

INTISARI

Candi Borobudur merupakan salah satu candi Budha terbesar di dunia dan sebagai warisan budaya yang dilindungi oleh UNESCO. Untuk itu perlu adanya upaya pelestarian dan pemantauan Candi Borobudur secara berkala, salah satunya dengan studi deformasi berupa analisis pergeseran dengan melakukan pengamatan geodetik secara berkala pada jaring pemantauan horizontal Candi Borobudur. Desain jaring pantau horizontal Candi Borobudur berjenis kerangka dasar relatif, dengan kondisi titik ikat dan titik pantau berada pada area terdeformasi dan harus adanya perhatian khusus terhadap pengaruh perubahan posisi dari titik ikat yang digunakan pada analisis pergeseran jaring pantau horizontal Candi Borobudur, karena akan mempengaruhi hasil perataan Hitung Kuadrat Terkecil (HKT) metode parameter untuk titik pantau. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, dapat menggunakan perataan HKT metode parameter dengan koreksi titik ikat dan metode *time-variant*. Perataan HKT metode *time-variant* menggunakan kecepatan pergeseran posisi horizontal titik ikat dalam proses perhitungannya. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan analisis pergeseran horizontal Candi Borobudur hasil perataan HKT antara kedua metode.

Data yang digunakan pada penelitian ini berupa data titik ikat dan data pengamatan terestris metode poligon kala pengamatan tahun 2002, 2003 dan 2012, yang didapatkan dari hasil pengukuran oleh Balai Konservasi Borobudur dan Lestari (2015). Perataan HKT metode parameter dengan koreksi titik ikat dilakukan dengan menentukan koreksi titik ikat tiap kala digunakan untuk menentukan estimasi koordinat posisi horizontal 2D titik pantau tiap kala yang kemudian digunakan untuk analisis pergeseran horizontal 2D dari titik pantau pada interval kala tertentu. Perataan HKT metode *time-variant* menghasilkan estimasi koordinat posisi dan kecepatan pergeseran horizontal 2D titik pantau secara sekaligus pada interval kala tertentu. Perbandingan analisis vektor pergeseran horizontal 2D titik pantau dilakukan dengan menggunakan nilai vektor kecepatan pergeseran horizontal 2D dari hasil analisis kedua metode perataan pada interval kala 2002 dan 2003 serta 2002 dan 2012.

Penelitian ini menunjukkan bahwa titik pantau Candi Borobudur mengalami pergeseran horizontal 2D, dengan besar vektor kecepatan pergeseran horizontal 2D dan ketelitian yang berbeda dari hasil analisis kedua metode perataan. Hasil perataan HKT metode parameter dengan koreksi titik ikat menunjukkan adanya kenaikan besar vektor pergeseran titik pantau rerata dari hasil analisis pergeseran yaitu sebesar 7,97 mm pada interval kala 2002 dan 2003 dan sebesar 37,78 mm pada interval kala 2002 dan 2012 dengan arah pergeseran konsisten ke arah barat laut dari kedua interval kala pergeseran. Hasil perataan HKT metode *Time-Variant* menunjukkan adanya kenaikan pada besar vektor kecepatan pergeseran horizontal 2D dari sebesar 0,29 mm/tahun menjadi 0,32 mm/tahun dengan arah pergeseran yang berbeda. Vektor kecepatan pergeseran horizontal hasil perataan HKT metode *time-variant* lebih kecil dari hasil perataan HKT metode parameter, sementara untuk nilai simpangan bakunya lebih besar dengan perbedaan nilai sebesar 0,5 mm.

Kata kunci: Candi Borobudur, perataan hitung kuadrat terkecil, metode parameter, *time-variant*, pergeseran horizontal 2D.

ABSTRACT

Borobudur Temple is the biggest Buddhist Temple in the world protected by UNESCO. Therefore the periodical maintenance of Borobudur temple become important, deformation study specifically displacement analysis can be applied for it. Displacement Analysis for Borobudur horizontal monitoring network conducted by geodetic observation periodically. The design for Borobudur horizontal monitoring network is a relative one, with condition the control point and monitoring point are in the deformation area. Therefore, the effect of position change of the control point used in the horizontal network for displacement analysis of Borobudur needs to be considered, as it affects the result for the least square adjustment of the monitoring point. Least square methods used to overcome this problem include Parameter Methods and time-variant methods. Time variant method used the velocity of horizontal position change of the control point and vector velocity of horizontal displacement of the monitoring point of the adjustment process. This research aims to compare the horizontal displacement analysis of Borobudur least square results between parameter method with correction for the control point to the displacement from time-variant method.

The data were acquired from the measurement campaigns which include precise GPS observation and the leveling and traversing data performed within 2002, 2003 and 2012. The data obtained from the measurement resulted by the Borobudur Conservation Center and Lestari (2015). Parameter method with corrected for the control point was done by determining the correction of the control points of each epoch, used to determine the coordinates of the horizontal position of the 2D monitoring points of each stage which were used for the analysis of 2D horizontal displacement form monitoring point at a certain time interval. Time-variant method yields 2D horizontal position coordinate estimated and 2D horizontal displacement rate simultaneously at a certain time interval. The compared of 2D horizontal displacement vector analysis was done by using vector velocity of 2D horizontal displacement from the analysis of the two adjustment methods on the interval displacement epochs 2002 and 2003, 2002 and 2012.

This research showed that the velocity of 2D horizontal displacement of monitoring point in Borobudur had a horizontal displacement. The vector magnitude and the accuration of the displacement from the analysis resulted the two adjustment methods was different. The resulted of HKT parameter method with correction of reference point showed that there was significant increase of the mean vector displacement monitoring point from analysis displacement were 7.97 mm (interval epoch 2002 and 2003) and 37.78 mm (interval epoch 2002 and 2012) with consistent displacement direction of the both interval displacement to the northwest. The resulted of HKT Time-Variant method showed an increase in the vector velocity of 2D horizontal displacement from 0.29 mm/year to 0.32 mm/year with different displacement direction. The vector magnitude of the displacement from time variant method was smaller than parameter method and the standard deviation for the horizontal displacement from time variant method was bigger with the differenced was 0.5 mm.

Keywords: Borobudur, least square adjustment, parameter method, time-variant method, 2D horizontal displacement.