



## Development and Definition of Prambanan Temple Deformation Monitoring Control Points

Rochmad Muryamto<sup>1</sup>, M. Iqbal Taftazani<sup>2</sup>, Yulaikhah<sup>1</sup>, Bambang K. Cahyono<sup>1</sup>, Anindya Sricandra P.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, INDONESIA

<sup>2</sup> Program D3 Teknik Geomatika, Departemen Teknologi Kebumihan, SV-UGM, Yogyakarta, Indonesia

### Article History:

Received 11 November 2018

Received in revised form 14 December 2018

Accepted 17 December 2018

Available online 31 January 2019

### Keywords:

Prambanan temple, GNSS observation, deformation control point

### Corresponding Author:

Rochmad Muryamto

Email: rochmad\_mury@ugm.ac.id

**ABSTRACT.** As one of the cultural heritage of historical buildings that has been recognized by UNESCO since 1991, the construction of Prambanan Temple was established on an unstable soil structure, not far from the Opak River. In the geological map of Yogyakarta, there is a fault under the Opak River which caused an earthquake in 2006 and had an impact on Prambanan Temple. Because of its position in disaster-prone areas, regular monitoring of the deformation of Prambanan Temple is very necessary. This research aims to build a deformation monitoring control point in Prambanan Temple. Eight control points, consist of three existing points and five new points are built around Prambanan Temple. These eight control points then were measured by GNSS receiver for 1x24 hours in order to define their coordinates. The GNSS data processing is done using GAMIT 10.70 software with two strategies, namely (1) processing with regional reference points, in this case using IGS stations namely BAKO and JOG2, and (2) processing with global reference points using IGS stations namely COCO, DARW, KARR, POHN, PIMO, DGAR, and IISC. Processing with these two strategies is done to find out the best processing results between regional or global processing. This research yields benchmarks of Prambanan temple deformation control points with their coordinates and their standard deviations in two processing strategies. The smallest standard deviation in the first strategy is 78.7 mm on the Z-axis for points of PRB1 and PRB3. The biggest standard deviation is 121.8 mm on the Y-axis at point of PRB2. In the second strategy the smallest standard deviation is 3.6 mm on the Z-axis for points of PRB1 and PRB3. The biggest standard is 14.1 mm on the Y-axis at point of PRB2. Processing with the second (global) strategy is chosen because it produced better accuracy than the first (regional) strategy.

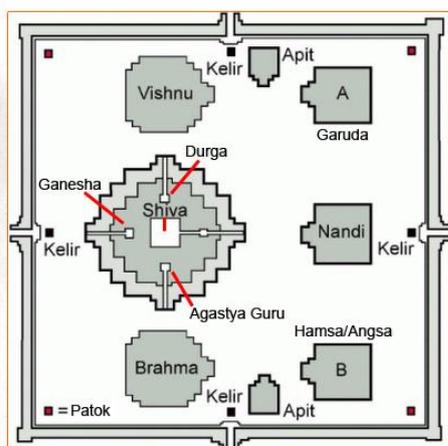
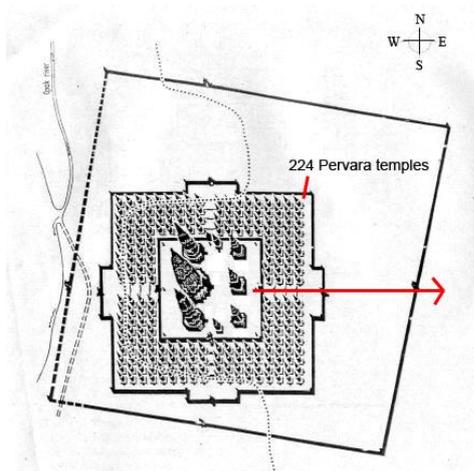
© Author(s) 2018. This is an open access article under the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License (CC BY-SA 4.0).

## 1. Pendahuluan

Candi Prambanan adalah salah satu benda bersejarah warisan budaya Kerajaan Mataram Hindu yang terletak di perbatasan Propinsi DIY dan Jawa Tengah dan dibangun pada tahun 856 Masehi. Karena faktor alam, salah satunya karena letusan Gunung Merapi, menyebabkan beberapa bagian candi tertimbun tanah dan debu vulkanis. Pada tahun 1733 Candi Prambanan ditemukan kembali dalam keadaan runtuh setelah adanya proses penggalian dan pencarian kembali bangunan Candi Prambanan oleh C.A. Lons. Sejak tahun 1991 Candi Prambanan diakui oleh UNESCO sebagai warisan budaya bangunan bersejarah

yang harus dilestarikan dan dijaga keberadaannya (<http://whc.unesco.org/en/list/642>).

Kompleks Candi Prambanan terdiri atas tiga tingkat halaman. Setiap tingkat berbentuk segi empat. Halaman pertama berukuran 110 m x 110 m berisi bangunan tiga Candi Trimurti (Brahma, Siwa, dan Wisnu), tiga Candi Wahana (Nandi, Garuda, dan Angsa), dua Candi Apit, empat Candi Kelir, dan empat Candi Patok. Halaman kedua berukuran 222 m x 222 m berisi Candi Perwara. Halaman ketiga atau halaman terluar berukuran 390 m x 390 m berupa halaman kompleks Candi. Denah Candi Prambanan dapat dilihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Denah Candi Prambanan (BPCB, 1999)

Candi Pambanan dibangun pada pada struktur yang labil, yaitu berupa tanah timbunan pasir yang dipadatkan dengan kepadatan sedang dan pada kedalaman 14 m dari permukaan tanah ditemukan mata air (Suryolelono, 2007). Pada sisi barat kompleks Candi Prambanan terdapat bentang alam berupa Sungai Opak yang dalam Peta Geologi Lembar Yogyakarta digambarkan terdapat Patahan Opak. Patahan Opak memiliki orientasi timur laut-barat daya, dimana blok timur bergeser ke utara, sedangkan blok barat relatif bergeser ke selatan dengan lebar zona patahan sebesar 2,5 km (Subowo, dkk., 2007, Sulaeman, dkk., 2008). Patahan Opak ini memanjang dari kawasan Pantai Parangtritis ke utara sampai ke wilayah timur Kota Yogyakarta (Abidin, dkk., 2009). Patahan Opak ini menjadi bentang alam yang sangat berpengaruh pada kestabilan Candi Prambanan. Patahan ini menjadi penyebab terjadinya gempa dangkal dengan magnitudo 6,3 Skala Richter di Yogyakarta pada 27 Mei 2006 (Sulaiman, dkk., 2008). Akibat dari adanya gempa ini, pada bagian halaman candi banyak batu-batu candi (bagian ratna) berserakan, meski secara keseluruhan candi masih nampak berdiri kokoh (Suryolelono, 2007). Kerusakann-kerusakan akibat gempa dan kemungkinan adanya deformasi bisa terus berlanjut selama patahan ini masih aktif, mengingat lokasi candi ini cukup dekat dari Patahan Opak ini.

Studi sebelumnya dilaksanakan pada 1999, 2001, dan 2011 oleh institusi Balai Pelestarian Cagar Budaya (BPCB) Yogyakarta. Kemudian studi dilanjutkan oleh Teknik Geodesi UGM, oleh Widjajanti dan Wicaksono (2014) dan oleh Shodiq (2015).

Pada periode pengukuran oleh BPCB Yogyakarta, metode pengukuran dengan triangulaterasi pada kerangka poligon tertutup di 8 titik pantau Candi Siwa. Alat ukur yang dipakai yaitu alat ukur sudut : teodolit Sokkisha TM1A ketelitian sudut 1" (tahun 1999 dan 2001) dan teodolit Topcon DT 200 ketelitian sudut 20" dan alat ukur jarak : pita ukur dengan ketelitian 1 mm. Metode hitungan menggunakan *Bowditch* untuk menentukan koordinat lokal. Metode hitungan pergeseran belum menggunakan analisis deformasi dengan uji statistik. Analisis pergeseran masih menggunakan data antar-tahun, seperti dari 1997-1999 dan 1999-2001.

Pada periode pengukuran oleh peneliti dari Teknik Geodesi UGM, metode pengukuran masih pada titik yang sama dengan kerangka yang sama. Namun terdapat perbedaan pada alat ukur yang dipakai. Pengukuran dilaksanakan satu kali pada tahun 2013 dan dua kali pada tahun 2015. Alat ukur sudut dan jarak telah digantikan dengan Total Station Nikon DTM-352 ketelitian sudut 5" dan jarak 3 mm + 3ppm x D. Metode hitungan untuk memperoleh koordinat dilakukan dengan hitung kuadrat terkecil (HKT) metode parameter (Widjajanti dan Wicaksono, 2014) dan metode *inner constraint* (Shodiq, 2015). Koordinat yang dipakai sudah mengacu pada sistem global dimana telah dilakukan pengikatan posisi titik S1 terhadap TTG 836 dan N0005. Analisis pergeseran telah menggunakan *global congruency test* dan uji statistik, sehingga hasil analisis lebih akurat dari pada periode sebelumnya. Analisis pergeseran sudah menggunakan data multi-kala dan kombinasinya, mulai dari data 1999 s.d. 2015, sehingga variasi nilai dan pola arah pergeseran bisa diketahui. Ringkasan penelitian terdahulu dapat dilihat pada Tabel 1.1.

Tabel 1.1 Ringkasan penelitian terdahulu

Parameter	Tahun Pengukuran/Penelitian			
	2001	2011	2013	2015
Pelaksana	BPCB Yogyakarta	BPCB Yogyakarta	Wicaksono, 2014	Shodiq, 2015
Metode pengukuran	Triangu-laterasi	Triangu-laterasi	Triangu-laterasi	Triangu-laterasi
Kerangka	Poligon tertutup	Poligon tertutup	Poligon tertutup	Poligon tertutup
Jumlah titik pantau	8 titik pada candi Siwa	8 titik pada candi Siwa	8 titik pada candi Siwa	8 titik pada candi Siwa
Alat ukur	Teodolit Sokkisha TM1A dan pita ukur	Teodolit Topcon DT 200 dan pita ukur	Total Station Nikon DTM 352	Total Station Nikon DTM 352
Metode hitungan koordinat	Bowditch	Bowditch	HKT	HKT
Acuan koordinat	Lokal	Lokal	Global terikat pada TTG 836 dan N0005 (metode GPS)	Global terikat pada TTG 836 dan N0005 (metode

				GPS)
Jumlah data yang dipakai untuk perhitungan pergeseran	2 kala	2 kala	2 kala	multi-kala (1999, 2001, 2011, 2013, dan 2015)
Uji statistik	Tidak dilaksanakan	Tidak dilaksanakan	Uji Fisher, uji parameter regangan, dan uji signifikansi parameter	Uji Fisher, Data Snooping, dan Uji signifikansi parameter
Metode estimasi pergeseran	Perbandingan beda posisi per waktu	Perbandingan beda posisi per waktu	Analisis deformasi global congruency	Analisis deformasi global congruency
Nilai pergeseran	Tahun 1999 s.d. 2001 sebesar 4 mm horizontal dan 5 mm vertikal	Tidak ada data	Tahun 2011 s.d. 2013 sebesar 3 mm - 10 mm ke arah timur laut	Tahun 2001 s.d. 2011 sebesar 2,28 m, ketelitian pergeseran terbesar 4,7 mm, dengan arah bervariasi

BPCB telah melakukan pemantauan deformasi secara rutin pada titik-titik pemantauan yang telah dibangun pada halaman pertama candi. Namun dalam pemantauan tersebut masih menggunakan peralatan yang sederhana. Penelitian ini merupakan langkah awal dalam pemantauan deformasi kompleks Candi Prambanan dengan pengukuran GNSS. Salah satu kegiatannya yaitu membangun titik kontrol baru yang selanjutnya ditentukan koordinat titik tersebut dengan metode GNSS.

## 2. Data dan Metodologi

### 2.1. Data dan Lokasi

Lokasi penelitian ini di kompleks Candi Prambanan. Data penelitian ini merupakan data hasil pengamatan GNSS pada titik kontrol (yang telah ada dan baru) yang tersebar di kompleks Candi Prambanan.

### 2.2. Metodologi

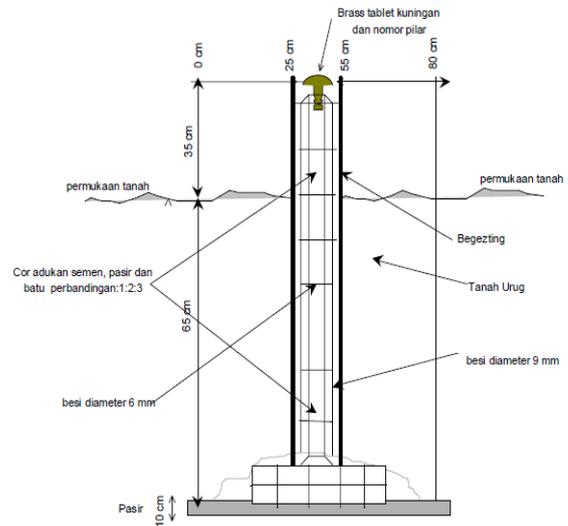
Penelitian dilaksanakan dengan beberapa tahapan, yaitu (1) pembangunan titik kontrol baru, (2) pengukuran titik kontrol, dan (3) pengolahan data.

#### (1). Pembangunan titik kontrol baru

Titik kontrol baru yang dibangun berjumlah lima buah tersebar di halaman kedua dan ketiga kompleks Candi Prambanan. Pada halaman pertama terdapat tiga titik kontrol yang sudah dibangun oleh BPCB. Titik kontrol baru tersebut memiliki desain dan struktur yang sesuai untuk bangunan pilar pada jaringan kontrol horizontal. Gambar contoh desain pilar dan *benchmark* titik kontrol baru disajikan pada Gambar 2.1 dan 2.2. Permukaan tinggi titik kontrol baru tidak sesuai dengan spesifikasi. Hal ini disebabkan karena permintaan dari BPCB agar titik kontrol yang baru dibangun tidak terlalu menonjol.

Distribusi titik kontrol baru dan yang telah ada disajikan pada Gambar 2.3 Candi Prambanan. Pemilihan lokasi titik kontrol diupayakan agar membentuk *strength*

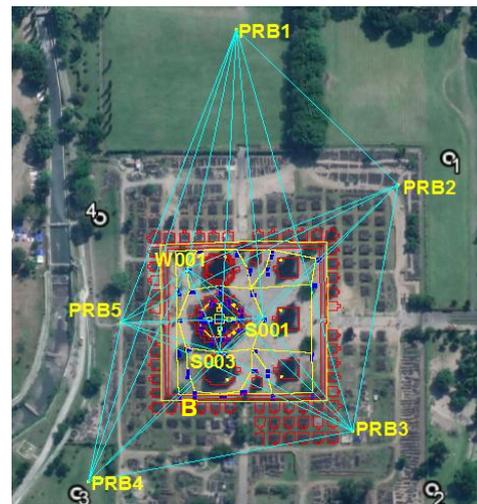
of figure yang baik, salah satunya adalah dengan membentuk jaringan segitiga sama sisi, selain itu lokasi titik juga harus bebas dari obstruksi. Titik kontrol baru diberi nama PRB1, PRB2, PRB3, PRB4, dan PRB 5. Titik-titik tersebut berada di sekitar halaman kedua dan ketiga Candi Prambanan. Sedangkan di halaman pertama terdapat tiga titik kontrol yang telah dibuat oleh BPCB. Titik tersebut yaitu W001, S001 dan B003.



Gambar 2.1 Contoh desain titik kontrol (BSN, 2002)



Gambar 2.2 Benchmark titik kontrol baru



Gambar 2.3 Distribusi dan jaringan titik kontrol Candi Prambanan

### (2) Pengukuran titik kontrol.

Pengukuran ini dimaksudkan untuk mendefinisikan koordinat dari titik kontrol deformasi Candi Prambanan. Pengukuran dilakukan dengan *receiver* GNSS sesuai spesifikasi SNI JKH yang memenuhi Orde-0. Pengamatan GNSS dilakukan dengan *receiver* GNSS geodetik frekuensi ganda dengan metode relatif statik dengan durasi pengamatan selama 1x24 jam kontinyu dengan *sampling rate* 15 detik. Adapun spesifikasi pengukuran SNI JKH disajikan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Spesifikasi pengukuran SNI JKH (BSN, 2002)

	Orde Jaringan					
	00	0	1	2	3	4 (GPS)
Metode pengamatan	GPS kontinyu	survei GPS	survei GPS	survei GPS	survei GPS	survei GPS
Lama pengamatan per sesi (minimum)	kontinyu	24 jam	6 jam	2 jam	1 jam	0.25 jam
Data pengamatan utama untuk penentuan posisi	fase dua frekuensi	fase dua frekuensi	fase dua frekuensi	fase dua frekuensi	fase satu frekuensi	fase satu frekuensi
Moda pengamatan	Jaring tetap	jaring	jaring	Jaring	jaring	radial
Pengamatan independen di setiap titik						
- setidaknya 3 kali (% dari jumlah titik)	100%	50%	40%	20%	10%	tidak
- setidaknya 2 kali (% dari jumlah titik)	100%	100%	100%	100%	100%	tidak
Interval data pengamatan (detik)	30	30	30	15	15	15
Jumlah satelit minimum	tidak ada	4 satelit				
Nilai PDOP yang diperlukan	tidak ada	lebih kecil dari 10				
Elevasi satelit minimum	150					
Pengamatan data meteorologist	ya	ya	ya	tidak	tidak	tidak

Pemilihan pendefinisian titik kontrol dengan pengamatan GNSS metode relatif statik untuk menghasilkan data koordinat yang akurat dan memiliki presisi tinggi (Abidin, 2007). Metode ini dilakukan dengan penentuan titik kontrol relatif terhadap titik referensi. Peralatan yang digunakan dalam metode ini minimal 1 (satu) buah *receiver* sebagai *base*/stasiun referensi yang sudah diketahui nilai koordinatnya dan 1 (satu) buah *receiver* sebagai *rover* pada titik yang ingin dicari nilai koordinatnya. Pengukuran titik kontrol dengan GNSS membutuhkan jangka waktu pengukuran tertentu. Jangka waktu pengukuran yang semakin lama akan mendapatkan hasil koordinat yang lebih baik, yang dalam penelitian ini dilakukan selama 1x24 jam.

### (3) Pengolahan data.

Pengolahan data dalam penelitian ini untuk mendefinisikan koordinat titik kontrol yang berjumlah delapan titik. Pengolahan data dilakukan dengan perangkat lunak GAMIT v10.70 yang merupakan

perangkat lunak pengolahan data GNSS yang dikembangkan oleh Massachusetts Institute of Technology (MIT). Perangkat lunak ini dapat berfungsi pada semua jenis sistem operasi komputer (Herring, dkk., 2009). Namun demikian, dalam penelitian ini, perangkat lunak tersebut dijalankan dengan sistem operasi Linux Ubuntu 16.04.

Terdapat dua strategi dalam pengolahan datanya. Pertama, strategi pengolahan dengan titik referensi regional, dalam hal ini stasiun IGS yang terletak di wilayah Indonesia, yaitu BAKO dan JOG2. Adapun strategi kedua menggunakan stasiun IGS global, dalam hal ini stasiun COCO, DARW, DGAR, IISC, KARR, PIMO, dan POHN. Pengolahan dengan dua strategi tersebut dilakukan untuk mengetahui hasil pengolahan terbaik antara pengolahan regional atau global. Secara regional titik referensi IGS memiliki panjang *baseline* yang lebih pendek, tetapi dengan jumlah titik referensi yang sedikit (hanya dua stasiun IGS). Sedangkan pada pengolahan global memiliki panjang *baseline* yang lebih panjang dari pada pengolahan regional. Gambar distribusi titik referensi dapat dilihat pada Gambar 2.4 dan 2.5.



Gambar 2.4 Distribusi stasiun IGS pengolahan skenario pertama



Gambar 2.5 Distribusi stasiun IGS pengolahan skenario kedua

Strategi pertama hanya menggunakan dua titik referensi karena hanya tersedia dua stasiun IGS di Indonesia. Sedangkan strategi kedua menggunakan tujuh titik IGS. Penelitian Leonard (2009) menyatakan bahwa terjadi kenaikan ketelitian yang signifikan dalam penambahan titik referensi sampai dengan tujuh stasiun. Hasil pengolahan dengan tujuh titik referensi IGS berkorelasi dengan beberapa penelitian yang telah dilakukan, antara lain oleh Panuntun (2012), Taftazani

(2013), Waljiyanto, dkk (2015) dimana dihasilkan nilai simpangan baku yang signifikan dari hasil pengolahannya.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Hasil dari penelitian ini adalah terbangunnya titik kontrol baru berupa *benchmark* untuk pemantauan deformasi di Candi Prambanan. Semua titik kontrol tersebut ditentukan koordinat dan simpangan bakunya. Hasil pengolahan data GNSS dengan masing-masing strategi disajikan dalam Tabel 3.1 dan 3.2.

Dalam penyajian hasil pengolahan data GNSS, koordinat titik kontrol ditunjukkan dalam sistem koordinat kartesi 3D. Sistem koordinat kartesi 3D memiliki aturan yaitu titik pusat terletak pada pusat bumi; sumbu-Z adalah garis dalam arah *Conventional Terrestrial Pole* (CTP); sumbu-X adalah arah perpotongan meridian *Greenwich* atau meridian nol *Conventional Zero Meridian* (CZM) yang ditetapkan oleh *Bureau International de l'Heure* (BIH) dan bidang ekuator; sumbu-Y adalah garis pada bidang ekuator yang tegak lurus pada sumbu-X dan sumbu-Z dengan mengikuti kaidah tangan kanan (Leick, dkk, 2015).

Tabel 3.1 Hasil pengolahan GNSS strategi pertama

Nama Titik	Koordinat (m)		
	X	Y	Z
PRB1	-2212444,924	5920507,936	-854742,8032
S.Baku (mm)	84,5	121,3	78,7
PRB2	-2212655,794	5920431,153	-854751,8094
S.Baku (mm)	84,7	121,8	78,8
PRB3	-2212487,873	5920511,941	-854641,291
S.Baku (mm)	84,5	121,3	78,7
PRB4	-2212671,834	5920457,78	-854533,3713
S.Baku (mm)	84,5	121,4	78,8
PRB5	-2212548,039	5920525,476	-854387,5218
S.Baku (mm)	84,5	121,4	78,8
B003	-2212543,095	5920486,455	-854690,3478
S.Baku (mm)	84,6	121,6	78,8
S001	-2212574,209	5920482,783	-854635,9361
S.Baku (mm)	84,6	121,5	78,8
W001	-2212525,592	5920506,128	-854599,951
S.Baku (mm)	84,6	121,6	78,8

Tabel 3.2 Hasil pengolahan GNSS strategi kedua

Nama Titik	Koordinat (m)		
	X	Y	Z
PRB1	-2212444,89	5920507,92	-854742,8234
S.Baku (mm)	5,6	9,9	3,6
PRB2	-2212655,759	5920431,137	-854751,8303
S.Baku (mm)	7,3	14,1	4,5
PRB3	-2212487,839	5920511,924	-854641,3114
S.Baku (mm)	5,6	10,1	3,6
PRB4	-2212671,799	5920457,761	-854533,3921
S.Baku (mm)	6,1	11,2	3,9
PRB5	-2212548,005	5920525,459	-854387,542
S.Baku (mm)	6,8	13,1	4,3
B003	-2212543,061	5920486,438	-854690,368
S.Baku (mm)	6,4	12,7	4,5
S001	-2212574,175	5920482,764	-854635,9558
S.Baku (mm)	6,6	11,8	3,8

W001	-2212525,558	5920506,13	-854599,9721
S.Baku (mm)	6,4	13,4	4,1

Tabel 3.1 menyajikan koordinat hasil pengolahan strategi pertama. Dari Tabel 3.1 dapat dilihat bahwa nilai simpangan baku pada setiap koordinat di semua titik memiliki nilai di atas 50 mm, dan pada sumbu-Y memiliki simpangan baku di atas 100 mm. Nilai simpangan baku terkecil terjadi pada sumbu-Z di titik PRB1 dan PRB3 yaitu sebesar 78,7 mm. Sedangkan simpangan baku terbesar terdapat pada sumbu-Y di titik PRB2 dengan nilai sebesar 121,8 mm.

Tabel 3.2 menyajikan koordinat dan simpangan baku hasil pengolahan data GNSS dengan strategi kedua. Nilai simpangan baku terkecil terdapat pada sumbu-Z di titik PRB1 dan PRB3 dengan nilai sebesar 3,6 mm. Simpangan baku terbesar terdapat pada sumbu-Y di titik PRB2 sebesar 14,1 mm.

Pada hasil penelitian ini, sumbu-Y mewakili komponen ketinggian. Hal ini disebabkan lokasi penelitian yang berada pada koordinat  $7^\circ$  LS dan  $110^\circ$  BT, dimana sistem koordinat kartesi 3D berpusat di bumi yang memiliki sumbu Y *spheroid* pada koordinat  $90^\circ$  BT dan  $0^\circ$  LU/LS. Selisih koordinat bujur lokasi penelitian dengan pusat sumbu sebesar  $20^\circ$  yang nilai cosinusnya sebesar 0,93 (mendekati 1), sedangkan selisih pada komponen lintangnya sebesar  $4^\circ$  yang nilai *cosinusnya* jauh lebih kecil dibandingkan nilai bujurnya (Lestari, 2006).

Berdasarkan hasil pengolahan yang disajikan pada Tabel 3.1 dan 3.2 dapat dianalisis sebagai berikut :

- (1) Pengolahan pada strategi kedua menghasilkan nilai simpangan baku yang lebih baik dibandingkan strategi pertama, meskipun pada strategi pertama jarak titik kontrol yang diolah terhadap titik referensi IGS regional lebih dekat dibandingkan dengan strategi kedua. Hal ini disebabkan karena jumlah stasiun IGS yang digunakan pada strategi kedua lebih banyak (tujuh stasiun IGS) dibandingkan dengan strategi pertama (dua stasiun IGS). Jumlah titik referensi (stasiun IGS) yang digunakan pada saat pengolahan data GNSS berpengaruh terhadap simpangan baku hasil pengolahan. Hal ini sesuai dengan penelitian dari Leonard (2009) yang melakukan pengolahan GNSS dengan beberapa stasiun IGS hingga mendapatkan nilai optimal simpangan baku pada saat pengolahan dengan tujuh stasiun IGS.
- (2) Berdasar hasil tersebut, nilai koordinat definitif yang digunakan adalah hasil dari pengolahan GNSS strategi kedua.
- (3) Berdasar nilai simpangan baku yang dihasilkan, dapat dilihat bahwa nilai simpangan baku pada sumbu-Y selalu memiliki nilai yang paling besar dari pada sumbu-X dan sumbu-Z. Hal ini disebabkan karena geometri satelit yang tidak memungkinkan pengamatan di bawah horison, sehingga kekuatan ikatan jaring untuk komponen vertikal lebih lemah dibandingkan komponen horizontal.
- (4) Hasil pendefinisian koordinat tahun pertama titik kontrol deformasi Candi Prambanan didapatkan nilai

simpangan baku antara 3 – 7 mm pada komponen horizontal dan 9 – 13 mm pada komponen vertikal. Pada studi deformasi perlu dilakukan pengukuran pada tahun kedua untuk melihat signifikansi simpangan baku pengukuran terhadap nilai deformasi, dimana nilai simpangan baku deformasi akan signifikan jika nilainya lebih kecil dari nilai deformasi itu sendiri.

#### 4. Kesimpulan

Berdasar pemaparan tersebut, dapat disimpulkan bahwa telah dilakukan pembangunan titik kontrol baru untuk pemantauan deformasi Candi Prambanan. Titik kontrol ini tersebar di halaman kedua dan ketiga kompleks Candi Prambanan.

Selanjutnya pada lima titik kontrol baru dan tiga titik kontrol yang sudah ada dilakukan pengamatan GNSS selama 1x24 jam untuk mendefinisikan koordinat awal dari titik-titik tersebut.

Pengolahan data GNSS dilakukan dengan dua strategi (regional dan global) untuk memperoleh hasil yang terbaik, dimana hasil pengolahan strategi kedua yang menggunakan titik referensi stasiun IGS global digunakan sebagai koordinat definitif titik kontrol pemantauan deformasi Candi Prambanan karena nilai simpangan baku koordinat yang dihasilkan mencapai fraksi milimeter.

Dalam pengolahan secara regional sebaiknya perlu ditambahkan titik referensi IGS regional yang mencukupi, sehingga dapat dibandingkan dengan hasil hitungan lainnya dan terdapat alternatif hasil hitungan terbaik sebagai koordinat definitif titik kontrol deformasi Candi Prambanan.

#### 5. Pernyataan Konflik Kepentingan

Penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan dalam artikel ini (*The authors declare no competing interest*).

#### 6. Referensi

- Abidin, H.Z., 2007, "Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya", Edisi III, PT. Pradnya Paramitha, Jakarta.
- Anonim, (2002), "Standard Nasional Indonesia Jaring Kontrol Horizontal SNI 19-6724-2002", Badan Standardisasi Nasional Indonesia.
- Anonim, 1999, "Laporan Pengukuran Stabilitas Candi Siwa November 1999", Balai Pelestarian Cagar Budaya, Yogyakarta.
- Anonim, 2001, "Laporan Pengukuran Stabilitas Candi Siwa dalam Evaluasi Dampak Lingkungan Paska Gempa

25 Mei 2001", Balai Pelestarian Cagar Budaya, Yogyakarta.

- Herring, T.A., King, R.W, and McClusky, S.C., 2009, *GAMIT GPS Analysis at MIT*, Department of Earth, Atmospheric, Science, Massachusetts Institute of Technology.
- Leick, A., Rapoport, L., and Tarnikov, D., 2015, "GPS Satellite Surveying", John Wiley & Sons.
- Leonard, Y, R., 2009, *Pengaruh Jumlah Titik Ikat pada Proses Perataan Jaring terhadap Ketelitian Koordinat Titik dalam Jaring GPS Setingkat Orde 0*, Skripsi, Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Lestari, D., 2006, *GPS Study for Resolving the Stability of Borobudur Temple Site*, Thesis in School of Surveying and Spatial Information Systems (Formerly the School of Geomatic Engineering), the University of New South Wales (UNSW), Australia.
- Panuntun, H., 2012, "Penentuan Posisi Anjungan Minyak Lepas Pantai dengan Titik Ikat GPS Regional Dan Global", Tesis di Program magister Teknik Geomatika, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Indonesia.
- Suryolelono, K.B., 2007, "Candi Prambanan Pasca Gempa Bumi", Forum Teknik Sipil No. XVII/3-September 2007.
- Sulaeman, C., Dewi, L.C. dan Triyoso, W., 2008, "Karakteristik Sumber Gempa Yogyakarta 2006 Berdasarkan Data GPS", Jurnal Geologi Indonesia, Vol. 3 (1), hal.49-56.
- Shodiq, A.M., 2015, "Deformasi Horisontal Aspek Geometrik Candi Prambanan Sebelum dan Sesudah Gempa Yogyakarta Tahun 2006", Skripsi, Jurusan Teknik Geodesi FT-UGM, Yogyakarta.
- Taftazani, M.I., 2013, "Analisis Geodinamika Lima Stasiun Pasut Pulau Jawa Dengan Data Pengamatan Gps Tiga Epok", Tesis di Program Magister Teknik Geomatika, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Indonesia.
- Waljiyanto, Widjajanti, N., Yulaikhah, Taftazani, M.I., 2015, "Pengembangan Jaring Kontrol Geodesi Pemantau Waduk Sermo", Jurnal Geomatika, Vol. 21 No. 2 Hlm 107-114, Badan Informasi Geospasial, Indonesia.
- Widjajanti, N. dan Wicaksono, A., 2014, "Kajian Pergeseran Titik Pemantauan Deformasi Candi Prambanan", The 2<sup>nd</sup> Conference on Geospatial Information Science and Engineering, Yogyakarta, Indonesia, <http://whc.unesco.org/en/list/642>, diakses 14 November 2018.