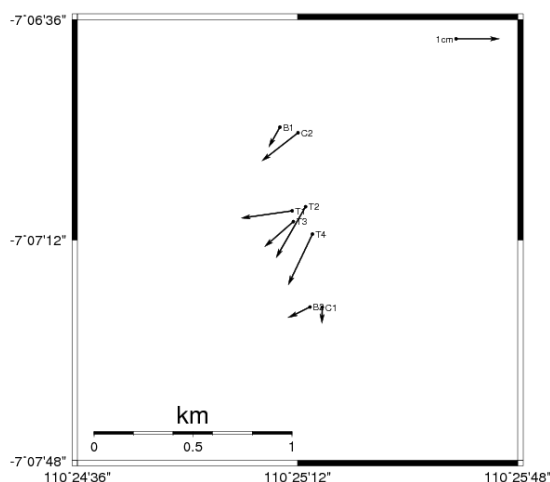
Tabel IV.13. Hasil Uji Statistik Pergeseran Titik
September 2015

Titik	Pij	Std Pij	t hitungan	t tabel	Ho	Pergeseran
BMSA	0,0059	0,0107	0,5552	1,96	Diterima	Tidak
BMDU	0,0081	0,0127	0,6389	1,96	Diterima	Tidak
CPSA	0,0057	0,0171	0,3349	1,96	Diterima	Tidak
CPDU	0,0138	0,0090	1,5509	1,96	Diterima	Tidak
TPSA	0,0134	0,0123	1,0985	1,96	Diterima	Tidak
TPDU	0,0158	0,0121	1,3167	1,96	Diterima	Tidak
TPTI	0,0109	0,0095	1,1433	1,96	Diterima	Tidak
TPEM	0,0161	0,0108	1,5018	1,96	Diterima	Tidak

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel IV.12 dan Tabel IV.13 menunjukkan semua nilai t-hitungan kurang dari t_α 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 pengamatan tidak mengalami pergeseran.

IV.5 Hasil Plotting Titik Pengamatan

Setelah didapatkan koordinat toposentrik, titik hasil pengamatan dapat kita *plot* dengan menggunakan bantuan perangkat lunak GMT (*Generic Mapping Tools*). Dengan perangkat lunak tersebut kita dapat mengetahui arah vector horizontal pergerakan deformasi titik kontrol jembatan Pengaron. Gambar hasil *plot* dapat dilihat pada Gambar IV.1.



Gambar IV.1. Arah vektor horizontal

Dari Gambar IV.1 dapat dilihat bahwa arah vektor horizontal dari pengamatan titik control jembatan Pengaron mayoritas bergerak menuju arah Barat Daya.

V. Penutup

V.1 Kesimpulan

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

1. Dari hasil survei GPS pada bulan Juli, Agustus, dan September tahun 2015 teramati bahwa titik-titik pengamatan mengalami perubahan koordinat setiap bulannya. Rata-rata nilai perubahan koordinat dalam sistem koordinat kartesian tiga dimensi pada sumbu $n = 3,854$ mm, sumbu $e = 5,745$ mm dan sumbu $u = 7,344$ mm.
2. Secara numeris kedelapan titik pengamatan mengalami deformasi, namun setelah dilakukan uji statistik dengan selang kepercayaan 95% dinyatakan bahwa kedelapan titik tidak memiliki pergeseran yang signifikan. Berdasarkan hasil uji statistik tersebut, dapat disimpulkan bahwa titik-titik pengamatan tidak mengalami deformasi.

V.2 Saran

Beberapa saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Dengan metode survei GPS dual-frekuensi yang memiliki kemampuan untuk monitoring deformasi pada tingkat ketelitian yang cukup tinggi tersebut, maka metode survei GPS untuk monitoring deformasi perlu dilanjutkan.
2. Pengamatan deformasi baiknya dilakukan secara kontinu agar dapat mengetahui kondisi deformasi yang terjadi.
3. Penelitian selanjutnya hendaknya juga mengamati pergerakan pada badan jembatan.
4. Untuk memperoleh data yang lebih baik, perlu dilakukan perencanaan survei dan strategi pengamatan yang lebih cermat. Misalnya dengan durasi pengamatan yang lebih lama serta lebih memperhatikan saat *centering* alat.
5. Agar memperoleh hasil data yang signifikan diperlukan interval antar pengamatan yang lebih lama.
6. Sebelum melakukan pengolahan data dengan perangkat lunak GAMIT, sebaiknya membaca *manual book* serta referensi-referensi yang berhubungan sehingga kesulitan saat proses pengolahan dapat cepat diatasi.

7. Dalam penggunaan titik ikat IGS sebaiknya dikombinasikan dengan titik ikat regional seperti CSEM (Semarang), CPJR (Jepara), CDNP (Denpasar), CSRJ (Singaraja), SAMP (Medan), dan lain-lain. Hal ini bertujuan untuk menghilangkan pengaruh Blok Sunda pada pengamatan deformasi jembatan Penggaron.
8. Saat *editing file* pengolahan data, perlu ketelitian dan kecermatan agar tidak terjadi kesalahan saat proses pengolahan.

VI. Daftar Pustaka

- Abidin, 2006. *Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya*. Pradnya Paramita: Jakarta.
- Abidin, 2007. *Modul-1: Introduction to GPS*. Bahan Ajar Kuliah. Jurusan Teknik Geodesi, Institut Teknologi Bandung: Bandung.
- Abidin, 2007. *Modul-3: GPS Positioning*. Bahan Ajar Kuliah. Jurusan Teknik Geodesi, Institut Teknologi Bandung: Bandung.
- Abidin, 2007, *Modul-5 : Kesalahan dan Bias GPS*. Bahan Ajar Kuliah. Jurusan Teknik Geodesi, Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Kuang, 1996. *Geodetic Network Analysis and Optimal Design : Concepts and Applications*. Ann Arbor Press. Inc: Michigan.
- Struyk, J.H dan Van Der Veen, W.C.H.K., 1984, alih bahasa Soemargono, *Jembatan*. Pradnya Paramita: Jakarta.
- Supriyadi, B dan Muntohar A.S., 2007. *Jembatan*, CV.BETA OFFSET : Yogyakarta.